

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

4

2008

ИЗДАТЕЛЬ – АРХАНГЕЛЬСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ  
ТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ

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

Заместители главного редактора:

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

ЧЛЕНЫ РЕДКОЛЛЕГИИ:

проф. **А.С. Алексеев**, проф. **Е.Д. Гельфанд**, проф. **А.А. Камусин**, акад. РАСХН **Н.И. Кожухов**, проф. **В.И. Комаров**, проф. **В.С. Куров**, проф. **Н.В. Лившиц**, проф. **Р.Н. Матвеева**, проф. **В.И. Мелехов**, проф. **М.Д. Мерзленко**, проф. **Е.Г. Мозолевская**, проф. **Е.Н. Наквасина**, доц. **О.А. Неволин**, проф. **А.Н. Обливин**, проф. **А.В. Питухин**, проф. **Д.А. Пономарев**, проф. **В.П. Рябчук**, проф. **Э.Н. Сабуров**, проф. **Е.Н. Самошкин**, проф. **В.Г. Санаев**, проф. **А.В. Селиховкин**, проф. **В.В. Сергеевичев**, проф. **В.А. Суслов**, проф. **Ф.Х. Хакимова**, проф. **В.Я. Харитонов**, проф. **А.И. Чернодубов**, проф. **Г.А. Чибисов**, проф. **Ю.А. Ширнин**, 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» № 4

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

---

Сдан в набор 14.09.2008. Подписан в печать 13.10.2008. Заказ № 216  
Форм. бум. 70×108 1/16. Гарнитура Таймс. Усл. печ. л. 13,839. Усл. кр.-отт. 13,839.  
Уч.-изд. л. 16,802. Тираж 1000 экз.  
Архангельский государственный технический университет

---

Адрес редакции: 163002, г. Архангельск, наб. Сев. Двины, 17,  
тел./факс: (818-2) 28-76-18, тел. 21-89-01  
e-mail: forest@agtu.ru [http:// www.lesnoizhurnal.ru](http://www.lesnoizhurnal.ru)

---

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



## СОДЕРЖАНИЕ

*ЛЕСНОЕ ХОЗЯЙСТВО*

- Н.А. Луганский, Л.П. Абрамова, С.В. Залесов, А.Н. Павлов.* Рубки ухода в кедровых лесах с применением селекционного метода..... 7
- Ф.Н. Лисецкий.* Почвообразовательный потенциал лесных насаждений при облесении песков в условиях лесостепи и степи..... 13
- С.В. Кириллов, А.С. Яковлев.* Географические культуры дуба в Республике Марий Эл..... 20
- Ю.Е. Кекишева, Е.Н. Наквасина.* Ценотическая структура и флористический состав ельников зеленомошных средней подзоны тайги..... 26
- В.Н. Смертин, А.В. Грязькин.* Особенности парцеллярной структуры парковых фитоценозов..... 33

*ЛЕСОЭКСПЛУАТАЦИЯ*

- И.Р. Шегельман, В.И. Скрыпник, А.В. Кузнецов, А.В. Пладов.* Экспериментально-расчетные исследования движения лесовозных автопоездов..... 39
- В.Я. Шапиро, И.В. Григорьев, А.И. Жукова.* Оценка процессов деформирования почвы при циклическом уплотнении..... 44
- Д.Г. Мясичев.* Обоснование лесопожарных технологий и машин на базе средств малой механизации..... 51
- В.И. Варава, В.П. Антипин, Г.В. Каршев, О.А. Михайлов.* Сравнительный анализ энергозатрат трактора ВП-100 в режиме грузового хода..... 57

*МЕХАНИЧЕСКАЯ ОБРАБОТКА ДРЕВЕСИНЫ**И ДРЕВЕСИНОВЕДЕНИЕ*

- С.М. Плотников.* Исследование падения древесных частиц в ориентирующем устройстве..... 66
- Л.С. Суровцева, О.А. Лисицына.* Железнодорожная поставка сырья на лесопильно-деревообрабатывающие предприятия..... 72
- Е.Н. Серов, С.А. Лабутов.* Распределение напряжений на опорах клеефанерных конструкций..... 75
- И.И. Иванкин, Г.Ф. Прокофьев, А.А. Банников.* Начальная жесткость полосовых пил. Общий случай..... 82
- Р.Е. Калитеевский, А.М. Артеменков, А.А. Тамби, А.В. Гаврюков.* Определение производственной мощности лесопильных предприятий при проектировании..... 93
- Е.Д. Гельфанд, В.И. Мелехов, М.В. Потыкалова.* Механическая деформация древесины как средство увеличения влагопоглощающей способности.... 98

*ХИМИЧЕСКАЯ ПЕРЕРАБОТКА ДРЕВЕСИНЫ*

- Р.Е. Смирнов, А.Г. Андреев, Т.Ф. Демидюк.* Хлораминовый метод анализа сульфитной кислоты..... 102
- А.В. Коптина, А.И. Шургин, А.В. Канарский.* Межпопуляционная изменчивость ивы остролистной по продуктивности биомассы и содержанию фенольных компонентов..... 106

---

---

<i>Л.А. Южанинова, Е.Ю. Ларина, В.И. Комаров.</i> Сравнение методик оценки длины волокна макулатурной массы.....	113
<i>Н.П. Мидуков, В.С. Куров, А.О. Никифоров.</i> Повышение эффективности процесса диспергирования волокнистой суспензии в роторно-пульсационном аппарате.....	116
<i>Н.А. Секушин, А.П. Карманов.</i> Разработка новых подходов к описанию кинетики полихронного типа.....	120
<i>А.В. Кулешов, А.С. Смолин.</i> Влияние цикличности использования макулатурного волокна на бумагообразующие свойства.....	131
<i>ЭКОНОМИКА И ОРГАНИЗАЦИЯ ПРОИЗВОДСТВА</i>	
<i>В.Н. Мякишин, Т.Н. Песьякова.</i> Система показателей для оценки сбалансированности регионального лесопромышленного комплекса.....	140
<i>Е.С. Романов.</i> Лесопромышленный комплекс: что остается за словами.....	148
<i>КРАТКИЕ СООБЩЕНИЯ И ОБМЕН ОПЫТОМ</i>	
<i>П.А. Феклистов, А.Н. Соболев.</i> О возможности применения таблиц хода роста древесных пород на Соловецких островах.....	152
<i>ИСТОРИЯ НАУКИ</i>	
<i>И.В. Евдокимов.</i> Высшему лесному образованию Вологодчины – 10 лет.....	155

---

---



## CONTENTS

## FORESTRY

- N.A. Lugansky, L.P. Abramova, S.V. Zalesov, A.N. Pavlov.* Selective Felling in Cedar Forests Using Selection Method..... 7
- F.N. Lisetsky.* Soil-formation Potential of Forest Stands under Sands Afforestation in Forest-steppe and Steppe Environment..... 13
- S.V. Kirillov, A.S. Yakovlev.* Geographical Oak Cultures in Mari El Republic..... 20
- Yu.E. Kekisheva, E.N. Nakvasina.* Coenotic Structure and Floristic Composition of Green-moss Spruce Forests of Middle Taiga Subzone..... 26
- V.N. Smertin, A.V. Gryazkin.* Peculiarities of Parcel Structure of Park Phytocenoses. 33

## WOODEXPLOITATION

- I.R. Shegelman, V.I. Skrypnik, A.V. Kuznetsov, A.V. Pladov.* Experimental-calculating Study of Logging Trailers Movement..... 39
- V.Ya. Shapiro, I.V. Grigorjev, A.I. Zhukova.* Assessment of Soil Deformation Processes under Cyclic Compaction..... 44
- D.G. Myasishchev.* Substantiation of Forest-fire Technologies and Machines Based on Small-scale Mechanization..... 51
- V.I. Varava, V.P. Antipin, G.V. Karshev, O.A. Mikhailov.* Comparative Analysis of Power Consumption of Tractor VP-100 in Load Motion Mode..... 57

## MECHANICAL TECHNOLOGY OF WOOD AND WOODSCIENCE

- S.M. Plotnikov.* Investigation of Wooden Particles Fall in Orientation Device..... 66
- L.S. Surovtseva, O.A. Lisitsyna.* Railroad Delivery of Rawwood to Sawmill-woodworking Enterprises..... 72
- E.N. Serov, S.A. Labutov.* Tension Distribution on Supports of Glue-Plywood Structure..... 75
- I.I. Ivankin, G.F. Prokofjev, A.A. Bannikov.* Initial Stiffness of Strip Saws. General Case..... 82
- R.E. Kaliteevsky, A.M. Artemenkov, A.A. Tambi, A.V. Gavryukov.* Determination of Productive Capacity of Sawmills in Designing..... 93
- E.D. Gelfand, V.I. Melekhov, M.V. Potykalova.* Mechanical Deformation of Timber as Means of Increasing Moisture Absorption Ability..... 98

## CHEMICAL TECHNOLOGY OF WOOD

- R.E. Smirnov, A.G. Andreev, T.F. Demidyuk.* Chloramine Method of Sulfite Acid Analysis..... 102
- A.V. Koptina, A.I. Shurgin, A.V. Kanarsky.* Interpopulation Variability of Silver Willow according to Biomass Productivity and Phenol Components Content. 106
- L.A. Yuzhaninova, E. Yu. Larina, V. I. Komarov.* Comparison of Assessment Techniques for Fiber Length of Waste Paper Mass..... 113

<i>N.P. Midukov, V. S. Kurov, A.O. Nikiforov.</i> Increasing Efficiency of Fiber-suspension Dispersion Process in Rotor-Pulsation Device.....	116
<i>N.A. Sekushin, A.P. Karmanov.</i> Development of New Approaches to Polychronic Kinetics Description.....	120
<i>A.V. Kuleshov, A.S. Smolin.</i> Effect of Cyclic Use of Waste Paper Fiber on Paper-formation Properties.....	131

*ECONOMICS AND MANAGEMENT*

<i>V.N. Myakshin, T.N. Pesjakova.</i> Characteristics for Equilibration Assessment of Regional Forest-industrial Complex.....	140
<i>E.S. Romanov.</i> Forest-industrial Complex: Reality, not Words.....	148

*SUMMARIES AND EXCHANGE OF TEACHING*

<i>P.A. Feklistov, A.N. Sobolev.</i> On Possibility of Using Growth Progress Tables on Solovetsky Islands.....	152
--	-----

*HISTORY OF SCIENCE*

<i>I.V. Evdokimov.</i> Higher Forest Education of Vologda Area - 10 Years.....	155
--	-----

---



УДК 630\*24:674.032.16:630\*165.6

**Н.А. Луганский<sup>1</sup>, Л.П. Абрамова<sup>1</sup>, С.В. Залесов<sup>1</sup>, А.Н. Павлов<sup>2</sup>**

Луганский Николай Алексеевич родился в 1931 г., окончил в 1956 г. Уральский лесотехнический институт, доктор сельскохозяйственных наук, профессор кафедры лесоводства Уральского государственного лесотехнического университета, заслуженный деятель науки РФ. Имеет более 150 научных работ по вопросам повышения продуктивности и устойчивости лесов лесоводственными методами.



Абрамова Любовь Павловна родилась в 1976 г., окончила в 1998 г. Уральскую государственную лесотехническую академию, кандидат сельскохозяйственных наук, доцент кафедры лесоводства Уральского государственного лесотехнического университета. Имеет более 30 печатных работ по вопросам повышения продуктивности и устойчивости лесов Урала.



Залесов Сергей Вениаминович родился в 1953 г., окончил в 1981 г. Уральский лесотехнический институт, доктор сельскохозяйственных наук, профессор, проректор по научной работе Уральского государственного лесотехнического университета, заслуженный лесовод РФ. Имеет более 250 научных работ по вопросам повышения продуктивности и устойчивости лесов Урала и Западно-Сибирской низменности.



### **РУБКИ УХОДА В КЕДРОВЫХ ЛЕСАХ С ПРИМЕНЕНИЕМ СЕЛЕКЦИОННОГО МЕТОДА**

Отмечен высокий генетический полиморфизм кедров сибирского. Предложен метод рубок ухода, позволяющий повысить орехопродуктивность кедров, формируя древостой из лучших селекционных форм.

*Ключевые слова:* рубки ухода, кедр сибирский, селекционный метод, селекционные формы, внутривидовая изменчивость.

Кедр сибирский, или сосна сибирская (*Pinus sibirica* Mayr) – весьма ценная древесная порода, главным образом благодаря семенам. Кедр по праву признан породой орехоносной, имеющей пищевое, кормовое, лекарственное и техническое значение. В силу биологических и экологических особенностей кедр сибирский, как правило, не образует чистых древостоев. На Урале он произрастает совместно с другими лесообразователями – елью,

пихтой, сосной, березой, осиной. Хозяйство в этих лесах в основном направлено на увеличение доли кедра в составе древостоев и повышение орехоносной продуктивности, особенно в орехопромысловых зонах, в которые включена подавляющая часть кедровников Урала.

Наиболее эффективным мероприятием по ведению хозяйства в кедровых лесах являются рубки ухода [16, 17]. Их выполняют исключительно по нормативам действующего «Наставления по рубкам ухода в лесах Урала» [12]. Определяют виды рубок (осветление, прочистка, прореживание, проходная рубка, рубка обновления, рубка переформирования), методы их проведения (низовой, верховой, комбинированный), интенсивность и повторяемость изреживания, принципы отбора деревьев в рубку. В первую очередь вырубает сопутствующие древесные породы, что диктуется законом межвидовой конкуренции. В случаях, когда по заданной интенсивности изреживания древостоев необходимо затронуть кедровый элемент, дополнительно следует применить по отношению к нему селекционный метод рубок ухода [10], основанный на законе внутривидовой изменчивости.

Как известно [1, 2, 5, 6, 11, 14, 15, 18, 19], все древесные породы имеют высокую степень генетического полиморфизма, который проявляется в географической, эколого-типологической, фено-физиологической и морфологической изменчивости. Кедр сибирский не является исключением, ему присущи все внутривидовые таксоны, характерные для других древесных пород [3, 4, 7–9], что обусловлено общебиологическим законом гомологических рядов в наследственной изменчивости.

Многими авторами показано, что плодоношение кедр сибирского по отдельным географическим регионам различается в 2–4 раза. Изменчива и маслянисть семян, в пределах Западной и Восточной Сибири она варьирует от 59 до 68 % [3, 13 и др.].

Произрастая в большом диапазоне лесорастительных условий в тех или иных географических регионах, кедр сибирский образует много типов леса, которые отличаются не только в эколого-лесоводственном отношении, но и по комплексу наследственных признаков и свойств. На Среднем Урале это кедровники от гольцового и каменистого до сфагнового, включая все промежуточные экологические ниши. Класс бонитета древостоев варьирует от II до Va.

В пределах одного лесного насаждения кедр сибирский, как и другие древесные породы, дифференцируется на группы деревьев (селекционные формы) по ряду признаков и свойств. Эти формы различаются скоростью роста, качеством древесины, урожайностью семян, размерами и конфигурацией шишек, апофизом их чешуй, конфигурацией крон, трещиноватостью и окраской коры стволов и т. п. Для кедр сибирского характерна также изменчивость по размеру орехов, их полнотелости и маслянисти. Одни формы имеют более, другие – менее высокие показатели признаков и свойств, многие из которых закреплены генетически и воспроизводятся из поколения в поколение.



При рубках ухода удаляют часть деревьев кедра по главным хозяйственным свойствам – урожайности и масличности орехов. Естественно, следует оставлять на выращивание деревья с лучшими показателями и убирать с худшими. Это легко делать по прямому признаку, в частности по наличию шишек в кронах. Но такая возможность представляется редко. Во-первых, потому, что в плодоношении кедра наблюдается ярко выраженная цикличность. Во-вторых, даже при стабильном урожае отбор деревьев в рубку возможен в течение лишь 1,0 ... 1,5 мес, пока шишки находятся в кронах. Для определения масличности семян требуются лабораторные исследования. Поэтому отбирать деревья при рубках ухода целесообразно по хорошо визуально отличимым признакам, детерминированным с наследственностью. У кедра сибирского это конфигурация крон, трещиноватость коры стволов и ее окраска. У деревьев кедра кроны по конфигурации бывают обратнойцевидные, округлые, шаровидные, яйцевидные, колонновидные (цилиндрические), конические. Наибольшую урожайность обеспечивают первые три формы кроны. Они эволюционно сложились такими в силу обламывания плодоносящих ветвей под тяжестью шишек, ветровых нагрузок и при охлестывании полога других, более быстрорастущих древесных пород. Постоянное «канделябровидное» состояние окончаний ветвей крон деревьев кедра обуславливает формирование наиболее широкой их части крон в верхней трети или в середине. Такие кроны имеют преимущества по сравнению с другими конфигурациями благодаря увеличению плодоносящей поверхности и улучшению освещения. Эти более мощные и насыщенные ассимиляционной массой кроны обеспечивают повышенные темпы прироста по высоте и диаметру стволов, положение в пологе в основном по I и II классам роста Крафта.

С урожайностью и масличностью орехов кедра детерминированы трещиноватость и окраска коры стволов деревьев. Отмечены формы от грубо- до чешуйчатотрещиноватой, включая ряд переходных вариаций. Груботрещиноватая кора расчленена на крупные площадки глубокими продольными и поперечными трещинами, окраска варьирует от светло-желтой до желтовато-бурой. Чешуйчатотрещиноватая кора характеризуется мелкими трещинами и небольшими межтрещинными площадками, окраска серовато-черная. Толщина коры у груботрещиноватокорых деревьев на 32 ... 37 % больше, чем у чешуйчатотрещиноватокорых. Кедр с груботрещиноватой корой вначале несколько похожи на сосну, поэтому для наглядности визуального восприятия они названы соснововиднокорыми; чешуйчатотрещиноватые деревья похожи на еловые и названы елововиднокорыми. Наиболее урожайной селекционной формой является груботрещиноватокорая (соснововиднокорая), менее урожайной – чешуйчатотрещиноватокорая (елововиднокорая).

Таким образом, перспективными для формирования высокопродуктивных кедровников по урожайности и масличности орехов являются селекционные формы кедра с обратнойцевидной, шаровидной, округлой кронами и груботрещиноватой корой.

**Представленность селекционных форм кедров сибирского  
по трещиноватости коры и типам леса**

Тип леса (кедровник)	Класс бонитета древостоев	Процент форм	
		груботрещиновато- корой	чешуйчато- трещиноватокорой
Гольцовый	Va	50	50
Каменистый	V	58	42
Черничный	IV	80	20
Зеленомошный	IV	78	22
Вейниково- разнотравный	III	85	15
Кислично- разнотравный	II	86	14
Сфагново-травяной	III	80	20
Осоково- сфагновый	III	65	35
Сфагново- хвощовый	IV	72	28
Хвощово- зеленомошный	IV	65	35
Сфагновый	V	55	45

Селекционные формы кедров сибирского, как правило, совмещены, т. е. для груботрещиноватокорых (соснововиднокорых) деревьев характерны обратнаяцевидная, шаровидная, округлая кроны, для чешуйчатотрещиноватокорой (елововиднокорой) – другие конфигурации.

На Среднем Урале по урожайности орехов первая форма продуктивнее в 1,4 раза, по масличности на 8 ... 10 % (индивидуальная масличность варьирует от 50 до 75 %).

При рубках ухода из насаждений удаляют деревья кедров с чешуйчатотрещиноватой корой, оставляют на выращивание груботрещиноватые с обратнойцевидной, шаровидной, округлой кронами. Если их в древостоях недостаточно, можно оставлять группы деревьев с переходными (промежуточными) морфологическими признаками.

Исследования структуры одновозрастных (около 200 лет) кедровников двух селекционных форм по трещиноватости коры показали, что соотношение деревьев в типологическом ряду варьирует в значительной степени (см. таблицу). Исследованиями охвачены древостои с участием кедров не менее 30 %. Из приведенных данных видно, что в худших условиях произрастания соотношение сдвигается в сторону чешуйчатотрещиноватокорой селекционной формы, которая лучше адаптируется в неблагоприятной обстановке. В насаждениях же высших бонитетов, более подверженных низовым пожарам, деревья чешуйчатотрещиноватокорой формы сильнее повреждаются огнем и быстрее отпадают, поскольку кора у них значительно тоньше, чем у груботрещиноватокорой.

Так, в Нижне-Салдинской кедровой роще (кедросаду) это соотношение составило 89:11 %. Местное население длительное время, формируя кедросад по прямому признаку – обилию плодоношения, убирало из древостоя слабоплодоносящие деревья с чешуйчатотрещиноватой корой, оставляя обильно плодоносящие груботрещиноватокорые. В момент исследования в 1960 г. в кедросаду насчитывалось 350 деревьев, полнота древостоя 0,4.

Использование селекционного метода рубок ухода предусмотрено «Наставлением по рубкам ухода в лесах Урала» [12]. Этот метод может быть применен только после выполнения всех нормативов основных видов и методов рубок ухода. Кроме того, следует учитывать, что используемые диагностические признаки селекционных форм достаточно надежно проявляются в древостоях старшего возраста. У кедра сибирского рубки ухода по трещиноватости и окраске коры стволов применимы с конца периода прореживания (60 ... 70 лет) [12], а по конфигурации крон – с возраста прочисток (40 ... 45 лет).

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Альбенский, А.В.* Методы улучшения древесных пород [Текст] / А.В. Альбенский. – М., 1954.
2. *Альбенский, А.В.* Селекция и семеноводство деревьев в лесах Сибири [Текст] / А.В. Альбенский // Тр. по лесн. хоз-ву. – Новосибирск, 1958. – Вып. 4.
3. *Верховцев, Е.П.* Качество орехов кедра сибирского и способы определения качества; условия хранения орехов [Текст] / Е.П. Верховцев. – Красноярск, 1938.
4. *Горчаковский, П.Л.* Кедровые леса Урала и перспективы их использования [Текст] / П.Л. Горчаковский // Тр. Зап.-Сиб. ФАН СССР. – Новосибирск, 1955. – Вып. 2.
5. *Колесников, Б.П.* Кедровые леса Дальнего Востока [Текст] / Б.П. Колесников // Тр. Дальневост. ФАН СССР. – М.; Л., 1956. – Т. 2(4).
6. *Комаров, В.Л.* Учение о виде у растений [Текст] / В.Л. Комаров // Избр. соч. – М.; Л., 1945. – Т. 1.
7. *Луганский, Н.А.* Изменчивость количества масла в семенах кедра сибирского на Среднем Урале [Текст] / Н.А. Луганский // Лесн. хоз-во. – 1962. – № 4.
8. *Луганский, Н.А.* Изменчивость некоторых вегетативных органов и плодоношения кедра сибирского на Среднем Урале [Текст] / Н.А. Луганский // Интродукция и селекция растений на Урале: тр. Ин-та биологии УФАН СССР. – Свердловск, 1963. – Вып. 31.
9. *Луганский, Н.А.* К вопросу о внутривидовой изменчивости кедра сибирского на Среднем Урале [Текст] / Н.А. Луганский // Тр. Ин-та биологии УФАН СССР. – Свердловск, 1961. – Вып. 23.
10. *Луганский, Н.А.* Лесоводство [Текст] / Н.А. Луганский, С.В. Залесов, В.А. Азаренок. – Екатеринбург, 2001.
11. *Мамаев, С.А.* Формовое разнообразие сосны по семенам и шишкам в лесах Мещерской низменности [Текст] / С.А. Мамаев // Докл. ТСХА. – М., 1959. – Вып. 40.
12. Наставление по рубкам ухода в лесах Урала [Текст]. – М., 1994.

13. *Попов, В.В.* Орехопроизводительность кедровников Сибири [Текст] / В.В. Попов // Лесн. хоз-во. – 1939. – № 3.
14. *Правдин, Л.Ф.* Лесная селекция в СССР [Текст] / Л.Ф. Правдин // Достижения науки в лесном хозяйстве СССР за 40 лет. – М., 1957.
15. *Пятницкий, С.С.* Селекция дуба [Текст] / С.С. Пятницкий. – М., 1954.
16. *Смолоногов, Е.П.* Эколого-географическая дифференциация и динамика кедровых лесов Урала и Западно-Сибирской равнины [Текст] / Е.П. Смолоногов. – Свердловск, 1990.
17. *Смолоногов, Е.П.* Эколого-лесоводственные основы организации и ведения хозяйства в кедровых лесах Урала и Западно-Сибирской равнины [Текст] / Е.П. Смолоногов, С.В. Залесов. – Екатеринбург, 2002.
18. *Сукачев, В.Н.* Лесные породы. Систематика, география и фитоценология их. Ч. 1. Хвойные [Текст] / В.Н. Сукачев. – М., 1928. – Вып. 1.
19. *Яблоков, А.С.* Лесное семеноводство и селекция [Текст] / А.С. Яблоков, – М., 1949.

<sup>1</sup>Уральский государственный  
лесотехнический университет

<sup>2</sup>Ханты-Мансийский лесхоз  
Агентства лесного хозяйства  
по Ханты-Мансийскому округу – Югра

Поступила 28.11.06

*N.A. Lugansky<sup>1</sup>, L.P. Abramova<sup>1</sup>, S.V. Zalesov<sup>1</sup>, A.N. Pavlov<sup>2</sup>*

<sup>1</sup>Ural State Forest-Technical University

<sup>2</sup>Khanty-Mansijsk Leskhoz, Forestry Agency in Khanty-Mansijsk Okrug – Yugra

### **Selective Felling in Cedar Forests Using Selection Method**

High genetic polymorphism of Siberian cedar is noted. Method of selective felling is offered allowing to increase cedar nut-productivity and develop stands from the best selection forms.

Keywords: selective felling, Siberian cedar, selection method, selection forms, intraspecific variation.

---

УДК 631.484

**Ф.Н. Лисецкий**

Лисецкий Федор Николаевич родился в 1958 г., окончил в 1980 г. Одесский государственный университет им. И.И. Мечникова, доктор географических наук, профессор, заведующий кафедрой природопользования и земельного кадастра Белгородского государственного университета. Имеет 250 печатных работ по почвоведению, географии почв, экологии, разработке адаптивных систем земледелия.



### **ПОЧВООБРАЗОВАТЕЛЬНЫЙ ПОТЕНЦИАЛ ЛЕСНЫХ НАСАЖДЕНИЙ ПРИ ОБЛЕСЕНИИ ПЕСКОВ В УСЛОВИЯХ ЛЕСОСТЕПИ И СТЕПИ\***

Изучены особенности формирования почв при облесении песков в условиях лесостепной и степной зон. Показаны различия в почвообразовательной эффективности отдельных типов лесных насаждений.

*Ключевые слова:* почвообразование, облесение песков, лесостепь, степь.

Для сопоставления почвообразовательного потенциала искусственных лесных насаждений при облесении песков в различных климатических условиях выбраны два полигона: в зоне лесостепи (Белгородская область, Россия) и степи (Херсонская область, Украина). Основные климатические показатели для лесостепной зоны: средняя годовая температура воздуха ( $t$ ) 6,4 °С, среднее годовое количество осадков ( $P$ ) 553 мм, для степной зоны  $t = 9,8$  °С,  $P = 343$  мм.

Общая лесопокрытая площадь полигона в Белгородской области составляет 231,2 тыс. га, в том числе 19,1 тыс. га занимают хвойные насаждения среднего возраста 44 года. На песках развитых надпойменных террас белгородских рек представлены сосняки искусственного происхождения, часто воссозданные на месте естественных боров. Об исконном существовании сосны по борovým террасам рек, в частности Ворсклы, писал в 1903 г. геоботаник и лесовод В.Н. Сукачев, установивший наличие здесь северных элементов флоры (мох сфагнум, костяника, сушеница лесная и др.).

Наши исследования проведены в урочище Сосновка, которое находится в южной части г. Белгорода, на левом берегу речной долины Северского Донца, затопленной водохранилищем. Это боровая низменная терраса (отметки абсолютных высот от 113 м, относительных – до 20 м). Почвы дерновые слабоподзолистые песчаные (псаммоземы гумусовые оподзоленные, по новой классификации почв России 2004 г.). Общая площадь урочища 673 га, из которых 92 % покрыто лесом. Культуры сосны обыкновенной

---

\* Работа выполнена при поддержке внутривузовского гранта Белгородского государственного университета.

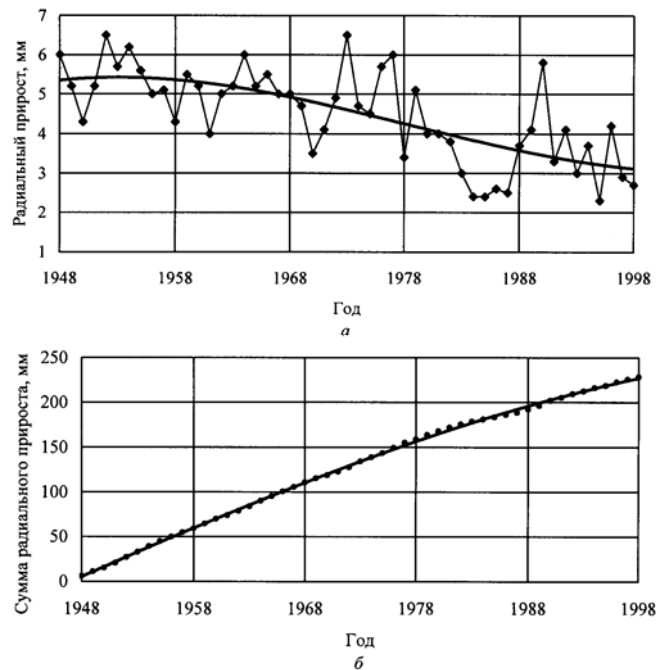


созданы в 1948 г. В квартале 122, где организованы наши исследования, доминирует сосняк травяной с дубом. Высота первого яруса более 20 м, среди реликтовых дубов встречаются 200-летние экземпляры. После проходной рубки 1999 г. были получены спилы сосны. В урочище Сосновка широко представлены искусственные земляные насыпи (брустверы окопов, укрытий, капониры), сооруженные летом 1943 г. Точно датированные новообразования почвы на них позволяют диагностировать почвообразовательную эффективность различных типов лесных насаждений (табл. 1). Для получения больших выборок мощности генетических горизонтов почв закладывали траншеи, позволяющие получить не менее 30 измерений. Доверительный интервал средних значений определяли через произведение стандартного отклонения на значение критерия Стьюдента при уровне значимости 0,05.

В основу полевых исследований на левобережной террасе Нижнего Днепра (Алешковской арене) положен выбор разновозрастных массивов сосны крымской, обыкновенной и акации белой и изучение динамики формирования структуры лесных экосистем (таксационные характеристики основной культуры, запасы мертвого растительного вещества (подстилки), морфология новообразованных почв – табл. 2). Для определения возраста лесных культур использованы разновременные картографические материалы, архивные данные Раденского лесничества, литературные источники.

По данным изменения радиального прироста сосны обыкновенной за период 1948–1999 гг. получена интегральная кривая прироста (рис. 1). Ее анализ показывает, что в качестве критической точки уменьшения радиального прироста может быть принят возраст 24 года.

Рис. 1. Динамика радиального прироста сосны обыкновенной в лесостепи (а) и интегральная кривая прироста (б),  $y = -0,0003x^3 + 1,659x^2 - 3211,3x + 2E + 0,6$



Профиль почвы, сформированной за 56 лет под сосняком мертвопокровным, имеет следующее морфологическое строение: горизонт  $A_0$  (0 ... 20 мм) – подстилка; А (20 ... 56 мм) – гумусовый, очень темный серовато-коричневый; АВ (56 ... 109 мм) – верхний переходный темно-серый; В (109 ... 225 мм) – нижний переходный; на глубине 225 ... 376 мм отмечен погребенный гумусовый горизонт. Почва в горизонте А характеризуется следующими свойствами: плотность сложения – 1,13 г/см<sup>3</sup>, общая пористость – 56 %, содержание глинистых частиц (< 0,005 мм) – 3,2 %, гумус – 1,56 %, в том числе его лабильная часть – 24 %, валовой азот – 0,134 %, рН водный – 6,3, рН солевой – 5,4, сумма поглощенных оснований – 6,5 ммоль/дм<sup>3</sup> в 100 г почвы [2].

В зоне лесостепи уже в первые 50 ... 60 лет почвообразования скорость этого процесса дифференцирована от 0,8 до 2,1 мм/год в зависимости от биогеохимических особенностей почвообразовательного потенциала лесонасаждений различного типа.

Практикой более чем 150-летнего периода лесомелиоративного освоения Нижнеднепровских песков определена возможность выявления и изучения точно датируемых фитопедохронорядов в различных геоморфологических условиях. После этапа первых инициатив в облесении песков (с 1834 г.), о которых Н.К. Срединский писал так: «Стараниями местных жителей многие кучугуры засажены сосной (*Pinus sylvestris*) близ села Раденска» [8, с. 37], в XIX в. начались планомерные лесомелиоративные работы, завершившиеся к настоящему времени посадкой около 100 000 га боров. Нами исследованы посадки 1894 г. на заповедных участках Цюрупинского бора, участок 1890-х гг. в испытательном лесничестве Нижнеднепровской НИС (эксперимент лесничего И.А. Борткевича), а также одновременные насаждения по материалам лесоустройства Раденского лесничества.

Для условий вершинных поверхностей арены с абсолютными высотами 9 ... 19 м получены хронофункции формирования вертикальной структуры лесных экосистем (по таксационным характеристикам основной культуры), проведена оценка запасов мертвого растительного вещества (подстилки), изучена морфология и вещественный состав новообразованных почв.

Динамика роста сосны крымской (*Pinus pallasiana*) за 100-летний период (рис. 2) может быть описана уравнением

$$H_t = \frac{1}{23} \cdot 10^{10,166 - 0,023t}, \quad \eta = 0,99, \quad (1)$$

где  $H_t$  – высота, м;

$t$  – возраст, лет.

Аналогичный тип возрастной кривой установлен графически для периода роста крымской сосны до 55 лет [9]. Ранее [3] было отмечено замедление прироста ствола по высоте при переходе возраста от 40 до 50 лет.

Полученная по уравнению (1) кривая зависимости скорости роста от возраста показывает, что зона максимальных скоростей приходится на



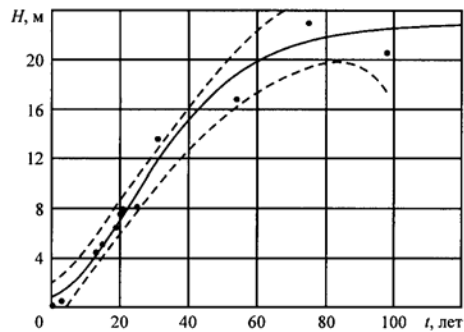


Рис. 2. Динамика роста в высоту сосны крымской за 100-летний период в условиях степной зоны

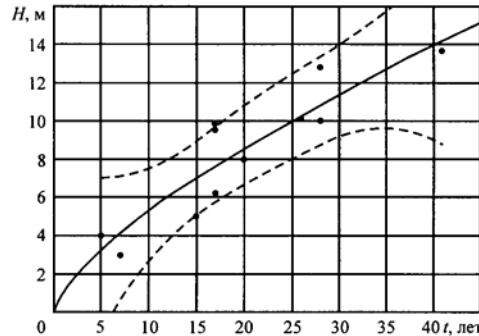


Рис. 3. Динамика роста в высоту сосны обыкновенной в условиях степной зоны

15 ... 32 года. За менее значительный период времени (до 41 года) рост сосны обыкновенной (*P. sylvestris*) (рис. 3) может быть описан уравнением вида

$$H_t = 1,054t^{0,70}, \quad \eta = 0,91. \quad (2)$$

Анализ кривых роста в высоту сосны крымской и обыкновенной показал, что до 30 лет опережающими темпами растет сосна обыкновенная, но к 40 годам сосна крымская догоняет ее, а в последующие годы, согласно [4], даже опережает. Эта особенность, как установлено ранее [1], сохраняется во всех лесорастительных условиях. Аналогичная закономерность выявляется и при сопоставлении упомянутых видов сосны по диаметру ствола. Если у сосны обыкновенной в 40 лет диаметр составляет 26 см, то у сосны крымской к 54 годам достигает 65 см. Белая акация (*Robinia pseudoacacia*) в оптимальных лесорастительных условиях Цюрупинского бора к 80 годам имеет среднюю высоту 26 м, диаметр 66 см.

Мощность лесной подстилки в 20–25-летних насаждениях сосны достигает 4 см, в зрелых увеличивается до 7 ... 8 см. Отмечены существенные различия в накоплении мортмассы сухой подстилки: под сосной обыкновенной к 30 ... 40 годам 5,8 ... 6,4; под сосной крымской за 54 года почти в 2 раза больше – 11,2; под акацией 55–80-летнего возраста 5,5 ... 6,9 кг/м<sup>2</sup>.

Особенности ростовых процессов и накопления мортмассы надземного яруса у отдельных видов хвойных культур, использованных в мелиорации Нижнеднепровских песков, определяют соответствующие различия в формировании почвенных профилей. До начала лесомелиорации задернелые пески имели низкий потенциал плодородия: содержание физической глины (частиц < 0,01 мм) – 3,3; гумуса – 0,3 ... 1,0; азота – 0,01 ... 0,04 %; емкость поглощения – 1 ... 3 ммоль/дм<sup>3</sup> в 100 г почвы [2].

Гумусовый горизонт ( $H_h$ , мм) у дерновых борových почв под сосной крымской и обыкновенной формируется по-разному. Так, под сосной крымской этот процесс в первом столетии идет практически по линейному закону

$$H_h = 6,1t^{0,95}, \quad (3)$$

под сосной крымской аппроксимируется зависимостью

$$H_h = 1,32t^{1,295}. \quad (4)$$

Анализ уравнений (3) и (4), отражающих процесс формирования гумусово-аккумулятивных горизонтов у дерновых борových короткопрофильных и черноземовидных борových маломощных почв, позволяет сделать вывод о большем почвообразующем потенциале насаждений сосны крымской по сравнению с обыкновенной. Так, в первые 45 лет средняя скорость почвообразования под этими видами сосны достигает соответственно 5 и 3,9 мм/год. В последующем скорость почвообразования в обоих случаях снижается. Аналогичная закономерность установлена и для процесса гумусонакопления.

Весь жизненный цикл искусственного насаждения представляет собой волнообразный процесс роста, то убастряющийся, то затухающий [5]. Первый момент с максимальной напряженностью, вызванной вторжением в жизненную среду каждого культивируемого экземпляра подобных индивидуумов при ограниченности жизненного пространства и ресурсов (питательные вещества, влага), связан с критическим возрастом в фазе дифференциации по степени господства. В сосновых насаждениях такой период наступает в возрасте 50 ... 60 лет, после чего гумусированность почвы снижается, стабилизируясь на уровне 0,8 ... 0,9 % в горизонте АС (А). Под белой акацией к 55 годам содержание гумуса в гумусово-аккумулятивном горизонте достигает 1 %. Концентрация валового азота увеличивается от 0,02 ... 0,03 % в первые десятилетия до 0,05 ... 0,07 % к 50 ... 100 годам облесения песков.

По классификационному положению почвы Нижнеднепровских песков за 100-летний период лесомелиорации приобретают морфологические признаки дерновых борových почв с мощностью гумусового горизонта до 45 см. Для сравнения нами были заложены разрезы на закрепленных песках с густым травяным покровом, где почвенный профиль формировался непрерывно в течение голоцена (10 тыс. лет). Почвы с близким залеганием грунтовых вод соответствовали черноземовидным борovým мощным почвам [6] (горизонт А – 35 см (при содержании гумуса 0,49 %), А + АВ – 94 см). На более возвышенных местоположениях образовались черноземовидные борové среднеспособные почвы (А – 24 см, А + АВ – 76 см). Таким образом, под лесными насаждениями на аллювиальных песках за 100-летний период успевают сформироваться до половины мощности гумусового горизонта полноголоценовых аналогов.

Это определяет перспективность лесомелиорации песков не только в природоохранном и хозяйственном, но и в экологическом отношении, так

как при этом происходит относительно быстрое воспроизводство важнейшего компонента экосистем и ландшафтов – почвенного покрова.

#### *Выводы*

1. Под сосновыми лесонасаждениями скорость формирования гумусового горизонта почвы в условиях лесостепной зоны в 2,2 раза выше, чем в степной зоне.

2. Полученные результаты позволяют, основываясь на идее Б.Б. Родомана [7] о циклическом ресурсообороте, предложить по прошествии 100 лет смену лесохозяйственного использования территории Нижнеднепровских песков на сельскохозяйственное. При этом по периметру полей севооборотов следует оставлять зрелый лес в виде полезащитных лесных полос, позволяющий сконструировать лесоаграрный экологически сбалансированный ландшафт с высоким потенциалом воспроизводства средо- и ресурсоформирующих условий.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Виноградов, В.Н.* Защитные лесные насаждения при комплексном освоении песков [Текст] / В.Н. Виноградов // Агролесомелиорация. – М.: Лесн. пром-сть, 1979. – С. 103–117.
2. *Голеусов, П.В.* Воспроизводство почв в антропогенных ландшафтах лесостепи [Текст] / П.В. Голеусов, Ф.Н. Лисецкий. – Белгород: Изд-во Белгор. гос. ун-та, 2005. – 232 с.
3. *Гордеев, А.В.* Выбор главных древесных пород для облесения Нижнеднепровских песков [Текст] / А.В. Гордеев // Геогр. сб. II. Вопросы степного лесоразведения. – М.; Л.: Изд-во АН СССР, 1956. – С. 116–133.
4. Комплекс освоения Нижнеднепровских песков [Текст]. – Симферополь: Таврия, 1974. – 142 с.
5. *Писаренко, А.И.* Создание искусственных лесов [Текст] / А.И. Писаренко, М.Д. Мерзленко. – М.: Агропромиздат, 1990. – 270 с.
6. Полевой определитель почв [Текст]. – Киев: Урожай, 1981. – 320 с.
7. *Родоман, Б.Б.* Рекультивация и циклическая смена типов земель в культурном ландшафте [Текст] / Б.Б. Родоман // Учен. зап. Тарт. гос. ун-та. – 1989. – № 837. – С. 75–82.
8. *Срединский, Н.К.* Материалы для флоры Новороссийского края и Бессарабии [Текст] / Н.К. Срединский. – Одесса, 1872–1873. – 292 с.
9. *Стройная С.А.* Защитное лесоразведение на орошаемых землях Украины и Северного Кавказа [Текст] / С.А. Стройная. – Киев: Наук. думка, 1991. – 277 с.

Белгородский государственный  
университет

Поступила 30.03.07

---

*F.N. Lisetsky*  
Belgorod State University

**Soil-formation Potential of Forest Stands under Sands Afforestation in Forest-steppe and Steppe Environment**

Peculiarities of soil formation under sands afforestation in forest-steppe and steppe zones are studied. The differences in soil-formation efficiency of certain forest stand types are shown.

Keywords: soil-formation, stands afforestation, forest-steppe, steppe.

---

УДК 630\*232:582.632.2 (470.345)

***С.В. Кириллов, А.С. Яковлев***

Кириллов Сергей Владимирович родился в 1962 г., окончил в 1985 г. Марийский политехнический институт, старший преподаватель кафедры лесных культур и механизации лесохозяйственных работ Марийского государственного технического университета. Имеет 5 печатных работ в области лесных культур дуба.



Яковлев Александр Степанович родился в 1937 г., окончил в 1960 г. Поволжский лесотехнический институт, доктор сельскохозяйственных наук, профессор кафедры лесных культур и механизации лесохозяйственных работ Марийского государственного технического университета, заслуженный деятель науки Республики Марий Эл, академик ИТА Чувашской Республики. Имеет более 190 научных трудов по исследованию состояния искусственных лесных насаждений и защитного лесоразведения.



## **ГЕОГРАФИЧЕСКИЕ КУЛЬТУРЫ ДУБА В РЕСПУБЛИКЕ МАРИЙ ЭЛ**

Проанализированы сохранность, рост по высоте и диаметру, качественное состояние географических культур дуба черешчатого.

*Ключевые слова:* географические культуры, климатипы, происхождение желудей, лесосеменное районирование.

Дуб – одна из главнейших лесообразующих пород, имеющих обширный и разнообразный в климатическом и почвенном отношении естественный ареал. На территории России площадь дубовых лесов составляет около 7,2 млн га.

Периодичность плодоношения и большой спрос на семена дуба в неурожайные годы обуславливали в ряде случаев сверхдальние перемещения семенных желудей без учета эдафических, климатических и фенологических разновидностей, что привело к снижению устойчивости, продуктивности и качества насаждения, а иногда и полной гибели культур. В связи с этим для теории и практики лесоводства важное значение имеет изучение географической изменчивости наследственных свойств лесных пород, что позволяет вскрыть эволюционно-генетические закономерности формирования насаждений дуба в разных частях его ареала, выявить возможность сохранения популяций и повысить их продуктивность, разработать лесосеменное районирование [2]. Основным средством для изучения изменчивости наследственных свойств лесных пород, в частности дуба, является создание сети географических культур.

Целью нашей работы является изучение географических культур дуба из разных регионов, произрастающих в почвенно-климатических условиях Республики Марий Эл (РМЭ).

Объектом исследования служили географические культуры дуба, созданные в 1976 г. под руководством проф. А.С. Яковлева в квартале 77 Алексеевского лесничества Муш-Маринского лесхоза на общей площади 9 га. Основную часть участка занимала вырубка, превращенная в сенокосное угодье с отдельными группами деревьев дуба. Число пней на вырубке – 500 шт. Почва супесчано-слоисто-суглинистая на карбонатных породах [3], тип лесорастительных условий – D<sub>2</sub>, тип леса до рубки – дубняк кленово-липовый.

Лесокультурную площадь подготавливали следующим образом. Пни корчевали корчевателем-собирателем Д-513, затем этим же орудием вычесывали корни с одновременной планировкой участка. Основная обработка почвы произведена плугом ПБК-2-54 на глубину 27 см с последующим дискованием бороной БДТ-2,2.

В 30-летнем возрасте географические культуры достигли высоты 2,6 ... 6,4 м и диаметра 6,0 ... 12,3 см (см. таблицу). Показатели роста потомства разного происхождения существенно различаются как по высоте, так и по диаметру, максимальные показатели в несколько раз больше минимальных. Пределы изменчивости высоты потомств из каждой изучаемой зоны достаточно близки.

Сравнение роста дуба местного происхождения из лесной зоны показало, что высоты этих потомств неодинаковы, большая в Руткинском лесхозе, а достоверно меньшая в Пригородном. Культуры из Козьмодемьянского лесхоза зоны широколиственных лесов имеют высоту 3,2 м при самой низкой сохранности среди местных происхождений. В пределах одной лесорастительной зоны выделяются потомства выше местных, равные им и

#### Показатели состояния и роста географических культур дуба

Регион происхождения	Повторность	Сохранность, %	Высота, м	Диаметр, см
Зона хвойных лесов. Подзона южной тайги				
Новгородская обл.	1	21,3	4,67±0,29	5,04±0,32
	2	0,8	4,34±0,26	7,85±0,57
	Среднее	12,9	4,44±0,19	6,57±0,34
РМЭ, Муш-Маринский лесхоз	1	2,7	5,10±0,60	7,34±0,70
	2	20,6	3,07±0,40	4,52±0,57
	Среднее	13,1	4,45±0,31	6,44±0,54
Руткинский лесхоз	1	35,2	4,16±0,23	6,24±0,60
	2	11,5	6,13±0,35	8,63±0,68
	Среднее	25,9	5,14±0,24	7,40±0,47
Пригородный лесхоз	1	51,2	3,49±0,27	4,38±0,43
	2	20,5	4,46±0,35	5,98±0,66
	Среднее	24,5	4,00±0,24	4,96±0,38
Свердловская обл.	1	38,5	4,89±0,26	6,02±0,43

	2	14,6	7,30±0,33	6,40±0,47
	Среднее	27,7	6,40±0,26	6,24±0,33
Зона широколиственных лесов				
Брянская обл.	1	51,2	5,07±0,48	5,81±0,75
	2	45,1	7,52±0,38	8,69±0,72
	Среднее	48,5	6,29±0,34	7,10±0,53
Витебская обл.	1	47,7	5,21±0,39	8,10±0,78
	2	2,6	4,74±0,18	7,24±0,61
	Среднее	31,9	5,17±0,30	7,76±0,57
Тульская обл.	1	30,0	5,64±0,34	7,20±0,56
	2	33,8	5,34±0,31	8,50±0,86
	Среднее	32,3	5,52±0,24	7,54±0,46
РМЭ, Козьмодемьянский лесхоз	1	2,7	3,21±0,29	5,83±0,62
	2	39,6	6,26±0,36	8,52±0,73
Гомельская обл.	1	39,6	6,26±0,36	8,52±0,73
	2	40,7	4,62±0,33	5,20±0,58
	Среднее	40,2	5,44±0,27	6,81±0,51
Могилевская обл.	1	46,0	7,06±0,35	9,10±0,70
	2	14,2	5,58±0,37	6,71±0,51
	Среднее	27,4	6,26±0,31	7,34±0,42
Лесостепная зона				
Белгородская обл., Алексеевский лесхоз	1	17,4	6,20±0,32	6,06±0,58
	2	21,9	4,05±0,35	5,32±0,49
	Среднее	19,3	5,34±0,28	5,67±0,38
Щебекинский лесхоз	1	58,7	4,69±0,25	10,13±0,66
	2	31,4	6,84±0,33	5,86±0,85
	Среднее	44,1	5,53±0,23	8,39±0,59
Воронежская обл., Воронцовский лесхоз	1	16,7	5,75±0,34	8,30±0,71
	2	12,5	5,08±0,31	6,98±0,75
	Среднее	14,9	5,46±0,23	7,65±0,52

Окончание таблицы

Регион происхождения	Повторность	Сохранность, %	Высота, м	Диаметр, см
Воронежская обл., Теллермановский лесхоз	1	12,9	5,34±0,28	7,61±0,73
	2	30,2	3,71±0,54	7,33±1,33
	Среднее	20,3	4,78±0,28	7,02±0,63
Башкортостан	1	1,8	5,22±0,35	6,06±0,58
	2	2,0	5,50±0,25	5,32±0,49
	Среднее	1,9	5,36±0,22	5,67±0,38
Оренбургская обл.	1	67,0	3,90±0,35	5,98±0,59
	2	15,9	6,37±0,43	7,20±0,71
	Среднее	52,7	4,80±0,32	6,51±0,45
Сумская обл.	1	34,3	6,16±0,29	6,62±0,41
	2	34,5	5,48±0,39	8,32±0,89
	Среднее	34,4	5,90±0,23	7,22±0,43
Курская обл.	1	34,2	5,04±0,38	4,77±0,60
	2	3,7	4,46±0,25	7,29±0,60

Республика Татарстан	Среднее	22,2	4,75±0,23	5,98±0,45
	1	47,8	3,60±0,25	4,48±0,49
	2	21,4	5,46±0,22	6,38±0,47
	Среднее	33,7	4,59±0,19	5,44±0,35
Волгоградская обл.	Степная зона			
	1	14,0	5,80±5,50	12,30±0,90
Дагестан	Горные леса Северного Кавказа			
	1	34,8	3,58±0,53	4,33±1,23
	2	21,5	2,33±0,27	6,03±0,71
	Среднее	28,1	2,57±0,25	4,02±0,39

достоверно ниже. Так, в зоне хвойных лесов только свердловский климатип достоверно выше и один из РМЭ (Пригородный лесхоз) достоверно ниже, чем дуб из Руткинского лесхоза. По сравнению с дубом из Пригородного лесхоза два потомства имеют достоверно большую высоту – из Руткинского лесхоза РМЭ и Свердловской области. Остальные хотя и выше, но достоверно эти величины не отличаются. У дуба дагестанского происхождения высота достоверно меньше, чем в местных культурах, при низкой сохранности (см. таблицу).

Сохранность деревьев зависит от географического происхождения слабее. Лучшие показатели у дубков родом из зоны широколиственных лесов, Чувашско-Татарского и Центрального лесостепного лесосеменных районов. Культуры из зон хвойных и широколиственных лесов, а также лесостепной зоны имеют близкую сохранность, но и здесь выделяются потомства из Центрального лесостепного и Заволжского степного лесосеменных районов. Очень плохо сохранился дуб из степной зоны и горных лесов Северного Кавказа. Показатели местных потомств варьируют очень значительно. По количеству сохранившихся они не входят в группу лучших, поэтому большинство сравниваемых географических культур имеют такую же, как у местных, и даже лучшую сохранность.

Проведенные нами исследования показали, что процент деревьев со здоровой неповрежденной кроной достигает 67. Лучший показатель устойчивости оказался у деревьев из Муш-Маринского лесхоза РМЭ, 50,0 ... 64,3 % их не имеют повреждений. У других климатипов этот показатель изменяется сильнее. Например, у дуба из Щебенкинского лесхоза Белгородской области в первой повторности здоровую крону имеют 6,1 % деревьев, а во второй – 65,0 %. Такая же картина наблюдается у деревьев из Воронежской области (13 ... 53 %), Оренбургской (3 ... 50 %), Дагестана (29 ... 50 %). Хорошее состояние у климатипов из Башкортостана, Гомельской, Курской, Могилевской, Свердловской, Тульской областей. Худшее санитарное состояние у деревьев дуба из Куйбышевского лесхоза Республики Татарстан (до 75 % усыхающих деревьев).

В дубравах особенно часто наблюдаются морозные трещины деревьев. Повреждение этим пороком зависит от лесорастительных условий участка, полноты, структуры насаждений и индивидуальных особенностей де-



ревьев. Степень повреждения возрастает с увеличением диаметра деревьев и снижается с повышением полноты древостоя [1]. Устойчивость к морозным трещинам оценивали по их встречаемости и отношению к длине ствола. В насаждениях 30 лет они наблюдались у деревьев всех происхождений, доля морозобойных растений варьирует от 3 до 20 %, лишь у волгоградского потомства (степная зона) повреждено больше деревьев – 26,7 %. Оренбургские, сумские, белгородские (Щебекинский лесхоз) культуры имеют повреждения до 5 %, брянские, воронежские, свердловские, татарские и тульские – до 10 %. Повреждения дуба из лесхозов РМЭ варьируют от 6,6 до 20 %.

Устойчивость к болезням в географических культурах оценивали по доле пораженных растений. В изучаемых культурах чаще всего встречаются мучнистая роса листьев (*Microsphaera alphitoides* Griff. et Maubl.), а на стволах чешуйчатый лишайник эверния лентовидная (*Evernia prunastri* L.). Больше всего мучнистой росой поражаются растения в Тульской, Воронежской, Сумской областях, большинстве лесхозов РМЭ, не зафиксированы поражения в Могилевской области, Башкортостане, Козьмодемьянском лесхозе РМЭ. Прослеживается некоторая взаимосвязь с фазами листораспускания. Заметно страдают потомства, у которых позднее завершается формирование листьев. Тонкие листья сильнее поражаются мучнистой росой, а плотные, закончившие рост, – слабее.

Бурая пятнистость (*Gloesporium quercinum* West.) меньше, чем мучнистая роса, поражает листья дуба в географических культурах, однако семь потомств подвержено этой болезни. В наибольшей степени страдает дуб из Воронежской области (3,3 ... 37 %), Белгородской (43 %) и Муш-Маринского лесхоза РМЭ (14,3 %).

#### Выводы

1. Полученные данные показывают, что географическое происхождение оказывает влияние главным образом на устойчивость к мучнистой росе, связанную с завершенностью формирования листьев к периоду развития мучнистой росы. В меньшей степени прослеживается зависимость от популяционной принадлежности дуба, а также индивидуальных особенностей деревьев.

2. Значительное поражение листьев дуба мучнистой росой и в меньшей степени бурой пятнистостью может сказываться на снижении прироста и устойчивости культур. Наиболее устойчивы потомства из Башкортостана, Могилевской области и Козьмодемьянского лесхоза РМЭ.

3. Не меньшее влияние, чем географическое происхождение, на рост потомств в разных повторностях оказывают условия роста: микрорельеф и почвенные различия на участке.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Данилов, М.Д. Некоторые особенности структуры популяции дуба черешчатого в условиях северо-восточной части его ареала [Текст] / М.Д. Данилов, Д.Т. Гурьев, П.Н. Федоров // Тр. Ин-та экологии растений и животных. – 1975.

2. Котюков, А.Е. Опыт анализа популяций дуба черешчатого (*Quercus robur* L.) по фенологическому признаку [Текст] / А.Е. Котюков // Тр. Ин-та леса АН СССР. – 1950. – Т. 8. – С. 150.

3. Экологическое состояние дубрав Среднего Поволжья [Текст] / А.Х. Газизуллин, А.Г. Гаянов, Е.А. Гуськов, А.Л. Сабиров // Влияние атмосферного загрязнения и других антропогенных факторов...: тез. докл. Междунар. науч. конф. – М., 1996. – Т. 1. – С. 123–125.

Марийский государственный  
технический университет

Поступила 16.10.07

*S.V. Kirillov, A.S. Yakovlev*

Mari State Technical University

### **Geographical Oak Cultures in Mari El Republic**

Conservation, growth according to height and diameter, qualitative state are analyzed for geographical cultures of English oak.

Keywords: geographical cultures, climatypes, acorn origin, forest-seed zoning.

---

УДК 581.55:630\*187

**Ю.Е. Кекишева<sup>1</sup>, Е.Н. Наквасина<sup>2</sup>**

Кекишева Юлия Евгеньевна родилась в 1975 г., окончила в 2004 г. Поморский государственный университет им. М. В. Ломоносова, аспирант кафедры ботаники и общей экологии ПГУ. Имеет 5 публикаций по вопросам ценотической и флористической структуры лесов.



Наквасина Елена Николаевна родилась в 1952 г., окончила в 1975 г. Архангельский лесотехнический институт, доктор сельскохозяйственных наук, профессор, заведующий кафедрой лесоводства и почвоведения Архангельского государственного технического университета. Имеет более 100 печатных работ в области лесовосстановления и экологии экосистем.



## **ЦЕНОТИЧЕСКАЯ СТРУКТУРА И ФЛОРИСТИЧЕСКИЙ СОСТАВ ЕЛЬНИКОВ ЗЕЛЕНОМОШНЫХ СРЕДНЕЙ ПОДЗОНЫ ТАЙГИ\***

Рассмотрена ценотическая структура наиболее распространенной группы типов леса ельников зеленомошных в Плесецком районе Архангельской области. По результатам изучения растительности на 25 пробных площадях составлен флористический список и дан его анализ.

*Ключевые слова:* тип леса, ассоциация, ельники зеленомошные, средняя подзона тайги, флора.

Лесные экосистемы Европейского Севера в типологическом плане изучены достаточно [1, 7]. В то же время исследования лесов на ассоциативном уровне немногочисленны и в основном относятся к Республике Коми [2, 3, 8].

При классификации лесных сообществ по типам леса в большинстве случаев учитывают только основные компоненты фитоценозов – растительность и комплекс абиотических факторов. Тип экосистемы объединяет различные ассоциации, которые должны быть элементарной единицей в его оценке [1]. Это позволяет оценить эколого-фитоценотические характеристики лесов и выявить закономерности их экосистемного разнообразия, что будет способствовать сохранению флоры и прогнозированию развития экосистем.

---

\* Исследования поддержаны грантом администрации Архангельской области № 9/03-20.

Основным методом изучения был полевой геоботанический в сочетании с флористическим и ценопопуляционным методами оценки напочвенного покрова. Исследования проводились на территории Плесецкого района Архангельской области. Описания ассоциаций ельников-зеленомошников, наиболее распространенных в регионе, выполняли в 2004 – 2006 гг. по общепринятой методике [5, 6]. На 25 пробных площадях определяли состав и структуру древостоя, описывали подрост, подлесок, травяно-кустарничковый ярус, мохово-лишайниковый покров, рассматривали особенности почвы. Обилие растений травяно-кустарничкового яруса определяли на дополнительных площадках [6]. Название ассоциации давали по доминантам основных ярусов.

Ельники зеленомошной группы (*Piceeta hilocomiosa*) занимают около 50 % площади еловых лесов средней тайги. Они произрастают на относительно дренированных элементах рельефа, типичных подзолистых почвах [3]. В Плесецком районе зеленомошная группа ельников представлена в основном черничным, разнотравным, кисличным и брусничным типами.

Ельник черничный (*Piceetum myrtillosum*) характеризуется сплошным покровом черники, что является показателем неглубокого расположения грунтовых вод. На пробных площадях почвы среднеподзолистые суглинистые, хорошо заметны переходы между почвенными горизонтами, кислотность почв 4,4 ... 4,6. На участках с выраженным понижением рельефа, где явно затруднен сток воды, почва торфянистая или торфянисто-глеевая с развитым мощным горизонтом торфянистой подстилки.

Класс бонитета древостоя IV, сомкнутость 0,6, полнота 0,6, диаметр 19 см, средняя высота 16,3 м, возраст 140 лет, запас древесины 160 ... 180 м<sup>3</sup>/га. В подлеске можжевельник обыкновенный, шиповник иглистый, различные виды ив, рябина, реже волчье лыко, смородина, жимолость; средняя густота 8800 шт./га. Рост и возобновление ели под древесным пологом активные, но подрост в основном неблагонадежный, много сухого и с усыхающими нижними ветвями.

Видовое разнообразие травяно-кустарничкового яруса невелико, от 10 до 24 видов. Общее проективное покрытие варьирует от 35 до 65 %. Из кустарничков в исследованных сообществах наиболее часто встречаются черника, брусника, на болотистых участках появляется багульник и голубика. В лесном разнотравье представлены: хвощ лесной, майник двулистный, седмичник европейский, кислица, грушанка, лесная герань и др. В моховом покрове ельников черничных свежих, общее проективное покрытие которых составляет 60 ... 100 %, доминируют *Pleurozium schreberi* (Brid.) Mitt., *Dicranum scoparium* Hedw., *Hylocomium splendens* (Hedw.) Schimp. in B. S. G., *Rhytidiadelphus triquetrus* (Hedw.) Warnst., в заболоченных местах преобладают *Polytrichum commune* Hedw. и различные виды сфагнума; высота растений 10 ... 17 см.

В ельниках черничных нами выявлены следующие ассоциации:

*Picea (abies (L.) Karst × obovata Ledeb.) – Juniperus communis L. – Vaccinium myrtillus L. + Equisetum sylvaticum L. – Polytrichum commune + Sphagnum girgensohnii Russ.*

*Picea (abies (L.) Karst × obovata Ledeb.) – Rosa acicularis Lindl. – Vaccinium myrtillus + V. vitis-idaea L. – Hylocomium splendens + Sphagnum girgensohnii.*

*Picea (abies (L.) Karst × obovata Ledeb.) – Juniperus communis + Sorbus aucuparia L. – Vaccinium myrtillus – Sphagnum girgensohnii + Pleurozium schreberi + Polytrichum commune.*

*Picea (abies (L.) Karst × obovata Ledeb.) – Sorbus aucuparia L. – Vaccinium myrtillus – Sphagnum girgensohnii + Hylocomium splendens.*

*Picea (abies (L.) Karst × obovata Ledeb.) – Rosa acicularis – Vaccinium myrtillus – Sphagnum girgensohnii + Hylocomium splendens.*

*Picea (abies (L.) Karst × obovata Ledeb.) – Rosa acicularis – Vaccinium myrtillus + Majanthemum bifolium (L.) F. W. Schmidt – Rhytidiadelphus triquetrus + Dicranum scoparium.*

*Picea (abies (L.) Karst × obovata Ledeb.) – Sorbus aucuparia – Vaccinium myrtillus + Oxalis acetosella L. – Pleurozium schreberi + Hylocomium splendens + Rhytidiadelphus triquetrus.*

Ельник разнотравный (*Piceetum herbosum*) распространен на высоких речных террасах, пологих склонах. Древостой с примесью березы, осины, сосны, класс бонитета IV – V, средняя высота ели 17 м, есть сухостой. В подлеске рябина, шиповник, можжевельник. Травяно-кустарничковый ярус довольно богат по видовому составу: черника, брусника, майник, костяника, папоротники, грушанки и др. (проективное покрытие 65 ... 70 %). Мохово-лишайниковый ярус с проективным покрытием 65 ... 70 % представлен *Pleurozium schreberi*, *Hylocomium splendens*, *Dicranum scoparium*, *Ptilium crista-castrensis* (Hedw.) De Not., встречаются мхи, характерные для влажных мест обитания: *Polytrichum commune*, *Sphagnum* sp. и др.

Под этим типом леса развиваются типичные подзолистые почвы: супесчаные, подстилаемые суглинками, или легкосуглинистые, подстилаемые средними суглинками, умеренно дренированные, периодически переувлажненные в весенне-летний период.

В данном типе леса нами выделены следующие ассоциации:

*Picea (abies (L.) Karst × obovata Ledeb.) – Sorbus aucuparia – Majanthemum bifolium – Pleurozium schreberi + Hylocomium splendens.*

*Picea (abies (L.) Karst × obovata Ledeb.) – Sorbus aucuparia – Pyrola rotundifolia L. + Oxalis acetosella + Lycopodium annotinum L. – Hylocomium splendens.*

*Picea (abies (L.) Karst × obovata Ledeb.) – Sorbus aucuparia + Rosa acicularis – Atragene sibirica L. – Pleurozium schreberi + Hylocomium splendens.*

*Picea (abies (L.) Karst × obovata Ledeb.) – Rosa acicularis – Majanthemum bifolium – Rhytidiadelphus triquetrus + Dicranum scoparium.*

*Picea (abies (L.) Karst × obovata Ledeb.) – Juniperus communis – Linnaea borealis L. – Hylocomium splendens + Pleurozium schreberi.*

*Picea (abies (L.) Karst × obovata Ledeb.) – Rosa acicularis – Equisetum silvaticum L. + Geum rivale L. + Aconitum excelsum Reichb. – Rhytidiadelphus triquetrus.*

Ельник разнотравный с доминированием папоротников (*Piceetum dryopteridosum*) обычно занимает пологие склоны водораздельных плато. В древостое преобладает ель, однако распределение деревьев неравномерное, групповое, вследствие чего, несмотря на большую полноту (0,7), сомкнутость крон невелика (0,4). Класс бонитета III – IV, средняя высота 21 м. Еловый подрост распределен неравномерно, приурочен к заросшим мхами валежнику и колодам. Подлесок довольно богат по видовому составу: рябина, малина, жимолость, шиповник. Почва торфянисто-перегнойная глеевая.

Травяно-кустарничковый ярус хорошо развит, проективное покрытие 55 ... 80 %. Четко выделяются подъярусы: в первом доминирует щитовник мужской, встречается борец северный (высота до 1 м); во втором черника, брусника, хвощ лесной, золотарник и т. д.; в третьем – голокучник трехраздельный, северная линнея, майник, седмичник и т. д. Моховый ярус развит слабо (проективное покрытие 25 ... 40 %): *Hylocomium splendens*, *Pleurozium schreberi*, *Rhytidiadelphus triquetrus*.

Выделены следующие ассоциации:

*Picea (abies (L.) Karst × obovata Ledeb.) – Rosa acicularis – Dryopteris filix-mas (L.) Schott. – Rhytidiadelphus triquetrus.*

*Picea (abies (L.) Karst × obovata Ledeb.) – Rosa acicularis + Sorbus aucuparia – Dryopteris filix-mas + Gymnocarpium dryopteris (L.) Newm. – Rhytidiadelphus triquetrus + Hylocomium splendens.*

Ельник кисличный (*Piceetum oxalidosum*) произрастает в условиях достаточного увлажнения с хорошим дренажом, на довольно богатых почвах. В древостое присутствует примесь мелколиственных пород, однако бонитет ели довольно высокий – III, средняя высота ели 19 ... 20 м, полнота древостоя 0,6. Еловый подрост в основном благонадежный дефектный и сомнительный. В подлеске шиповник, рябина, жимолость, можжевельник. Почва слабоподзолистая с хорошим поверхностным стоком вод.

В травяно-кустарничковом ярусе (проективное покрытие 40 ... 60 %) преобладает кислица, обильны северная линнея, седмичник, плаун, майник, грушанка. Проективное покрытие мохово-лишайникового яруса 60 %, сплошной ковер из зеленых мхов не образуется.

Нами описаны следующие ассоциации:

*Picea (abies (L.) Karst × obovata Ledeb.) – Rosa acicularis – Oxalis acetosella – Hylocomium splendens.*

*Picea (abies (L.) Karst × obovata Ledeb.) – Rubus idaeus L. – Oxalis acetosella – Pleurozium schreberi + Hylocomium splendens + Rhytidiadelphus triquetrus.*

*Picea (abies (L.) Karst × obovata Ledeb.) – Ribes nigrum L. – Oxalis acetosella – Rhytidiadelphus triquetrus.*

*Picea (abies (L.) Karst × obovata Ledeb.) – Sorbus aucuparia + Rosa acicularis – Majanthemum bifolium + Oxalis acetosella – Pleurozium schreberi + Hylocomium splendens.*

Ельник брусничный (*Piceetum vaccinosum*) занимает обычно вершины холмов и увалов, развивается на типичных подзолах супесчаных, подстилаемых суглинками. Древостой V класса бонитета, средняя высота ели 16 м, диаметр 16 см, полнота 0,5. Подрост ели достаточный – 5 ... 6 тыс. шт./га, однако состояние его не всегда благонадежное; встречается сосна. В подлеске можжевельник, единично рябина, шиповник. Травяно-кустарничковый ярус сформирован брусникой, черникой, северной линнеей, золотарником, майником, ландышем, проективное покрытие 60 ... 70 %. Моховый покров развит хорошо (проективное покрытие 90 %). Почва железисто-гумусовый подзол с небольшой мощностью лесной подстилки.

В данном типе леса выделены следующие ассоциации:

*Picea (abies (L.) Karst × obovata Ledeb.) – Rosa acicularis – Vaccinium vitis-idaea – Pleurozium schreberi + Hylocomium splendens.*

*Picea (abies (L.) Karst × obovata Ledeb.) – Rubus idaeus – Vaccinium vitis-idaea – Hylocomium splendens + Dicranum polysetum + Pleurozium schreberi.*

*Picea (abies (L.) Karst × obovata Ledeb.) – Juniperus communis – Vaccinium vitis-idaea – Pleurozium schreberi + Hylocomium splendens.*

*Picea (abies (L.) Karst × obovata Ledeb.) – Juniperus communis – Vaccinium vitis-idaea – Sphagnum girgensohnii + Pleurozium schreberi.*

Флора ельников зеленомошной группы Плесецкого района насчитывает 135 видов и имеет следующую систематическую структуру (см. таблицу).

Наиболее разнообразны растения, относящиеся к семействам *Ericaceae* Juss., *Poaceae* Barnhart, *Rosaceae* Juss., особенно к последнему. По одному виду содержат семейства *Empetraceae* S. F. Gray, *Oxalidaceae* R. Br., *Primulaceae* Vent., *Juncaceae* Juss., *Urticaceae* Juss., *Caryophyllaceae* Juss., *Cupressaceae* Rich. ex Bartl., *Geraniaceae* Juss.

Большая часть встречающихся видов относится к лесным ценотипам, редки виды, характерные для луговых (некоторые виды злаков, такие как костер безостый), а также болотных ценотипов (багульник, морошка, голубика и т. д.).

Виды травяно-кустарничкового яруса условно могут быть поделены на две группы. Первая – наиболее распространенные, их встречаемость превышает 60 % (*Vaccinium myrtillus*, *V. vitis-idaea*, *Linnaea borealis*, *Equisetum sylvaticum* L., *Trientalis europaea* L., *Majanthemum bifolium*, *Oxalis acetosella*, *Solidago virgaurea* L., *Avenella flexuosa* (L.) Drej., *Lathyrus vernus*

## Систематическая структура ельников зеленомошных

Показатели	Число видов	
	шт.	%
Споровые растения	45	33
Голосеменные растения	3	2
Лишайники	8	6
Покрытосеменные растения	79	59
В том числе:		
однодольные	16	12
двудольные	63	47
Соотношение числа видов двудольных к однодольным	4 : 1	–
Число семейств, представленных одним видом	9	8
Число родов, представленных одним видом	9	8

(L.) Bernh. и др.). Они представлены в основном хамефитами, криптофитами и гемикриптофитами (по Раункиеру); по географическому положению бореальные, циркумполярные, европейские и евро-азиатские; по отношению к почвенному богатству олиготрофы, мезотрофы; по отношению к фактору увлажнения мезофиты.

Обилие видов второй группы не превышает 60 % (*Pyrola rotundifolia* L., *Orthilia secunda* (L.) House, *Melampyrum sylvaticum* L., *Milium effusum* L., *Melica nutans* L., *Luzula pilosa* (L.) Willd., *Lathyrus vernus*, *Viola epipsila* Ledeb., *Chamaenerion latifolium* L., *Lycopodium annotinum* L., *Calamagrostis arundinacea* (L.) Roth, *Agrostis tenuis* Sibth., *Paris quadrifolia* L., *Aconitum excelsum* Reichb.-A. и др.) Они также представлены хамефитами, криптофитами и гемикриптофитами (по Раункиеру); по географическому положению бореальные, циркумполярные, европейские и евро-азиатские; по увлажнению в основном мезофиты, однако есть и гигрофиты (*Rubus chamaemorus* L., *Geum rivale* L.).

Встречаются растения, занесенные в Красную книгу Архангельской области [4]: *Diphysium complanatum* (L.) Rothm., *Convallaria majalis* L., *Platanthera bifolia* (L.) Rich.

Таким образом, инвентаризация ельников зеленомошной группы типов леса средней подзоны тайги на примере Плесецкого района Архангельской области по ассоциативному принципу выявила неоднородность типов леса по ценотической структуре. В пределах типов леса спектр растительных сообществ достаточно узок: от 2 до 8 ассоциаций с низким видовым разнообразием. К факторам, действующим на распространенность видов ассоциаций, можно отнести бедность подзолистых почв, формирующихся под еловым пологом. С ним связаны также особенности рельефа, который меняет уровень увлажненности почвы и способствует перераспределению влаголюбивой и суходольной растительности.



## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Восточноевропейские леса: история в голоцене и современность. В 2-х кн. Кн. 2. / Центр по пробл. экологии и продуктивности лесов; отв. ред. О. В. Смирнова. – М.: Наука, 2004.
2. Дегтева, С.В. Параметры экологического пространства и флористическое разнообразие лесных формаций Европейского Северо-Востока России [Текст] / С.В. Дегтева // Экология. – 2005. – № 3. – С. 180–185.
3. Коренные еловые леса Севера: биоразнообразие, структура, функции [Текст] / под ред. К.С. Бобковой, Э.П. Галенко. – СПб.: Наука, 2006. – 337 с.
4. Красная книга Архангельской области (редкие и охраняемые виды растений и животных) [Текст] / под ред. В.А. Андреева. – Архангельск, 1995. – 328 с.
5. Наквасина, Е.Н. Геоботанические исследования [Текст]: метод. рекомендации к полевым работам / Е.Н. Наквасина, Е.В. Шаврина. – Архангельск: ПГУ им. М.В. Ломоносова, 2001. – 44 с.
6. Полевая практика по экологии растений [Текст]: учеб. пособие / А.Е. Баталов, Е.В. Шаврина, М.П. Бахматова, Е.Ю. Чуракова; под ред. А.Е. Баталова. – М.: Изд-во МГУ, 2005. – 176 с.
7. Федорчук, В.Н. Лесные экосистемы северо-западных районов России: типология, динамика, хозяйственные особенности [Текст] / В.Н. Федорчук, В.Ю. Нешатаев, М.Л. Кузнецова. – СПб.: СПбНИИЛХ, 2005. – 382 с.
8. Ценогическая и флористическая структура лиственных лесов Европейского Севера [Текст] / С.В. Дегтева, Г.В. Железнова, Т.Н. Пыстина, Т.П. Шубина. – СПб.: Наука, 2001. – 269 с.

<sup>1</sup>Поморский государственный университет им. М.В. Ломоносова

<sup>2</sup>Архангельский государственный технический университет  
Поступила 18.04.07

*Yu.E. Kekisheva<sup>1</sup>, E.N. Nakvasina<sup>2</sup>*

<sup>1</sup>Pomor State University

<sup>2</sup>Arkhangelsk State Technical University

### **Coenotic Structure and Floristic Composition of Green-moss Spruce Forests of Middle Taiga Subzone**

Coenotic structure is analyzed for the most widely-spread group of green-moss spruce forest types in the Plesetsk region of Arkhangelsk province. Based on the results of studying vegetation on 25 sample plots the floristic list is developed and analyzed.

Keywords: forest type, association, green-moss spruce forests, middle taiga subzone, flora.

УДК 630\*2:712.2

*В.Н. Смертин, А.В. Грязькин*

Грязькин Анатолий Васильевич родился в 1951 г., окончил в 1981 г. Ленинградскую лесотехническую академию, доктор биологических наук, профессор кафедры лесоводства С.-Петербургской лесотехнической академии. Имеет более 140 печатных работ по проблемам естественного лесовозобновления, изучения последствий хозяйственной деятельности в лесу, использованию недревесных ресурсов леса, подсочке леса, лесной экологии.



### **ОСОБЕННОСТИ ПАРЦЕЛЛЯРНОЙ СТРУКТУРЫ ПАРКОВЫХ ФИТОЦЕНОЗОВ**

Дана оценка состояния структурных элементов парковых ценозов с использованием современных методов исследования. Установлено, что под влиянием антропогенных факторов изменяется видовой состав, состояние и структура парковых сообществ. Характер этих изменений зависит от степени нагрузки и типа биогеоценоза.

*Ключевые слова:* парковый фитоценоз, интенсивность рекреации, парцеллярная структура, динамика состава, санитарное состояние.

Функционирование растительного сообщества во многом определяется пространственной структурой биогеоценоза. Различают вертикальную структуру, или строение сообщества, когда различные ассоциации растений образуют разные по высоте слои – ярусы, и горизонтальную, или сложение фитоценоза, как следствие мозаичного размещения растений по составу, густоте, накапливаемой массе и активной поверхности [2–4, 12, 14]. При изучении пространственной структуры особое значение имеют количественные показатели, характеризующие значение каждого элемента в материально-энергетическом обмене всей системы. В отличие от пространственной функциональная структура показывает формы организации биоценоза на основе взаимоотношений его компонентов [5, 7, 9, 13].

Цель нашей работы – выявить особенности горизонтальной структуры парковых фитоценозов и установить динамику трансформации их структурных элементов в условиях интенсивной рекреации.

Полевые работы по изучению парцеллярной структуры фитоценозов и нижних ярусов растительности были проведены в крупнейшем в С.-Петербурге городском парке «Сосновка». Объектами исследования служили сосняки с небольшой примесью березы и ивы на переувлажненных почвах. Имеющаяся осушительная сеть требует ремонта.

Предварительно для выделения парцелл при помощи шнуров размечали координатную сетку 5 × 5 или 10 × 10 м в зависимости от интенсивности рекреации. По комплексу показателей с привязкой к этой сетке выделяли парцеллы разного размера, сформировавшиеся в результате рекреации [2, 3, 12]. Их распределяли по размерам на три группы: мелкие – от 1 × 1 до 5 × 5 м; средние – от 5 × 10 до 15 × 15 м; крупные – от 15 × 20 до 30 × 30 м.

Таблица 1

## Динамика парцеллярной структуры паркового фитоценоза

Группа парцелл	Число парцелл		Занимаемая площадь, м <sup>2</sup>	
	2000	2006	2000	2006
Мелкие	56	70	274	338
Средние	18	24	1800	2137
Крупные	7	7	3250	2850
Всего	81	101	5324	5325

Таблица 2

## Динамика показателей древостоя

Показатели	Распределение по группам парцелл и годам учета							
	Мелкие		Средние		Крупные		Фитоценоз в целом	
	2000	2006	2000	2006	2000	2006	2000	2006
Средний диаметр стволов, см	9,3	9,8	10,4	10,5	12,4	11,9	11,6	11,4
Средний балл состояния деревьев	4,3	4,9	4,3	4,8	3,7	3,9	3,9	4,1
Высота прикрепления кроны деревьев, м	2,3	3,1	2,2	2,7	1,6	1,9	1,8	2,6
Процент механических повреждений стволов	62	78	50	63	28	36	37	44

Динамику видового состава парцелл и изменение парцеллярной структуры изучали с 2000 г. по 2006 г. На объектах с высокой интенсивностью рекреации преобладали мелкие парцеллы независимо от давности учета (табл. 1). За шестилетний период количество парцелл возросло более чем на 20 %. Основные причины дробления горизонтальной структуры фитоценозов в зоне интенсивной рекреации – образование дополнительной тропиной сети, увеличение числа кострищ и стихийных мест отдыха.

Характеристики древостоя изменились несущественно (табл. 2). Общее число деревьев практически осталось прежним, однако структура самого древостоя стала иной: средний диаметр стволов снизился; санитарное состояние ухудшилось (средний балл повысился); высота прикрепления нижней части кроны и доля поврежденных деревьев увеличились.

«Реструктуризация» рассматриваемых фитоценозов не связана с хозяйственной деятельностью, а является результатом прямого воздействия рекреантов. Их разрушающее воздействие на парковые экосистемы подтверждается исследованиями многих авторов [6, 8, 10, 11, 15]. Влиянием человека обусловлено и увеличение доли поврежденных деревьев, уменьшение протяженности кроны деревьев, расположенных поблизости от мест отдыха. Нижние сучья и ветви деревьев используются не только для разведения костров, но и в качестве зеленых букетов (чаще в зимний период).

Особенность исследуемых сосняков – большое число кострищ, гарей и стихийных мест отдыха, на отдельных участках до 9 на 1 га.

В сосняках-долгомошниках парка «Сосновка» преобладают типы парцелл: долгомошниковые с сосной и чистые, сосново-багульниковые, со-

Таблица 3

## Структура сосняков в 2006 г.

Группа парцелл	Число парцелл по объектам в зависимости от интенсивности рекреации					
	Высокая		Средняя		Низкая	
	Чернич- ник	Долго- мошник	Чернич- ник	Долго- мошник	Чернич- ник	Долго- мошник
Мелкие	30	49	18	31	9	19
Средние	17	27	18	25	21	17
Крупные	5	2	7	8	8	9
Всего	52	78	43	64	38	45

Таблица 4

Структура подроста и подлеска по состоянию и группам высот  
в сосняке-черничнике, экз./га

Порода	Жизнеспособный			Нежизнеспособный		
	крупный	средний	мелкий	крупный	средний	мелкий
Сосна	134	134	267	335	267	134
Дуб	-	67	201	-	67	-
Береза	335	534	134	201	134	-
Рябина	67	134	335	67	-	-
Крушина	67	-	134	67	-	-

сново-черничные, сосново-вересковые, стихийные места отдыха (от 4 до 25 м<sup>2</sup>), кострища (от 1 до 4 м<sup>2</sup>) и гари (от 10 до 3000 м<sup>2</sup>); в сосняках-черничниках сосново-черничные, широколиственные с сосной или березой, долгомошниковые с сосной и чистые, стихийные места отдыха (от 10 до 25 м<sup>2</sup>), кострища (от 2 до 5 м<sup>2</sup>).

В условиях интенсивной рекреации число выделенных парцелл и их размер в сосняках-черничниках меньше, чем в долгомошниках. Сохранению целостности фитоценозов в черничниках способствует густой травостой и обильный подлесок (преимущественно рябина). В целом парцеллярная структура сосняков-черничников и долгомошников при одинаковой антропогенной нагрузке различается (табл. 3).

Судя по числу кострищ, гарей и стихийных мест отдыха, рекреанты используют сосняки-долгомошники более интенсивно, чем черничники, отдавая предпочтение парцеллам с преобладанием морошки, мелкотравья, кукушкина льна и черники. Таким образом, интенсивность рекреации связана с видовым составом и строением парковых фитоценозов и их структурных элементов.

Устойчивость парцелл и отдельных элементов фитоценозов различна. При одинаковой нагрузке состояние подроста лиственных пород и подлеска значительно выше, чем сосны, доля жизнеспособного подроста березы больше почти в три раза (табл. 4). Индекс жизнеспособности мелкого подроста сосны выше, чем среднего и крупного. Доля сухого подроста сосны

Таблица 5

**Динамика структуры и основных характеристик  
травяно-кустарничкового яруса в сосняке-долгомошнике**

Показатели	2000	2006
Число парцелл на объекте	81	101
Число видов на учетной площадке	4,5±0,2	4,0±0,3
Общее проективное покрытие, %	64,3	60,1
Сухая масса 100 растений (кукушкин лен), г	16,8±0,3	16,2±0,4
Процент тропинойной сети	23,2	31,7

Таблица 6

**Характеристика живого напочвенного покрова по типам леса**

Вид	Проективное покрытие, %		Встречаемость, %	
	Сосняк-долгомошник	Сосняк-черничник	Сосняк-долгомошник	Сосняк-черничник
Зеленые мхи	1,0	6,0	27,9	33,0
Кукушкин лен	17,2	0,5	44,2	20,7
Осоки	8,0	1,2	30,2	14,9
Сфагны	13,0	0,6	38,4	6,7
Черника	1,7	9,7	15,8	40,8
Прочие	16,4	46,4	-	-
Всего	57,3	66,4	-	-

составляет около 9 % (134 экз./га). В этой категории преобладает средний и крупный по высоте подрост. Он практически весь имеет поврежденные стволы, обломанные вершины и ветви.

Особенно динамично изменяется видовой состав травостоя. За шестилетний период в структуре и составе нижних ярусов произошли заметные изменения (табл. 5). Уменьшилось число видов, общее проективное покрытие живого напочвенного покрова, средняя масса некоторых видов растений. В условиях интенсивной рекреации в ряде случаев наблюдается увеличение числа видов растительности нижних ярусов. Как правило, это связано с появлением рудеральных видов преимущественно вдоль тропинойной сети в обоих типах леса.

Отчетливо проявляется следующая закономерность: чем дальше от магистральных путей и организованных пешеходных дорожек, тем меньше мелких парцелл и выше проективное покрытие живым напочвенным покровом. Число средних парцелл зависит от характеристик самого фитоценоза. Их больше на возвышенных местах с удобными подходами и низким травостоем. Крупные парцеллы приурочены во всех случаях к наиболее глухим, труднодоступным и удаленным участкам парка.

Геоботанические исследования, проведенные на опытных объектах, показали, что по массе и проективному покрытию в живом напочвенном покрове преобладает небольшое число видов (табл. 6). Анализируя данные таблицы, можно говорить о том, что степень трансформации растительности

нижних ярусов зависит и от типа леса. Например, зеленых мхов под пологом сосняков-долгомошников на 5,1 % меньше, чем в черничнике, различия по проективному покрытию достигают 600 %. Это можно объяснить тем, что под пологом многоярусного травостоя и густого подлеска зеленые мхи в сосняке черничном меньше страдают от рекреационной нагрузки. Густой подлесок и высокий травостой, в свою очередь, препятствуют развитию тропиной сети, а ее степень характеризует интенсивность рекреационной нагрузки. Об этом свидетельствуют данные специальных исследований [1, 10].

Изменение массы растений в зависимости от удаленности – показатель устойчивости к рекреационной нагрузке. Наиболее устойчивыми оказались земляника, лапчатка, черника (масса 100 растений в мелких парцеллах меньше, чем в крупных, всего на 6,1; 11,0 и 14,2 % соответственно), менее – багульник, кукушкин лен, морошка (различия по массе 100 растений достигают 68 %).

Приведенные материалы показывают, что изучаемые сообщества имеют ряд общих признаков, в то же время каждое из них обладает отличительными особенностями. На всех объектах фитоценозы характеризуются неравномерным сложением и различным видовым составом.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Артемьев, О.С.* Проектирование дорожно-тропиночной сети в рекреационных лесах [Текст] / О.С. Артемьев // Лесн. хоз-во. – 2003. – № 2. – С. 29.
2. *Грязькин, А.В.* Структурная организация фитоценозов южной тайги [Текст] / А.В. Грязькин. – СПб.: СПбГЛТА, 1999. – 136 с.
3. *Дылис, Н.В.* Структура лесного биогеоценоза [Текст] / Н.В. Дылис. – М.: Наука, 1969. – 55 с.
4. Инструкция по проведению инвентаризации и паспортизации городских озелененных территорий [Текст]. – М., 2002. – 22 с.
5. *Ипатов, В.С.* Количественный анализ ценоотических эффектов в размещении деревьев по территориям [Текст] / В.С. Ипатов, Т.Н. Тархова // Ботан. журн. – 1975. – № 9. – С. 1237–1249.
6. *Ковязин, В.Ф.* Древесные породы зеленых насаждений Санкт-Петербурга и Пушкина, мониторинг их состояния и способы его улучшения [Текст] / В.Ф. Ковязин, И.И. Минкевич, В.М. Шабнов. – СПб.: СПбГПУ, 2002. – 88 с.
7. *Маслаков, Е.Л.* Формирование сосновых молодняков [Текст] / Е.Л. Маслаков. – М.: Лесн. пром-сть, 1984. – 165 с.
8. *Меланхолин, П.Н.* Рекреационная динамика структуры нижних ярусов леса [Текст] / П.Н. Меланхолин, Г.А. Полякова // Динамика и устойчивость рекреационных лесов. – М.: Т-во науч. изданий КМК, 2006. – С. 119–141.
9. *Рысин, Л.П.* Влияние лесной растительности на естественное возобновление древесных пород под пологом леса [Текст] / Л.П. Рысин // Естественное возобновление древесных пород и количественный анализ его роста. – М.: Наука, 1970. – С. 7–53.
10. *Смертин, В.Н.* Динамика изменений видового состава и состояния структурных элементов парковых ценозов [Текст] / В.Н. Смертин // Изв. С.-Петербург. лесотехн. академии. – СПб.: СПбГЛТА, 2007. – Вып. 178. – С. 69–74.

11. Султанова, Р.Р. Антропогенная динамика травяного яруса [Текст] / Р.Р. Султанова, С.И. Конашова // Актуальные проблемы лесного комплекса. – Брянск: БГИТА, 2000. – Вып. 1. – С. 37–39.
12. Уткин, А.И. Изучение лесных биогеоценозов [Текст] / А.И. Уткин // Программа и методика биогеоценологических исследований. – М.: Наука, 1974. – С. 281–317.
13. Феклистов, П.А. Насаждения деревьев и кустарников в условиях урбанизированной среды г. Архангельска [Текст] / П.А. Феклистов. – Архангельск: АГТУ, 2004. – 112 с.
14. Ярошенко, П.Д. Геоботаника [Текст] / П.Д. Ярошенко. – М.; Л.: Наука, 1961. – 474 с.
15. Eckert, R. Der Georgengarten [Text] / R. Eckert, N. Kuczma // Garten + Landschaft. – 1998. – № 11. – S. 28–30.

С.-Петербургская государственная  
лесотехническая академия

Поступила 07.05.07

*V.N. Smertin, A.V. Gryazkin*  
Saint-Petersburg State Forest-Technical Academy

### **Peculiarities of Parcel Structure of Park Phytocenoses**

The state estimation for structural elements of park cenoses is provided using advanced research methods. It is established that species composition, state and park cenoses structure undergo changes under the influence of anthropogenic factors. The nature of these changes depends on the load degree and biogeocenosis type.

Keywords: park phytocenosis, recreation intensity, parcel structure, composition dynamics, sanitary state.

---



## ЛЕСОЭКСПЛУАТАЦИЯ

УДК 630\*375.5

*И.Р. Шегельман<sup>1</sup>, В.И. Скрыпник<sup>1</sup>, А.В. Кузнецов<sup>1</sup>, А.В. Пладов<sup>2</sup>*

Шегельман Илья Романович родился в 1944 г., окончил в 1968 г. Ленинградскую лесотехническую академию, доктор технических наук, профессор, заведующий кафедрой технологии и оборудования лесного комплекса, директор Карельского НИИ лесопромышленного комплекса Петрозаводского государственного университета. Имеет более 485 работ в области оптимизации выбора техники, технологии и организации процессов в лесопромышленном комплексе, обоснования проектных решений по совершенствованию заготовительно-транспортных операций лесозаготовок.



Скрыпник Владимир Иванович родился в 1941 г., окончил в 1963 г. Петрозаводский государственный университет, заведующий сектором Карельского НИИ лесопромышленного комплекса ПетрГУ. Имеет около 100 печатных работ в области моделирования движения лесовозных автопоездов, совершенствования системы подготовки производства для решения с использованием ЭВМ.



Кузнецов Алексей Владимирович родился в 1978 г., окончил в 2000 г. Петрозаводский государственный университет, доцент кафедры технологии и оборудования лесного комплекса Карельского НИИ лесопромышленного комплекса ПетрГУ. Имеет 25 печатных работ по исследованию заготовительно-транспортных операций, мониторингу автотранспорта с помощью системы GPS.

**ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНО-РАСЧЕТНЫЕ  
ИССЛЕДОВАНИЯ ДВИЖЕНИЯ ЛЕСОВОЗНЫХ АВТОПОЕЗДОВ**

Разработана методика определения параметров движения лесовозных автопоездов с использованием видеосъемки и системы GPS мониторинга автотранспорта. Дана оценка точности и адекватности результатов расчета показателей по разработанным моделям и алгоритмам в сравнении с фактическими.

*Ключевые слова:* лесовозные автомобильные дороги, лесовозные автопоезда, показатели движения.

Традиционные методы тяговых расчетов, применяемые на лесовозном транспорте для обоснования технико-экономических показателей,



крайне упрощены и не дают возможности эффективно решать задачи ввиду малой точности и недостаточного учета факторов, влияющих на движение автопоездов. Разработанные нами математические модели, алгоритмы и программы [1, 2] позволяют учесть эти факторы и вести расчеты во всех режимах движения.

Экспериментально-расчетные исследования в производственных условиях вызваны необходимостью оценить полноту учета в расчетных моделях и алгоритмах факторов, влияющих на режимы движения и точность определения основных показателей, точность и адекватность традиционных и разработанных методов тяговых расчетов. Для этого необходимо сравнить фактические (зарегистрированные) и расчетные данные, полученные по исследуемому методу и традиционно используемому методу равновесных скоростей. При таких исследованиях требуется одновременная запись времени и скорости движения, пройденного пути, номера передачи, включения моторного и колесного тормозов. Чтобы избежать погрешностей, связанных с недостаточно точным учетом сопротивления движению, необходимо определять его фактическое значение.

Ранее режимы движения лесовозных автопоездов записывали, как правило, с помощью осциллографической аппаратуры. Нами разработана оригинальная методика определения показателей движения с использованием систем GPS и видеоаппаратуры.

Для проведения экспериментальных исследований выбирали участки дорог с хорошим покрытием и достаточно сложным продольным профилем и планом, что обеспечивает проверку расчетных моделей и алгоритма расчетов при всех режимах движения. Протяженность отдельных участков, уклоны, радиусы вертикальных и горизонтальных кривых, углы поворота трассы дорог определяли по чертежам исполненного продольного профиля дорог.

На многих лесозаготовительных предприятиях нет чертежей продольного профиля лесовозных дорог. В этом случае проводили нивелировку участков дорог, протяженность участков и длину горизонтальных кривых измеряли мерной лентой, углы поворота – теодолитом. По известной формуле находили радиус горизонтальной кривой:

$$R = \frac{180 l}{\pi \alpha},$$

где  $l$  – длина кривой, м;

$\alpha$  – угол поворота дороги, град.

На лесовозный автопоезд устанавливали систему GPS, предназначенную для глобальной, автономной оперативной навигации подвижных объектов, с использованием которой в каждой фиксированной точке определяли высотные отметки, скорость движения и пройденный путь, а также высотные отметки и скорость движения в функции времени.

Перед контрольным участком автопоезд останавливали, затем включали цифровую видеокамеру, с помощью которой фиксировали время начала движения, скорость, текущее время.

Другие показатели (номер используемой передачи, включение моторного тормоза, торможение двигателем, колесными тормозами, начало и конец контрольного участка) фиксировали звуковым сопровождением. Водитель, переключая передачу, включая тормоз и производя другие операции, комментировал свои действия; в случае необходимости пояснения давал и оператор, работая с видеокамерой. Вся информация в реальном масштабе времени записывали на видеокамеру, затем оцифровывали на компьютере.

Изображение оцифровывали с ключевым кадром в одну секунду; показания спидометра брали с ключевых кадров. На контрольных участках большой протяженности система GPS дает достаточно точные показатели скорости движения и пройденного пути. На коротких участках, имеющих сильно пересеченный профиль или горизонтальные кривые малого радиуса, где скорость движения изменяется очень резко, ее рассчитывали с использованием информации, полученной с помощью спидометра. После оцифровки результатов видеосъемки на компьютере через каждую секунду определяли скорость движения, затем (для каждой зафиксированной отметки времени) пройденный путь ( $S$ , м) по формуле:

$$S = \frac{kv}{3,6},$$

где  $v$  – зафиксированная скорость, км/ч;

$k$  – тарифовочный коэффициент.

Для того чтобы при моделировании движения автопоезда с достаточной точностью учесть сопротивление движению, на дорогах с различными покрытиями экспериментально определяли его значение и характер изменения в зависимости от скорости движения. Для этого выбирали участки дороги длиной 600 ... 800 м с почти горизонтальным продольным профилем. Для учета микрорельефа участок нивелировали, высотные отметки определяли через каждые 5 м.

Автопоезд разгоняли до максимальной скорости, затем в начале экспериментального участка включали нейтральную передачу, и автопоезд двигался накатом до полной остановки. Диапазон скоростей от максимальной до нулевой разбивали на интервалы по 5 км/ч. В каждом из них ускорение ( $j$ ) условно считали постоянным и определяли по формуле

$$j = \frac{v_k - v_n}{t},$$

где  $v_k, v_n$  – скорость соответственно в конце и начале участка, м/с.

Затем рассчитывали сопротивление движению ( $\omega$ ) по формуле

$$\omega = j - \frac{\rho \Delta \Omega v^2}{gG} - i,$$

где  $\rho$  – коэффициент сопротивления воздушной среды, зависящий от обтекаемости автомобиля,  $\rho = 0,07$ ;

$\Delta$  – коэффициент, учитывающий дополнительное сопротивление воздушной среды от прицепов (при работе с одним прицепом  $\Delta = 1,3$ );

$\Omega$  – лобовая площадь автомобиля,  $\text{м}^2$ ;

$G$  – масса автомобиля, кг;

$g$  – ускорение свободного падения,  $g = 9,81 \text{ м/с}^2$ .

Основное сопротивление движению находили с интервалом скорости в 1 м/с. Далее, используя программу EXCEL, данные обрабатывали методом наименьших квадратов, чтобы получить эмпирическую зависимость для определения основного сопротивления движению в виде

$$\omega = b + dv^2.$$

На гравийной дороге с хорошим покрытием

$$\omega = 0,01446 + 7,812 \cdot 10^{-5} v^2;$$

для зимних условий эксплуатации покрытия при температуре  $-12^\circ\text{C}$

$$\omega = 0,0155 + 4,46 \cdot 10^{-5} v^2;$$

для движения по дорогам общего пользования с асфальтовым покрытием

$$\omega = 0,0137 + 2,42 \cdot 10^{-5} v^2.$$

Согласно предложенной методике проведены экспериментальные исследования движения лесовозного автопоезда КамАЗ-53228+ТМЗ-8966-010 на контрольных участках дороги общего пользования Ведлозеро – Савиново. Дорога с асфальтобетонным покрытием проходит по пересеченной местности, уклоны достигают 0,09, есть ограничения скорости по условиям видимости на вертикальных и горизонтальных кривых. Показатели движения записывали с использованием системы GPS на двух участках в грузовом и двух участках в порожнем направлениях длиной соответственно 3400 и 3600 м.

Автопоезд имел 10 передач, оборудован гидроманипулятором Ф-658 и моторным тормозом, длина транспортируемых сортиментов 6 м, грузоподъемность 23,2 т ( $29 \text{ м}^3$ ), снаряженная масса 17,8 т, с грузом 41 т.

На основании обработки данных эксперимента построены графики фактических (зарегистрированных) скоростей движения. На них приведены уклоны продольного профиля, радиусы вертикальных кривых, скорости и режимы движения, номера используемых передач. Для этих же участков определены скорость, время и режимы движения с использованием разработанных программ и методов расчетов (табличный, аналитический).

Подобные расчеты проведены и для трех участков лесовозных дорог Пяозерского леспромхоза ОАО «Кареллеспром», где в процессе испытаний техники ранее записаны показатели движения лесовозного автопоезда-сортиментовоза на базе Сису СМ-162. Автопоезд был оборудован гидроприводом прицепа, погрузчиком Фискарс-7000 для погрузки сортиментов. При перевозке соснового пиловочника его грузоподъемность составляла  $40 \text{ м}^3$ ,

масса с грузом 49,06 т, снаряженная 17,06 т. Коробка передач BVF-13 обеспечивала переключение 13 передач переднего хода (12 основных и 1 дополнительная), мощность двигателя 315 л. с.

По данным экспериментальных исследований, выполненных с использованием осциллографической аппаратуры, системы GPS и видеоаппаратуры, построены графики скорости и режимов движения лесовозных автопоездов КамАЗ-53228+ГМЗ-8966-010 и Сису СМ-162 на дорогах лесозаготовительных предприятий и общего пользования.

Для тех же участков по исследуемому методу с использованием разработанных алгоритмов рассчитаны скорости и другие показатели движения. Подобные расчеты выполнены по традиционно применяемому на лесовозном автотранспорте методу равновесных скоростей.

Проведенный анализ показал, что графики зарегистрированных скоростей и режимов движения и рассчитанные по исследуемому методу имеют хорошую сходимость по скоростям и режимам движения, различие по времени движения на всех четырех контрольных участках не превышает 6 %. Различие между фактическим и расчетным по методу равновесных скоростей временем движения достигает 35 %.

Для оценки тесноты связи между фактическими и расчетными скоростями движения с использованием разработанных алгоритмов и моделей расчета и метода равновесных скоростей с использованием программы СтатГраф определены необходимые статистические показатели. Для этого составлены ряды, в которых в начале, середине и конце каждого участка записывали скорости движения фактическую и расчетные, определенные по исследуемому методу и методу равновесных скоростей.

Обработка рядов наблюдений и результатов расчетов методами математической статистики с использованием программ СтатГраф и EXCEL показала, что коэффициент корреляции между зарегистрированным и расчетными рядами скоростей по исследуемой методике колеблется от 0,694 до 0,966, при использовании метода равновесных скоростей от 0,0987 до 0,4062. Как видим, уровень корреляции при расчете по методу равновесных скоростей недостаточен, как и уровень доверия, который колеблется от 0,163 до 0,321.

Проверка по критериям Фишера соотношения дисперсии как выборок, так и выборок и остатков показала, что результаты расчета скоростей движения по исследуемому методу адекватны фактическим, по методу равновесных скоростей неадекватны во всех исследуемых случаях.

Таким образом, проведенными исследованиями доказано, что исследуемый метод тяговых расчетов и определения показателей движения достаточно точен, обеспечивает хорошую корреляцию фактических и расчетных показателей движения и адекватность расчетов, поэтому он может быть использован при проведении тяговых расчетов вместо менее точного и неадекватного метода равновесных скоростей.

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Шегельман, И.Р.* Моделирование движения лесовозных автопоездов на ПВЭМ [Текст] / И.Р. Шегельман [и др.]. – Петрозаводск: Изд-во ПетрГУ, 2003. – 234 с.
2. *Шегельман, И. Р.* Эффективная организация автомобильного транспорта леса [Текст] / И. Р. Шегельман, В.И. Скрыпник, А.В. Кузнецов. – Петрозаводск: Изд-во ПетрГУ, 2007. – 276 с.

Петрозаводский государственный  
университет

ЗАО «Шуялес»

Поступила 21.05.07

*I.R. Shegelman<sup>1</sup>, V.I. Skrypnik<sup>1</sup>, A.V. Kuznetsov<sup>1</sup>, A.V. Pladov<sup>2</sup>*

<sup>1</sup>Petrozavodsk State University,

<sup>2</sup>«Shuyales» Ltd

### **Experimental-calculating Study of Logging Trailers Movement**

The technique for determining parameters of logging trailers movement is developed with the use of video filming and GPS monitoring system for motor transport. The accuracy and adequacy of results calculation are assessed according to the developed models and algorithms in comparison with real ones.

Keywords: logging tracks, logging trailers, movement factors.



УДК 630\*114.11:539.383

**В.Я. Шапиро, И.В. Григорьев, А.И. Жукова**

Григорьев Игорь Владиславович родился в 1973 г., окончил в 1996 г. С.-Петербургскую лесотехническую академию, доктор технических наук, профессор кафедры технологии лесозаготовительных производств СПбЛТА. Имеет 55 печатных трудов в области отраслевой технологии.



Жукова Антонина Ивановна родилась в 1975 г., окончила в 1998 г. С.-Петербургскую лесотехническую академию, кандидат технических наук, доцент кафедры технологии лесозаготовительных производств СПбЛТА. Имеет около 15 печатных трудов по отраслевой технологии.



## **ОЦЕНКА ПРОЦЕССОВ ДЕФОРМИРОВАНИЯ ПОЧВЫ ПРИ ЦИКЛИЧЕСКОМ УПЛОТНЕНИИ\***

Разработана модель деформации почвы лесосеки под воздействием циклической нагрузки от лесозаготовительных машин. Приведены данные экспериментальных исследований в производственных условиях, подтверждающие адекватность разработанной модели.

*Ключевые слова:* плотность почвы, модель Фойгта, циклическое уплотнение.

Анализ особенностей деформирования различных почв и грунтов при вдавлении штампа [1] свидетельствует о достаточно сложных процессах, формирования уплотненного ядра даже в случае однократного воздействия (прохода) трелевочной системы. Процессы деформирования почвы при увеличении числа проходов изучены крайне слабо. Вместе с тем в работе [2] отмечается функциональная связь между показателями уплотнения почвы, ее физико-механическими свойствами и параметрами трелевочной системы, а также числом циклов  $N$ .

В общей постановке решение подобной задачи вызывает большие математические трудности в силу ее существенной нелинейности. В каждом последующем цикле начальные и граничные (краевые) условия при решении дифференциальных уравнений являются результатом реализации предыдущего цикла. Геомеханические характеристики почвы циклически изменяются, поэтому следует учитывать влияние его реологии и природы переупаковки.

---

\* Часть материалов статьи получена при выполнении НИР по гранту Президента Российской Федерации для государственной поддержки молодых российских ученых МК-2068.2005.5.

Цель нашей работы заключается в создании комбинированной модели циклического уплотнения почвы, позволяющей учесть геомеханические факторы исходя из адекватных теоретических представлений механики грунтов, а технологические факторы – в виде корреляционных соотношений. В конечном счете задача состоит в конструировании работоспособных полуэмпирических соотношений с набором коэффициентов, определяемых только в процессе натурных экспериментов.

Рассмотрим схему нагружения почвы под давлением  $P$  от действия штампа (двигателя лесотранспортной системы (ЛТС) шириной  $b$  и весом  $Q$  при глубине деформирования  $H$  (рис. 1, а). Будем считать, что за время цикла  $t = L/V$  (где  $L$  и  $V$  – длина опорной поверхности и скорость трелевочной системы) почва переместилась на глубину  $h = h_1$  в положительном направлении оси  $y$ , и в этом слое под действием  $P$  возникают вертикальные напряжения  $\sigma$ . При повторном цикле нагружения почва перемещается на глубину

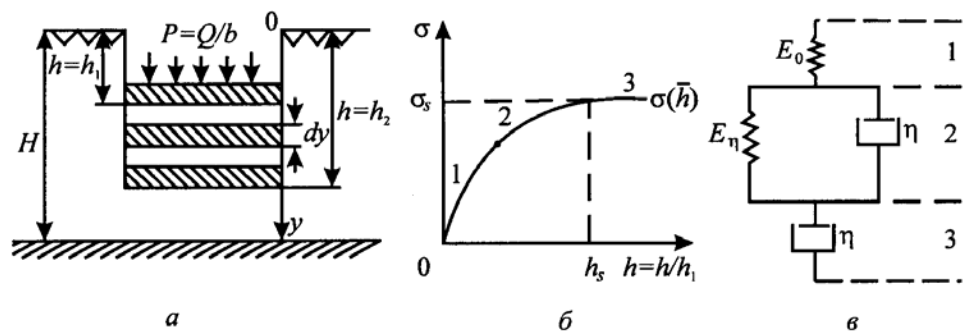


Рис. 1. К расчету нагружения почвы: а – схема нагружения; б – кривая деформации; в – четырехэлементная модель Фойгта

$h = h_2$  и т. д. Истинную деформацию  $\varepsilon$ , которую испытывает элементарный слой  $dy$  почвы на текущей глубине  $h$ , определим по формуле [5]:

$$\varepsilon = \int_{h_1}^h \frac{dy}{y} = \ln \frac{h}{h_1}. \quad (1)$$

С другой стороны, деформация и плотность почвы ( $\rho$ ) связаны соотношением

$$\varepsilon = \frac{\rho - \rho_1}{\rho_1} = \bar{\rho} - 1, \quad (2)$$

где  $\rho$  – начальная плотность почвогрунта;

$\rho_1$  – плотность почвогрунта после уплотняющего воздействия.

Из (1) и (2) после преобразований в первом приближении получим

$$h = \ln h_1 + \bar{\rho}. \quad (3)$$

Рассмотрим общепринятую модель нагружения почвы [1]. На кривой  $\sigma(\bar{h})$  выделяют три участка (рис. 1, б). Уплотненное ядро в основном формируется на стадии упругой деформации (участок 1). На участке 2 сила со-

противления уплотнению больше силы сопротивления боковому сдвигу, и уплотнение имеет асимптотически затухающий характер. Участок 3 характеризуется развитием деформаций сдвига. Начиная с глубины  $\bar{h}_s$ , грунт «течет» при постоянном  $\sigma = \sigma_s$  – пределе его несущей способности. Такой схеме соответствует четырехэлементная модель Фойгта [3], представленная на рис. 1, в. Однако поскольку нас интересуют первые две фазы нагружения, два упругих элемента объединим в единый с двумя составляющими и перейдем к рассмотрению двухэлементной модели с общим модулем деформации  $E = E_0 + E_\eta$ . Тогда можно записать

$$\sigma = E\varepsilon + \eta \frac{d\varepsilon}{dt}, \quad (4)$$

где  $\eta$  – вязкость грунта.

Соотношение (4) с учетом (2) и равенства производных  $\frac{d\varepsilon}{dt} = \frac{d\bar{\rho}}{dt}$

примет вид

$$\sigma = E(\bar{\rho} - 1) + \eta \frac{d\bar{\rho}}{dt},$$

или

$$\eta \frac{d\bar{\rho}}{dt} + \bar{\rho}E = \sigma + E. \quad (5)$$

В многоэлементных моделях Фойгта давление приложено к каждому элементу, а истинная деформация равна сумме деформаций элементов [3]. Поэтому вначале, учитывая доминирующее уплотнение грунта на первом участке, примем в уравнении (5)  $\sigma = E_0 \bar{h}$ . Тогда получим дифференциальное уравнение уплотнения

$$\frac{d\bar{\rho}}{dt} + \bar{E}_\eta \bar{\rho} = \bar{E}_0 (\ln \bar{h} + 1) + \bar{E}_\eta, \quad (6)$$

где  $\bar{E}_\eta = \frac{E_\eta}{\eta}$ ;  $\bar{E}_0 = \frac{E_0}{\eta}$ .

Решение (6) при начальных условиях:  $t = 0 \Rightarrow \bar{\rho} = 1, \varepsilon = 0$  дает функцию уплотнения

$$\bar{\rho} = 1 + \frac{\bar{E}_0}{\bar{E}_\eta} \left( 1 - e^{-\bar{E}_\eta t} \right) (\ln \bar{h} + 1). \quad (7)$$

Таким образом, при  $t = 0 \Rightarrow \bar{h} = 1 \bar{\rho} = 1$ .

В дальнейшем с увеличением  $t$  прирост относительного уплотнения определяется тремя множителями  $P_1, P_2$  и  $P_3$ , различными по сути. Рассмотрим их влияние подробнее.

Множитель  $P_1 = \bar{E}_0 / \bar{E}_\eta$  отражает выбранную модель среды, т. е. перераспределение упругих элементов в общем модуле деформации. В теории линейной вязкоупругости [3] диапазон изменения  $P_1$  достаточно широк, од-



нако в рамках нашей модели, когда податливость среды ( $1/E$ ) на первом участке больше, чем на втором, примем  $P_1 < 0,5$ , примерно  $0,40 \dots 0,45$ .

Множитель  $P_2 = 1 - e^{-E\eta t}$  характеризует чистую вязкость в процессе деформирования. Он точно совпадает с параметром вязкости  $\mu$  [4, 7] и по закону затухающей экспоненты определяет прирост уплотнения. В работе [6] в опытах с плотными грунтами (лёсс, глина, суглинок и плотный песок) установлен диапазон изменения  $\mu$ , равный  $1000 \dots 1200 \text{ с}^{-1}$ . Время релаксации напряжений  $\tau = 1/\mu$  для плотных грунтов незначительно. В грунтах малой плотности, таких как рыхлые пахотные, параметр  $\mu$  снижается на несколько порядков. Так, при модуле  $E_\eta = (2 \dots 5) \cdot 10^5 \text{ Па}$  и вязкости  $\eta = 0,35 \cdot 10^5 \text{ Па}\cdot\text{с}$  получаем параметр вязкости  $\mu$  всего  $5,7 \dots 14,3 \text{ с}^{-1}$ , что, в свою очередь, существенно увеличивает время релаксации напряжений. Следует отметить, что степень влияния множителя  $P_2$  нуждается в детальном моделировании как на образцах так и в натуральных экспериментах.

Третий множитель  $P_3 = \ln \bar{h} + 1$  отражает влияние погружения штампа (движителя) на величину уплотнения и зависит как от параметров почвы, так и технологических характеристик машин и числа циклов проходов.

Получить сугубо теоретическую связь не представляется возможным, поэтому воспользуемся конструкцией регрессионного уравнения [2]

$$\bar{h} = 1 + Z(\zeta_1, \zeta_2, \dots, \zeta_n) \chi \lg N, \quad (8)$$

где  $Z$  – безразмерная многопараметрическая функция переменных  $\zeta_i$  – физико-механических свойств грунта, параметров движителя, веса трелевочной системы и т. д.;

$\chi$  – коэффициент интенсивности накопления необратимых деформаций при циклическом нагружении.

При  $N = 1$  получаем  $\bar{h} = 1$ , что позволяет перейти к оценке значений функций  $Z$  и  $\chi$ .

Диапазон значений  $Z$  определяется такими параметрами, как начальная плотность  $\rho_1$ , коэффициент Пуассона  $\nu$ , модуль деформации  $E$  и глубина  $H$  ее распространения, а также коэффициент  $\omega$  формы опорной поверхности ЛТС, ее ширина  $b$  и максимальное давление на грунт [2]. Произведенные расчеты позволили установить реальный диапазон изменения  $Z = 0,7 \dots 1,2$ .

Функцию  $\chi$  при отсутствии экспериментальных данных рекомендуют принимать постоянной, равной 1 [2]. Однако переупаковка почвы и накопленные деформации требуют хотя бы в первом приближении учесть влияние цикличности на снижение величины  $\chi$ . Предположим линейный характер данного влияния в виде уравнения регрессии

$$\chi = 1,02 - 0,02N. \quad (9)$$

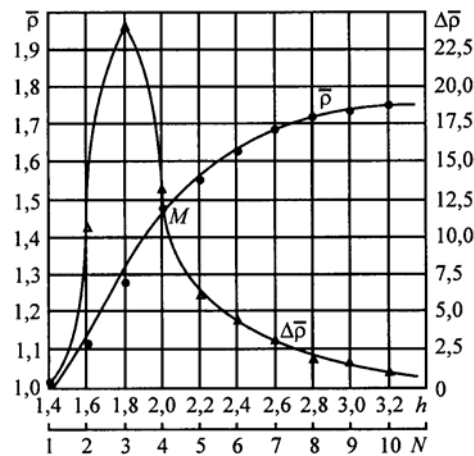
При  $N = 1$   $\chi = 1$ , и можно отметить особое значение экспериментального установления зависимостей типа (9) для наиболее характерных видов грунтов и ЛТС.

На рис. 2 приведены результаты расчетов по формулам (7)–(9) с оценкой влияния цикличности на процесс уплотнения почвы ( $Z = 1$ ). Расче-

ты сделаны как для относительного уплотнения  $\bar{\rho}$  (левая шкала), так и его приращения  $\Delta\bar{\rho}$ , % (правая шкала).

Важными результатами являются: наличие экстремума функции  $\Delta\bar{\rho}(N)$  и асимптотический характер зависимости  $\bar{\rho}(N)$ , начало проявления которого можно определить, спрямляя кривую с помощью логарифмических координат (рис. 3). Сопряжению ветвей в точке  $M$  на рис. 2 соответствует точка  $M'$  пересечения прямых на рис. 3. Число циклов при этом  $N = 4$ . Именно при таком  $N$  наблюдается пересечение кривых на рис. 2, что позволяет сделать вывод о том, что основной процесс уплотнения почвы был реализован на первых четырех циклах, а дальнейшее уплотнение носит асимптотический (несущественный) характер.

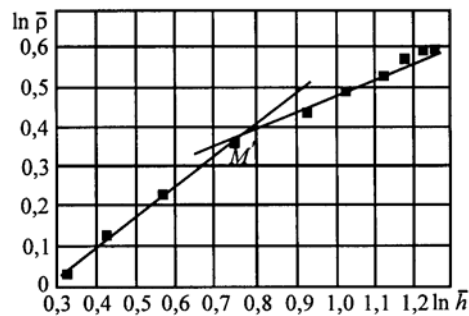
Рис. 2. Зависимость уплотнения почвы от числа циклов нагружения



Для получения фактических данных об уплотнении почвы под действием движителей лесозаготовительной техники летом и осенью 2003 и 2004 гг. проведены экспериментальные исследования в условиях Ефимовского лесхоза Ленинградской области. Для изучения были отобраны три лесосеки. Перед первым проходом трактора трассы пасечных волоков разбивали на пикеты через 1 м. На каждом из них брали пробы лесной почвы естественной плотности. Для этого использовали оригинальный прибор, который представляет собой усовершенствованную модель ручного прибора, предложенного Г.М. Анисимовым и Б.М. Большаковым [2]. Благодаря вставке кварцевых стекол с нониусом в режущий стакан можно не только получать керны почвы для определения ее плотности, но и оперативно оценивать степень перемешивания почвенных горизонтов [7]. Затем, после каждого прохода трелевочного трактора, на пикетах брали пробы почвы в следе движителя, несколько смещая место забора, чтобы исключить влияние пробы, взятой перед этой. Пробы брали на всех пикетах, где проходил трактор с пачкой, до окончания разработки пасеки.

Каждый образец (кern) помещали в герметично закрывающийся пакет и снабжали биркой с указанием номеров пикета и прохода, в

Рис. 3. Определение переходного состояния



4

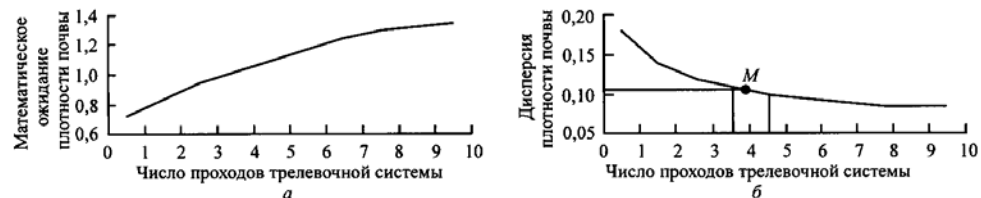


Рис. 4. Графики изменения статистик закона распределения плотности почвы от числа двойных проходов трелевочной системы: *a* – изменение математического ожидания,  $\text{т/м}^3$ ; *б* – изменение дисперсии

дальнейшем взвешивали в лабораторных условиях, что позволяло свести к минимуму погрешности, неизбежно возникающие в полевых условиях.

В результате обработки экспериментальных данных получены основные статистики законов распределения плотности почвы, ее естественного сложения и этих же показателей после каждого рейса трелевочной системы. Анализ показал, что за четыре двойных прохода трелевочной системы математическое ожидание плотности почвы возросло от 0,72 до 1,09  $\text{т/м}^3$ , что привело к достижению относительной плотности  $\bar{\rho} = 1,55 \dots 1,60$ . Сравнение экспериментальных и приведенных на рис. 2 данных свидетельствует о достаточной точности теоретических расчетов.

Изменение статистик плотности почвы от числа двойных проходов трелевочной системы представлено графически на рис. 4. Экспериментальная кривая изменения плотности почвогрунта близка к логарифмической (рис. 4, *a*). Это позволяет утверждать, что разработанные модели оценки процессов деформирования при циклическом уплотнении почвы не противоречат данным производственного эксперимента. Отмечена еще одна важная особенность деформирования лесных почвогрунтов – эффект их упаковки и формирования более жесткой структуры почвы (рис. 4, *б*). При увеличении числа двойных проходов трелевочной системы, наряду с ростом математического ожидания плотности почвогрунта, постепенно снижается дисперсия плотности, и, начиная с четвертого-пятого рейсов, формы кривых

распределения мало отличаются, что свидетельствует о переходе почвогрунта из состояния аморфной и слабосвязанной структуры к более определенной, с прогнозируемыми физико-механическими характеристиками. Эти выводы хорошо иллюстрируются данными рис. 4, б, на кривой наглядно виден переход от ниспадающей ветви к асимптотической (точка *M*). На стадии 4-5 рейсов дисперсия плотности почвогрунта снизилась почти в 2 раза, тогда как за последующие 4-5 рейсов всего на 25 %.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Агейкин, А.С. Вездеходные колесные и комбинированные движители [Текст] / А.С. Агейкин. – М.: Машиностроение, 1972. – 183 с.
2. Анисимов, Г.М. Основы минимизации уплотнения почвы трелевочными системами [Текст] / Г.М. Анисимов, Б.М. Большаков. – СПб.: ЛТА, 1998. – 106 с.
3. Бленд, Д. Теория линейной вязко-упругости [Текст] / Д. Бленд. – М.: Мир, 1965. – 199 с.
4. Булычев, Н.С. Механика подземных сооружений в примерах и задачах [Текст] / Н.С. Булычев. – М.: Недра, 1989. – 270 с.
5. Вялов, С.С. Реологические основы механики грунтов [Текст] / С.С. Вялов. – М.: Высш. шк., 1978. – 447 с.
6. Ляхов, Г.М. Основы динамики взрывных волн в грунтах и горных породах [Текст] / Г.М. Ляхов. – М.: Недра, 1974. – 192 с.
7. Устройство для взятия проб почвы [Текст]: пат. на полезную модель № 32277 / Григорьев И.В., Жукова А.И., Григорьева О.И. – Оpubл. 10.09.03, Бюл. № 25.

С.-Петербургская государственная  
лесотехническая академия

Поступила 12.12.05

*V.Ya. Shapiro, I.V. Grigorjev, A.I. Zhukova*

Saint-Petersburg Forest-Technical Academy

#### **Assessment of Soil Deformation Processes under Cyclic Compaction**

A model for soil deformation of the felling site affected by the cyclic load of logging machines is developed. The data of experimental research in the working environment are provided confirming the adequacy of the developed model.

Keywords: soil density, Voigt model, cyclic compaction.

---

УДК 630\*432

*Д.Г. Мясищев*

Мясищев Дмитрий Геннадьевич родился в 1959 г., окончил в 1981 г. Архангельский лесотехнический институт, доктор технических наук, заведующий кафедрой транспортных машин Архангельского государственного технического университета. Имеет более 30 печатных работ в области разработки, создания и исследования мобильных средств малой механизации лесного комплекса.



### **ОБОСНОВАНИЕ ЛЕСОПОЖАРНЫХ ТЕХНОЛОГИЙ И МАШИН НА БАЗЕ СРЕДСТВ МАЛОЙ МЕХАНИЗАЦИИ**

Используя метод гипотез как основу методологии системного анализа, путем математического моделирования с учетом вероятностной природы почвообрабатывающих процессов обоснованы технология и агрегаты на базе мотоблока для осуществления профилактических противопожарных мероприятий.

*Ключевые слова:* лесной пожар, мотоблок, минерализованная полоса.

Проблема борьбы с лесными пожарами имеет научно-практическую и учебную актуальность [5, 8]. При этом важны как активные методы, так и профилактические мероприятия [1].

В работе [3] проанализированы следующие способы локализации и уничтожения лесных пожаров: прямые – непосредственное воздействие на кромку пожара метанием грунта или струей гасящей жидкости, косвенные – создание барьеров на пути продвижения огня. Последние методы делят на параллельные – создание заградительной полосы на некотором расстоянии вдоль движущейся кромки пожара и независимые – возведение заградительных полос в заданном направлении независимо от распространения кромки пожара. При исследовании таких направлений авторами работы [3] сделан упор на выявление дорог, оврагов, лесных полян, просек, старых минерализованных полос. Скорость распространения пожара принимают в среднем 1,5...3,0 м/мин.

М.А. Шешуков и С.А. Громыко [15] акцентируют внимание на том факте, что более 90 % всех загораний в лесу возникает вдоль дорог, рек и вокруг лесных поселков, подчеркивают важность профилактического выжигания травы вдоль кромок лесных массивов ранней весной или поздней осенью. Одним из базовых пунктов современной лесопожарной стратегии они считают создание на пожароопасные сезоны мобильных команд, оснащенных легкими малогабаритными средствами пожаротушения и профилактики. Это обосновывается, в частности, необходимостью особой защиты еловых и сосновых молодняков, наиболее опасных в пирологическом отношении.

Н.А. Диченков [6] анализирует ущерб и распределение затрат на различные лесопожарные мероприятия, констатирует, что вопросы финанси-

вания, создания и внедрения самоходных малогабаритных средств пожаротушения и профилактики исследованы недостаточно. Однако можно привести ряд примеров решения обозначенной проблемы. Так, в работе [1] говорится о ручном моторизованном грунтомете ГР-1 на базе бензопил «Дружба» и «Урал-МП5». Устройство предназначено для тушения кромки низовых пожаров грунтом, прокладки заградительных и опорных минерализованных полос с последующим пуском встречного огня и локализации очага пожара бороздой. Его переносит один машинист, скорость передвижения колеблется от 0,8 до 2,5 км/ч, максимальная дальность метания грунта 3,5 ... 4,0 м. При глубине борозды 7 см и ширине по верху 23 см выбрасываемый грунт покрывает полосу метания слоем 1,5 ... 2,0 см. Основной недостаток использования агрегата – утомляемость рабочего при передвижении.

В статье [11] представлена информация о производственной апробации почвообрабатывающих малогабаритных профилактических противопожарных средств на базе тягового модуля МТ-1 к отечественным бензопилам.

Краткий анализ малогабаритных мобильных средств тушения и профилактики лесных пожаров путем воздействия на почву показал, что наиболее актуальны агрегаты, создающие борозду и минерализованную полосу грунта вдоль лесных массивов на открытых площадях. На наш взгляд, слой минерализованной почвы необходимо размещать по обе стороны от борозды. При этом блокируется движение низовой кромки пожара как при подходе к борозде, так и после нее, особенно при порывах ветра.

Цель нашей работы – обосновать методом гипотез [14] наиболее эффективную технологию и средства ее осуществления в рамках рассматриваемой проблемы. В основу положена теория подобия и размерностей [13]. При этом использованы экспериментальные и теоретические результаты исследований, выполненных в СПбГЛТА и СПбНИИЛХе.

В лесном хозяйстве применяют два основных типа машин, различных по способу прокладки борозды (канавы) и метания грунта. Это лесопожарный тракторный грунтомет ГТ-3 [7], отбрасывающий почву на одну сторону от борозды, и лесохозяйственный двухфрезерный канавокопатель мелиоративного назначения КЛФ-1.2 [12]. Последний может служить исходным объектом при решении задачи моделирования методами подобия и размерности лесопожарного канавокопателя-грунтомета на шасси опытного лесохозяйственного мотоблока [9]. Созданный на базе гусеничного трактора Т-130Б, он образует канал трапецеидального сечения и метает грунт по обе стороны от него.

Известно [13], что необходимым и достаточным условием подобия двух явлений служит постоянство числовых значений, образующих базу. Условия о постоянстве базы отвлеченных параметров, составленных из заданных, определяют величины, которые называют критериями подобия. Если явление определяется множеством  $\Pi_n$  параметров, из которых подмножество  $K_n$  параметров имеют независимые размерности ( $K_n \subseteq \Pi_n$ ), то для данного подмножества переходные масштабы (константы подобия) могут быть определены из условия задачи. Переходные масштабы для всех остальных

величин получают из формул размерности для каждой из них через размерности элементов подмножества  $K_d$ .

На рис. 1 изображена структурная схема моделируемого по указанным принципам объекта на базе мотоблока, а на рис. 2 прогнозируемое сечение создаваемой им полосы. Схема подобрана таким образом, что в обоих

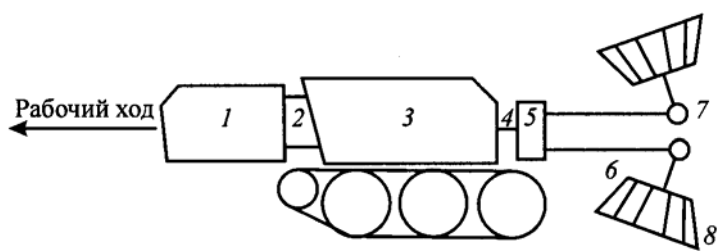


Рис. 1. Схема моделируемого объекта: 1 – двигатель «Урал- МП5»; 2 – промежуточный редуктор привода вала отбора мощности (ВОМ); 3 – мотоблок; 4 – ВОМ; 5 – раздаточная коробка; 6 – промежуточные валы; 7 – приводные редукторы; 8 – фрезы

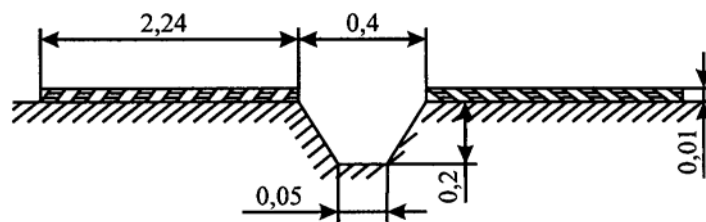


Рис. 2. Схема моделируемой методом подобия минерализованной полосы. Размеры в метрах

рассматриваемых методом подобия объектах (прототип и виртуальная модель) передаточные числа от коленчатого вала двигателя до рабочих органов обеспечивают равную энергоёмкость прокладки полосы ( $\text{кВт/м}^3$ ).

Альтернативным вариантом моделируемому лесопожарному агрегату и его технологии является опытный комплект почвообрабатывающего шлейфа к указанному мобильному средству малой механизации [9] и технология их применения.

Анализ результатов экспериментальных исследований почвенных фонов, а также показателей работы указанных опытных образцов позволяет сделать важный вывод. Все изученные входные и выходные процессы описываются Гауссовым законом распределения, поэтому их можно считать стационарными и эргодическими. Все динамические компоненты, которые эти процессы осуществляют, следует рассматривать как линейные с постоянными параметрами. Значит, допустимо использовать корреляционную теорию случайных процессов [10]. Она оперирует с математическими ожиданиями процессов и интегралами импульсных характеристик переходных

функций динамических систем, которые являются постоянными величинами. В общем виде это можно интерпретировать выражением [10]

$$m_y = m_x \int_0^{\infty} h(\tau) d\tau, \quad (1)$$

или [2]

$$m_y = G(0)m_x, \quad (2)$$

где  $G(0)$  – постоянная для данной системы величина, или интеграл импульсной характеристики переходной функции системы,

$$G(0) = \int_0^{\infty} h(\tau) d\tau;$$

$m_x, m_y$  – математическое ожидание процесса на входе системы (твердость почвы в технологическом горизонте) и на выходе (эффективная мощность и крутящий момент двигателя, удельный расход топлива).

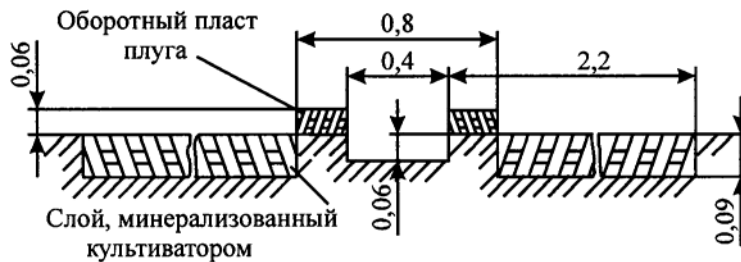


Рис. 3. Профиль минерализованной полосы альтернативной системы мотоплуг + мотокультиватор. Размеры в метрах

На основе данного подхода оценены математические ожидания необходимых для дальнейшего моделирования функциональных показателей, в частности эффективной мощности двигателя, и удельный эффективный расход топлива в составе агрегата мотоблок – канавокопатель – грунтомет и альтернативной опытной системы мотоблок – плуг – роторный культиватор. Смоделированный результат применения последней – профиль профилактической противопожарной минерализованной полосы – представлен на рис. 3.

Итоги расчетов по сравниваемым системам в выбранных условиях прогнозирования (лесные поляны, участки вдоль лесных опушек, дорог, околос лесных поселков, вблизи лесопитомников и т. п.) представлены в таблице.

#### Показатели функционирования альтернативных лесопожарных систем

Показатели	Протяженность минерализованной полосы, м				
	50	100	150	200	250
Канавокопатель-грунтомет					
Общее время технологического					



процесса, ч	0,5	1,0	1,5	2,3*	2,8*
Математическое ожидание эффективной мощности, кВт			3,13		
Удельная энергоёмкость процесса, кДж/м			112,7		
Расход топлива, кг	0,7	1,5	2,2	2,9	3,7
Удельные трудозатраты, чел.-ч/м		0,010		0,012	0,011
Производительность системы, м/ч		100		86	88
Мотоплуг + культиватор					
Общее время технологического процесса, ч	0,6	0,9	1,3	1,6	1,9
Математическое ожидание эффективной мощности, кВт			Плуг – 3,8; ротор – 4,4		
Удельная энергоёмкость процесса, кДж/м			101,4		
Расход топлива, кг	0,9	1,8	2,6	3,5	4,4
Удельные трудозатраты, чел.-ч/м	0,012	0,009	0,009	0,008	0,008
Производительность системы, м/ч	82	107	119	125	130

\* Перерывы на 0,3 ч по условиям локальных вибрационных нагрузок на руки оператора.

Практическим результатом нашего исследования является комплекс рекомендаций по выбору комплекта почвообрабатывающих машин к мобильному лесохозяйственному средству малой механизации [4] и технологии его использования для прокладки противопожарных минерализованных полос с максимальной эксплуатационной эффективностью в условиях мелкоконтурных лесных и лесопарковых участков. Для сравнения, например, по данным [11] прокладка опорной минерализованной полосы вручную требует 0,025 ... 0,035 чел.-ч/м, а в предлагаемом варианте (см. таблицу) прогнозируемая трудоемкость составляет 0,008 ... 0,012 чел.-ч/м.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Арцибашев, Е.С. Лесные пожары и борьба с ними [Текст] / Е.С. Арцибашев. – М.: Лесн. пром-сть, 1974. – 152 с.
2. Вентцель, Е.С. Теория вероятностей и ее инженерные приложения [Текст] / Е.С. Вентцель, Л.А. Овчаров. – М.: Наука, 1988. – 480 с.
3. Главацкий, Г.Д. Мобильные механизированные отряды в многолесных районах Сибири: актуальность, проблемы и особенности применения [Текст] / Г.Д. Главацкий, В.М. Груманс // Лесн. хоз-во. – 2001. – № 4. – С. 35–39.
4. ГОСТ 28523–90. Мобильные средства малой механизации сельскохозяйственных работ. Тракторы малогабаритные. Типы и основные параметры [Текст]. – Введ. 01.01.92. – М.: Изд-во стандартов, 1990. – 2 с.
5. Гришин, А.М. Математическое моделирование лесных пожаров и новые способы борьбы с ними [Текст] / А.М. Гришин; отв. ред. В.В. Пененко. – Новосибирск: Наука, 1992. – 404 с.
6. Диченков, Н.А. Современные возможности предотвращения лесных пожаров [Текст] / Н.А. Диченков // Лесн. хоз-во. – 1999. – № 5. – С. 45–48.

7. *Куличенко, В.В.* Снижение нагруженности трансмиссии лесопожарного тракторного грунтомета ГТ-3 [Текст]: дис. ...канд. техн. наук / В.В. Куличенко. – Л., 1986. – 188 с.
8. *Львов, П.Н.* Основы лесной пирологии [Текст]: текст лекций / П.Н. Львов, В.М. Барзут. – Архангельск: РИО АЛТИ, 1990. – 58 с.
9. *Мясищев, Д.Г.* АЛТИ – земледельцам [Текст] / Д.Г. Мясищев, М.А. Сеников, А.А. Ровняков // Лесн. пром-сть. – 1990. – № 10. – С. 8–9.
10. *Николаенко, Н.А.* Вероятностные методы динамического расчета машиностроительных конструкций [Текст] / Н.А. Николаенко. – М.: Машиностроение, 1967. – 368 с.
11. *Орловский, С.Н.* Тяговый модуль МТ-1 к бензопилам [Текст] / С.Н. Орловский, В.Ф. Плывч // Лесн. хоз-во. – 1999. – № 3. – С. 44.
12. *Савельев, А.А.* Оценка режимов нагружения и эффективности лесомелиоративного двухфрезерного каналакопателя [Текст] / А.А. Савельев, В.В. Андреев // Машины и орудия для механизации лесозаготовок и лесного хозяйства: межвуз. сб. науч. тр. – Л.: ЛТА, 1983. – С. 60–63.
13. *Седов, Л.И.* Методы подобия и размерности в механике [Текст] / Л.И. Седов. – М.: Наука, 1987. – 430 с.
14. Системный анализ в экономике и организации производства [Текст]: учеб. для вузов / С.А. Валуев, В.Н. Волкова, А.П. Градов [и др.]; под общ. ред. С.А. Валуева, В.Н. Волковой. – Л.: Политехника, 1991. – 397 с.
15. *Шешуков, М.А.* О некоторых аспектах предупреждения, обнаружения и тушения лесных пожаров [Текст] / М.А. Шешуков, С.А. Громыко // Лесн. хоз-во. – 2002. – № 5. – С. 42–43.

Архангельский государственный  
технический университет

Поступила 17.10.06

*D.G. Myasishchev*

Arkhangelsk State Technical University

### **Substantiation of Forest-fire Technologies and Machines Based on Small-scale Mechanization**

Technology and aggregates on a motor-cultivator base are justified for realizing fire prevention using a hypothesis method as the basis for system analysis methodology, by mathematical simulation and taking into account the probability character of soil-cultivating processes.

Keywords: forest fire, motor-cultivator, mineralized strip.

---

УДК 630\*375.4

***В.И. Варава, В.П. Антипин, Г.В. Каршев, О.А. Михайлов***

Варава Владимир Иванович родился в 1933 г., окончил в 1961 г. Ташкентский институт инженеров железнодорожного транспорта, доктор технических наук, профессор кафедры теоретической механики С.-Петербургской государственной лесотехнической академии. Имеет свыше 100 печатных работ в области динамики машин.



Антипин Валерий Петрович родился в 1938 г., окончил в 1965 г. Ленинградскую лесотехническую академию, кандидат технических наук, доцент кафедры проектирования специальных лесных машин С.-Петербургской государственной лесотехнической академии. Имеет около 100 печатных работ в области динамики и энергетики двигателей и лесопромышленных машин.



Каршев Геннадий Владимирович родился в 1955 г., окончил в 1981 г. Ленинградскую лесотехническую академию, кандидат технических наук, доцент кафедры проектирования специальных лесных машин С.-Петербургской государственной лесотехнической академии. Имеет около 20 печатных работ в области проектирования лесных машин манипуляторного типа и их энергетики.



**СРАВНИТЕЛЬНЫЙ АНАЛИЗ ЭНЕРГОЗАТРАТ  
ТРАКТОРА ВП-100 В РЕЖИМЕ ГРУЗОВОГО ХОДА**

Разработана математическая модель энергозатрат трактора ВП-100 для неустановившегося режима грузового хода. Выполнен сравнительный анализ часового расхода топлива и касательной силы тяги при работе дизеля на регуляторной и корректорной ветвях скоростной характеристики. Предложены пути снижения энергозатрат и динамической нагруженности трансмиссии.

*Ключевые слова:* лесопромышленный трактор, энергозатраты, частотные характеристики.

Отечественные лесопромышленные тракторы (ЛПТ) оснащены в основном дизельными двигателями, имеющими низкий коэффициент приспособляемости по крутящему моменту. В 1948 г. Е.М. Харитончиком [3] для дизеля С-80 трактора ЧТЗ-С-64 был разработан и испытан корректор, обеспечивающий обогащенную цикловую подачу топлива. Это позволило повысить коэффициент приспособляемости до 1,6. Такой дизель назван двигателем постоянной мощности (ДПМ).

В силу ряда причин эта идея получила развитие только в 1970–1980 гг., когда стали выпускать дизели с коэффициентом приспособляемости от 1,3 до 1,9, что стало возможным при переходе дизеля с регуляторной на корректорную ветвь скоростной характеристики.

В условиях рядовой эксплуатации ЛПТ свыше 90 % времени они работают в неустановившемся режиме, создаваемом неровностями микро-рельефа, характером выполняемых технологических операций и т. д. В этом отношении представляют интерес исследования энергозатрат трактора ВП-100 в режиме грузового хода с дизелем, работающим как на регуляторной, так и на коррекционной ветви скоростной характеристики, т. е. как ДПМ при неустановившихся режимах. Известны [2] выражения для определения:

– часового расхода топлива:

$$B = 3,6q_{ц}\omega_{к.в}i_{д}/(\pi\tau_{д}); \quad (1)$$

– цикловой подачи топлива:

$$q_{ц} = \pi\tau_{д}M_{e}/(\eta_{e}H_{u}i_{д}); \quad (2)$$

– эффективной мощности:

$$N_{e} = M_{e}\omega_{к.в}; \quad (3)$$

– эффективного крутящего момента:

$$M_{e} = P_{к}R/(i_{т}\eta_{м}), \quad (4)$$

где  $\omega_{к.в}$  – угловая частота вращения коленчатого вала;

$i_{д}$ ,  $\tau_{д}$  – число цилиндров и тактность двигателя соответственно;

$\eta_{e}$  – эффективный КПД двигателя;

$H_{u}$  – низшая теплота сгорания топлива;

$P_{к}$  – касательная сила тяги;

$R$  – радиус ведущей звездочки;

$i_{т}$  – передаточное число трансмиссии;

$\eta_{м}$  – механический КПД,  $\eta_{м} = \eta_{т}\eta_{д\text{ж}}$  ( $\eta_{т}$ ,  $\eta_{д\text{ж}}$  – КПД трансмиссии и двигателя соответственно).

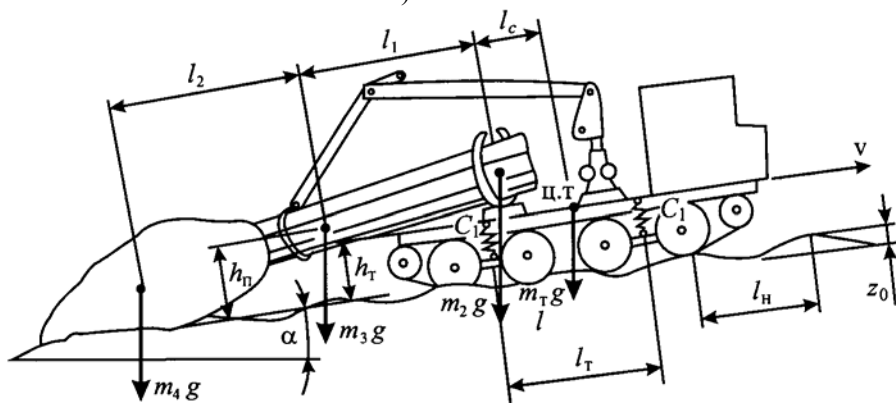


Рис. 1. Расчетная схема трактора ВП-100 в режиме грузового хода

Касательную силу тяги ( $P_{к}$ ) в режиме грузового хода (рис. 1) найдем по формуле

$$P_k = g[(m_T + m_n) \sin \alpha + f_{т.к} \left( \frac{m_3 l_2}{l_1 + l_2} + m_2 + m_T \right) \cos \alpha + f_{т.с} m_4] + (m_T + m_n) \frac{dv}{dt} + f_{т.к} Q_B(t). \quad (5)$$

В формуле (5) и на рис. 1 обозначено:

- $m_T, m_n$  – массы трактора и пачки деревьев соответственно;
- $m_2 g$  – сила тяжести части пачки деревьев, размещенной на конике;
- $m_3 g$  – сила тяжести пачки деревьев;
- $m_4 g$  – сила тяжести кроны;
- $f_{т.к}$  – коэффициент сопротивления качению трактора;
- $f_{т.с}$  – коэффициент сопротивления скольжению кроны;
- $Q_B(t)$  – динамическая составляющая нагрузки от колебаний остова трактора с пачкой деревьев;
- $t$  – текущее время;
- $l_1$  – расстояние от центра тяжести пачки деревьев до центра тяжести части пачки деревьев, размещенной на конике;
- $l_2$  – расстояние от центра тяжести пачки деревьев до центра тяжести кроны;
- $h_n, h_T$  – высота центра тяжести пачки деревьев и трактора соответственно;
- $l_T$  – межосевое расстояние;
- $l_n$  – длина неровности участка пути;
- $l_c$  – расстояние от центра тяжести трактора до центра тяжести части пачки деревьев, расположенной на конике;
- $z_0$  – высота неровности.

Выразим скорость движения трактора ( $v$ ) через частоту вращения коленчатого вала ( $n$ ):  $v = \pi R n / (30 i_T)$ . Решая совместно (1)–(5), находим выражения:

– часового расхода топлива:

$$B = \frac{0,12 \pi}{\eta_e H_u} \left\{ \frac{Rg}{i_T \eta_m} [(m_T + m_n) \sin \alpha + f_{т.к} \left( \frac{m_3 l_2}{l_1 + l_2} + m_2 + m_T \right) \cos \alpha + f_{т.с} m_4] + (m_T + m_n) \frac{R}{i_T} \frac{dn}{dt} + f_{т.к} \frac{R}{i_T} Q_B(t) \right\} n(t); \quad (6)$$

– затрат эффективной мощности:

$$N_e = \frac{\pi R g}{30 i_T \eta_m} \left\{ [(m_T + m_n) \sin \alpha + f_{т.к} \left( \frac{m_3 l_2}{l_1 + l_2} + m_2 + m_T \right) \cos \alpha + f_{т.с} m_4] + \frac{\pi}{30} (m_T + m_n) \frac{R}{i_T} \frac{dn}{dt} + f_{т.к} \frac{R}{i_T} Q_B(t) \right\} n(t). \quad (7)$$

Динамическую составляющую нагрузки  $Q_B(t)$  с учетом колебаний остова трактора с пачкой хлыстов определяем, решая систему уравнений Лагранжа, записанных в операторной форме:

$$\begin{pmatrix} m_5\omega^2 - 2c & m_6\omega^2 & 0 & (m_5 + m_6)e^{-s\tau}z_0\omega^2 \\ m_6\omega^2 & (m_5 + 4m_2)\omega^2 - 2c & 4m_n\omega^2 & [m_6 + (m_5 + 4m_2)e^{-s\tau}]z_0\omega^2 \\ 0 & -m_n\omega^2 & -m_3\omega^2 + S\beta_3 + c_3 & m_n e^{-s\tau}z_0\omega^2 \end{pmatrix}. \quad (8)$$

Решая систему уравнений (8) по Крамеру, получаем

$$Q_B(\omega) = \frac{8c_1 k_0^k z_0 \omega^2 (B^2 + D^2 + 4BD)}{(-a_0\omega^6 + a_2\omega^4 - a_4\omega^2 + a_6)^2 + (a_1\omega^4 - a_3\omega^2 + a_5)^2 \omega^2 \beta_3^2}. \quad (9)$$

В формулах (8) и (9):

$$m_5 = m_T + I_c / l_T^2;$$

$$m_6 = m_T - I_c / l_T^2;$$

$I_c$  – момент инерции трактора относительно главной центральной оси инерции;

$\omega$  – частота колебания нагрузки на ведущей звездочке;

$c$  – параметр суммарной жесткости четырех опорных пружин,  $c = 4c_1$ ;

$S = j\omega$  ( $j = \sqrt{-1}$ );

$\beta_3$  – параметр демпфирования пачки хлыстов,  $\beta_3 = 0,14\sqrt{c_3 m_3}$ ;

$c_3$  – жесткость пачки хлыстов;

$c_1$  – жесткость одной опорной пружины;

$k_0^k$  – коэффициент осности кареток,  $k_0^k = \cos \frac{\pi l}{l_H}$ ;

$$B = m_5 m_n^2 \omega^4 + m_T (c_3 - m_3 \omega^2) \left[ \frac{I_c}{l_T^2} + \frac{m_2 m_5}{m_T} - c \right];$$

$$D = m_6 m_n^2 \omega^4 + 2m_n^2 \omega^2 \left( c - \omega^2 \frac{I_c}{l_T^2} \right) + (c_3 - m_3 \omega^2) \left[ \left( \frac{I_c}{l_T^2} \omega^2 - c \right) (m_T + 2m_2) + 2m_2 m_6 \omega^2 \right];$$

$$a_0 = -4m_n^2 m_5 + (m_5^2 - m_6^2 + 4m_2 m_5) m_3;$$

$$a_2 = c(m_2 m_5 + 2m_2 m_3 - 2m_4^2) + c_3 (m_5^2 - m_6^2 + 4m_2 m_5);$$

$$a_4 = c[c_3 (m_5 + 2m_2) + c m_3]; \quad a_6 = c^2 c_3;$$

$$a_1 = m_5^2 - m_6^2 + 4m_2 m_5; \quad a_3 = c(m_5 + 2m_2); \quad a_5 = c^2.$$

Для сокращения объема излагаемого материала опустим промежуточные действия над формулами (5)–(7). Разделив их на возмущения  $z_n(S)$ , определим передаточные функции:

– касательной силы тяги:

$$W(S) = \frac{P_k(S)}{z_H(S)} = \frac{g}{z_H(S)} [(m_T + m_n) \sin \alpha + f_{т.к} (\frac{m_3 l_2}{l_1 + l_2} + m_2 + m_T) \cos \alpha + f_{т.с} m_4] + (m_T + m_n) \frac{\pi R}{30 i_T} SU(S) + f_{т.к} \Theta_B(S); \quad (10)$$

– часового расхода топлива:

$$G(S) = \frac{B(S)}{z_H(S)} = \frac{0,12\pi}{\eta_e H_u} \left\{ \frac{Rg}{i_T \eta_M} [(m_T + m_n) \sin \alpha + f_{т.к} (\frac{m_3 l_2}{l_1 + l_2} + m_2 + m_T) \cos \alpha + f_{т.с} m_4] + \frac{(m_T + m_n)R}{i_T} (n_0 S + \Phi) + f_{т.к} \frac{R}{i_T} \Theta_B(S) \right\} U(S); \quad (11)$$

– затрачиваемой мощности:

$$H(S) = \frac{N_e(S)}{z_H(S)} = \left\{ \frac{\pi Rg}{30 i_T \eta_M} [(m_T + m_n) \sin \alpha + f_{т.к} (\frac{m_3 l_2}{l_1 + l_2} + m_2 + m_T) \cos \alpha + f_{т.с} m_4] + \frac{\pi R(m_T + m_n)}{30 i_T} (n_0 S + \Phi) + f_{т.к} \frac{R}{i_T} \Theta_B(S) \right\} U(S), \quad (12)$$

где  $\Theta_B(S)$  – передаточная функция колебаний остова трактора совместно с

пачкой хлыстов,  $\Theta_B(S) = \frac{Q_B(S)}{z_H(S)}$ ;

$U(S)$  – передаточная функция (динамическая характеристика) частоты вращения дизеля,  $U(S) = \frac{n(S)}{z_H(S)}$ ;

$$\Phi = \left. \frac{dn}{dt} \right|_{t=0} = \text{const};$$

$n_0$  – постоянная составляющая частоты вращения коленчатого вала дизеля.

Согласно данным экспериментальных исследований двигателя СМД-18Н (ДПМ), передаточные функции (динамические характеристики) дизеля при работе на регуляторной и корректорной ветвях скоростной характеристики имеют существенные отличия [3]:

– на регуляторной ветви:

$$U_{\text{рег}}(S) = \frac{k_d (T_2^2 S^2 + 2T_2 \xi_1 S + 1)}{(T_1 S + 1)(T_3^2 S^2 + 2T_3 \xi_2 S + 1)(T_4 S + 1)}; \quad (13)$$

– на корректорной ветви:

$$U_{\text{кор}}(S) = \frac{k_d (\tau_2^2 S^2 + 2\tau_2 \psi_1 S + 1)(\tau_4^2 S^2 + 2\tau_4 \psi_3 S + 1)}{(T_1 S + 1)(\tau_3^2 S^2 + 2\tau_3 \psi_2 S + 1)(\tau_5^2 S^2 + 2\tau_5 \psi_4 S + 1)(\tau_6 S + 1)}, \quad (14)$$

где  $k_d$  – коэффициент передачи дизеля,  $k_d = 1,80$  (Н·м·с)<sup>-1</sup>;

$T_1$  – постоянная времени дизеля при работе на регуляторной и корректорной ветвях скоростной характеристики,

$$T_1 = \frac{\pi}{30} \left( I_d + m \frac{R^2}{i_T^2} \right) \frac{n_H^2}{N_H};$$

$I_d$  – приведенный момент инерции подвижных элементов двигателя,  
 $I_d = 2,4 \text{ кг} \cdot \text{м}^2$ ;

$N_H, n_H$  – номинальные мощность и частота вращения коленчатого вала соответственно;

$T_2, T_3, T_4, \tau_2, \tau_3, \tau_4, \tau_5, \tau_6$  – постоянные времени,  $T_2 = 0,531 \text{ с}$ ;  $T_3 = 0,398 \text{ с}$ ;  
 $T_4 = 0,354 \text{ с}$ ;  $\tau_2 = 0,53 \text{ с}$ ;  $\tau_3 = 0,265 \text{ с}$ ;  $\tau_4 = 0,199 \text{ с}$ ;  $\tau_5 = 0,159 \text{ с}$ ;  
 $\tau_6 = 0,113 \text{ с}$ ;

$\xi_1, \xi_2, \psi_1, \psi_2, \psi_3, \psi_4$  – коэффициенты демпфирования,  $\xi_1 = 0,20$ ;  $\xi_2 = 0,03$ ;  
 $\psi_1 = 0,20$ ;  $\psi_2 = 0,03$ ;  $\psi_3 = 0,19$ ;  $\psi_4 = 0,13$ .

В формулах (10)–(12) приравняем  $S = j\omega$ , определим модули передаточных функций и умножим на амплитуду входного возмущения, получим частотные характеристики с соответствующей размерностью:

– касательной силы тяги, Н:

$$P_k(\omega) = g[(m_T + m_n) \sin \alpha + f_{т.к} \left( \frac{m_3 l_2}{l_1 + l_2} + m_2 + m_T \right) \cos \alpha + f_{т.с} m_4] + (m_T + m_n) \frac{\pi R}{30 i_T} \omega n(\omega) + f_{т.к} Q_B(\omega); \quad (15)$$

– часового расхода топлива, г/ч:

$$B(\omega) = \frac{0,12\pi}{\eta_e H_u} \left\{ \frac{Rg}{i_T \eta_m} [(m_T + m_n) \sin \alpha + f_{т.к} \left( \frac{m_3 l_2}{l_1 + l_2} + m_2 + m_T \right) \cos \alpha + f_{т.с} m_4] + \frac{(m_T + m_n)R}{i_T} (n_0 \omega + \Phi) + f_{т.к} \frac{R}{i_T} Q_B(\omega) \right\} n(\omega); \quad (16)$$

– затрачиваемой мощности, Вт:

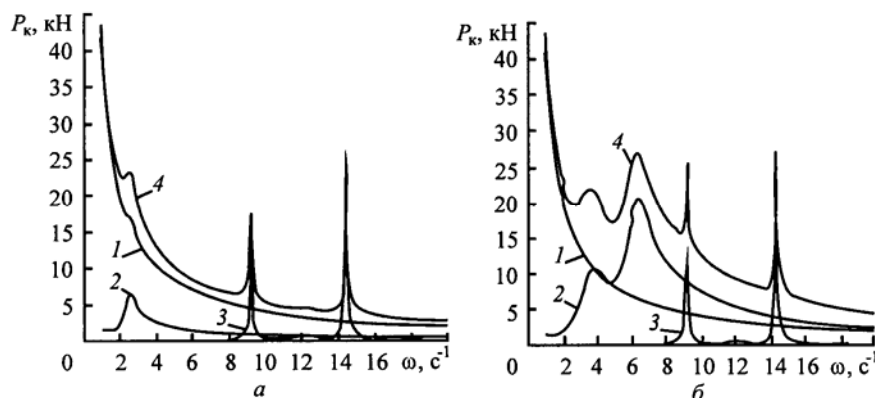


Рис. 2. Частотные характеристики касательной силы тяги трактора ВП-100 при работе дизеля на регуляторной (а) и корректорной (б) ветвях скоростной характеристики: 1 – спектр неровности пути; 2 – колебания частоты вращения дизеля; 3 – колебания остова трактора; 4 – суммарная АХЧ



$$N_e(\omega) = \left\{ \frac{\pi R g}{30 i_T \eta_M} [(m_T + m_{\Pi}) \sin \alpha + f_{Т.К} \left( \frac{m_3 l_2}{l_1 + l_2} + m_2 + m_T \right) \cos \alpha + f_{Т.С} m_4] + \frac{(m_T + m_{\Pi}) \pi R}{30 i_T} (n_0 \omega + \Phi) + f_{Т.К} \frac{R}{i_T} Q_B(\omega) \right\} n(\omega). \quad (17)$$

В соответствии с функциями (15)–(17) и исходными конструктивными данными трактора ВП-100 в качестве примера вычислены амплитудно-частотные характеристики (АЧХ) при работе дизеля СМД-18Н (ДПМ) на регуляторной (рис. 2, а, 3, а) и корректорной (рис. 2, б, 3, б) ветвях скоростной характеристики при движении трактора на третьей передаче и подъеме  $\alpha = 10^\circ$ .

Из анализа частотных характеристик следует:

– при работе дизеля на регуляторной ветви скоростной характеристики (рис. 2, а, 3, а) собственные частоты вращения дизеля составляют  $2,5 \text{ с}^{-1}$ , остова трактора с пачкой хлыстов –  $9,0$  и  $14,5 \text{ с}^{-1}$ . Пики динамической нагруженности в трансмиссии при  $9,0 \text{ с}^{-1}$  равны  $16 \text{ кН}$ , при  $14,5 \text{ с}^{-1}$  –  $24 \text{ кН}$ . Расход топлива при частоте  $2,5 \text{ с}^{-1}$  составляет  $0,95 \text{ кг/ч}$ , при  $9,0$  и  $14,5 \text{ с}^{-1}$  –  $0,18$  и  $0,12 \text{ кг/ч}$ , дополнительно к расходу топлива  $B_0 = 18,5 \text{ кг/ч}$  при квазистатическом (среднем) режиме нагружения;

– при работе дизеля на корректорной ветви скоростной характеристики, в режиме ДПМ (рис. 2, б, 3, б) собственные частоты вращения дизеля составляют  $3,6$  и  $6,5 \text{ с}^{-1}$ , остова трактора с пачкой хлыстов –  $9,0$  и  $14,5 \text{ с}^{-1}$ . Близость второго диапазона резонансной частоты ( $\omega = 6,5 \text{ с}^{-1}$ ) дизеля к первому диапазону резонансной частоты ( $\omega = 9,0 \text{ с}^{-1}$ ) колебаний остова трактора с пачкой хлыстов увеличивает амплитуду колебаний касательной силы тяги, что способствует усилению динамической нагруженности трансмиссии и двигателя. Часовой расход топлива имеет наибольшее значение на второй

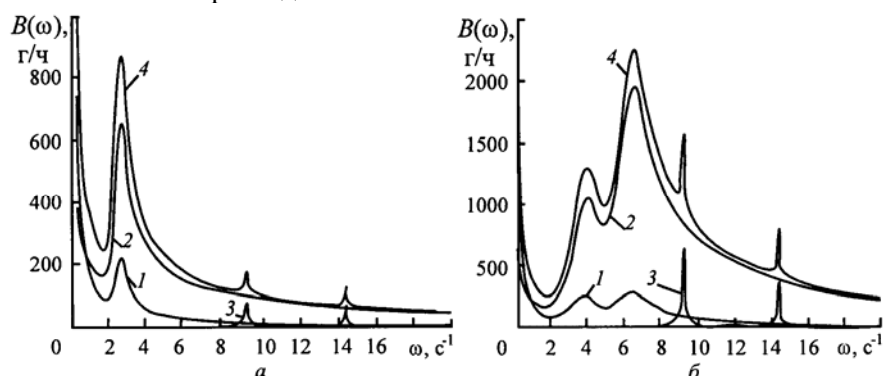


Рис. 3. Частотные характеристики часового расхода топлива на регуляторной (а) и корректорной (б) ветвях скоростной характеристики: 1 – расход дизелем без трактора; 2 – расход без учета колебаний остова трактора с пачкой хлыстов; 3 – расход от колебаний остова трактора; 4 – суммарный расход топлива от всех составляющих

резонансной частоте дизеля ( $\omega = 6,5 \text{ с}^{-1}$ ), равное 2,24 кг/ч. Объясняется это отсутствием влияния регулятора скорости и близостью первой резонансной частоты ( $\omega = 9,0 \text{ с}^{-1}$ ) колебаний остова трактора с пачкой хлыстов.

Нетрудно заметить, что площади под кривыми частотных характеристик  $P_{\kappa}(\omega)$ ,  $B(\omega)$  при работе дизеля на регуляторной ветви скоростной характеристики меньше, чем на корректорной ветви. Следовательно, динамическая нагруженность в силовой передаче и расход топлива в динамике больше во втором случае.

Полные значения касательной силы тяги  $P_{\kappa.п}$ , часового расхода топлива  $B_{п}$  и затрачиваемой мощности  $N_{еп}$  с учетом квазистатических величин  $P_{\kappa 0}$ ,  $B_0$ ,  $N_{e0}$  определяют по формулам

$$P_{\kappa.п} = P_{\kappa 0} + \frac{1}{\omega_p} \int_{\omega=0}^{\omega=\infty} P_{\kappa}(\omega) d\omega; \quad (18)$$

$$B_{п} = B_0 + \frac{1}{\omega_p} \int_{\omega=0}^{\omega=\infty} B(\omega) d\omega; \quad (19)$$

$$N_{еп} = N_{e0} + \frac{1}{\omega_p} \int_{\omega=0}^{\omega=\infty} N_e(\omega) d\omega, \quad (20)$$

где  $\omega_p$  – низшая резонансная частота системы;

$$P_{\kappa 0} = g[(m_{\tau} + m_{п}) \sin \alpha + f_{\tau.к} \left( \frac{m_3 l_2}{l_1 + l_2} + m_2 + m_{\tau} \right) \cos \alpha + f_{\tau.с} m_4];$$

$$B_0 = \frac{0,12\pi}{\eta_e H_u} \left\{ \frac{Rg}{i_{\tau} \eta_{\text{м}}} [(m_{\tau} + m_{п}) \sin \alpha + f_{\tau.к} \left( \frac{m_3 l_2}{l_1 + l_2} + m_2 + m_{\tau} \right) \cos \alpha + f_{\tau.с} m_4] \right\};$$

$$N_{e0} = \left\{ \frac{\pi Rg}{30 i_{\tau} \eta_{\text{м}}} [(m_{\tau} + m_{п}) \sin \alpha + f_{\tau.к} \left( \frac{m_3 l_2}{l_1 + l_2} + m_2 + m_{\tau} \right) \cos \alpha + f_{\tau.с} m_4] \right\}.$$

Например, согласно (19) полный расход топлива при работе дизеля на регуляторной ветви скоростной характеристики и резонансных частотах составит:  $B_{п} = 18,5 + 0,3 = 18,8$  кг/ч; на корректорной ветви  $B_{п} = 18,5 + 2,24 = 20,74$  кг/ч, т. е. почти на 2 кг/ч меньше.

#### Выводы

1. Построенная математическая модель лесопромышленной машины позволяет: на стадии проектирования определять, анализировать и снижать нагруженность в силовой передаче, затраты мощности и часовой расход топлива; в процессе эксплуатации прогнозировать энергозатраты и нормировать расход топлива.

2. Для снижения нагруженности в силовой передаче, а также часового расхода топлива и затрат мощности необходимо установить демпфирующие устройства в системе подрессоривания остова трактора и зажимного коника в соответствии с расчетными параметрами, а также гаситель колебаний рейки топливного насоса в системе регулирования скорости и подачи топлива.

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- 1.. Амплитудно-частотные характеристики крутящего момента и частоты вращения дизеля с высоким коэффициентом приспособляемости [Текст] / В.П. Антипин, М.Я. Дурманов, Г.В. Каршев, О.А. Михайлов // Двигателестроение. – 2006. – № 1 (223). – С. 31–34.
2. Крутов, В.И. Двигатель внутреннего сгорания как регулируемый объект [Текст] / В.И. Крутов. – М.: Машиностроение, 1978. – 472 с.
3. Харитончик, Е.М. Теоретические основы методов повышения эффективности тракторов с двигателями постоянной мощности (ДПМ) [Текст] / Е.М. Харитончик // Сб. науч. тр. Воронеж. с.-х. ин-та. – 1980. – Т. 109. – С. 5–18.

С.-Петербургская государственная  
лесотехническая академия

Поступила 31.08.07

*V.I. Varava, V.P. Antipin, G.V. Karshev, O.A. Mikhailov*

Saint-Petersburg State Forest-Technical Academy

### **Comparative Analysis of Power Consumption of Tractor VP-100 in Load Motion Mode**

Mathematical model for power consumption of tractor VP-100 is developed for unsteady load motion mode. The comparative analysis of hourly fuel consumption and tangential tractive effort is carried out under the diesel engine work at the regulatory and corrected speed ability. The ways for reducing power consumption and dynamic loading of transmission are offered.

Keywords: forest-industrial tractor, energy consumption, frequency characteristics.

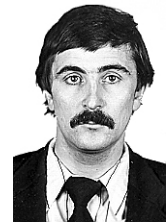


## МЕХАНИЧЕСКАЯ ОБРАБОТКА ДРЕВЕСИНЫ И ДРЕВЕСИНОВЕДЕНИЕ

УДК 674.815-41

**С.М. Плотников**

Плотников Сергей Михайлович родился в 1951 г., окончил в 1973 г. Красноярский политехнический институт, кандидат технических наук, доцент кафедры электротехники Сибирского государственного технологического университета. Имеет более 60 печатных работ в области автоматизации производства древесных плит.



### ИССЛЕДОВАНИЕ ПАДЕНИЯ ДРЕВЕСНЫХ ЧАСТИЦ В ОРИЕНТИРУЮЩЕМ УСТРОЙСТВЕ

Теоретически и экспериментально исследовано падение плоских древесных частиц в ориентирующем устройстве; получено выражение скорости падения частиц.

*Ключевые слова:* древесная частица, направляющий орган, ориентация, шаг ориентации, сила сопротивления воздуха, плотность воздуха, плотность древесины, коэффициент лобового сопротивления.

Производство и потребление древесностружечных плит в мире ежегодно увеличивается на 3 %, тогда как объем производства плит из ориентированной крупноразмерной стружки (OSB) возрастает в среднем на 16 % в год. Проектирование современных ориентирующих устройств для производства OSB должно учитывать особенности ориентации древесных частиц.

Один из способов механической ориентации основан на использовании жесткого (пластины, дисковые вальцы) или гибкого (бесконечная лента или нить) направляющего органа, соседние ветви которого размещены параллельно друг другу на расстоянии  $h_n$  (шаг ориентации) и двигаются в противоположных направлениях [5].

Расстояние между соседними ветвями направляющего органа должно быть меньше длины ориентируемой стружки, т.е для надежной ориентации нужно выполнять условие

$$h_n < l_n \cdot 2h_n,$$

где  $l_n$  – средняя длина ориентируемой древесной частицы.

Г.М. Шварцман, Д.А. Щедро [5] уделяют одинаковое внимание как «валковым» ориентирующим устройствам, так и устройствам с гибкой бесконечной лентой.

Валковое ориентирующее устройство представляет собой раму с установленной на ней валками, на которые насажены тонкие диски. Диски

расположены в шахматном порядке с перекрытием. Зазор между дисками увеличивается по ходу продвижения стружки. Направления вращения всех валков, за исключением последнего, одинаковое, у последнего – встречное, что препятствует выносу стружки за пределы устройства.

Недостатки валкового устройства по сравнению с устройством на основе гибкой бесконечной ленты: частые изломы стружки, более высокий угол отклонения от продольного направления (угол ориентирования). Согласно [5], 30 % стружки в таком устройстве падает с углом отклонения  $5^\circ$ , 60 % – с углом  $15^\circ$ , остальные 10 % имеют угол отклонения более  $30^\circ$ . Таким образом, средневзвешенная величина угла отклонения

$$0,3 \cdot 5 + 0,3 \cdot 15 + 0,1 \cdot 30 = 13,5^\circ.$$

У устройств на основе гибкой бесконечной ленты (при оптимальной скорости перемещения ленты) этот угол составляет  $10,2^\circ$  [4]. Данный угол может быть еще меньшим при работе с более длинными частицами.

В ориентирующем устройстве фирмы «Bison-Werke» [2] бесконечная гибкая лента движется между вертикальными ограничительными пластинами (рис. 1). Подаваемая на формирование ковра стружка разворачивается с помощью выступов на кромках гибкой ленты и проходит между ее ветвями. Данное устройство позволяет осуществлять как продольную, так и поперечную ориентацию стружки.

В статье делается попытка создания теоретической базы для совершенствования и модернизации ориентирующих устройств, используемых в производстве как плит OSB, так и обычных древесностружечных плит.

Для определения оптимальных параметров ориентирующего устройства (скорость движения направляющего органа, высота его расположения, шаг ориентации) необходимо рассмотреть поведение отдельной плоской древесной частицы от момента ее разворота направляющим органом до момента укладки в стружечный ковер. Движение твердого тела под действием приложенных к нему сил сводится к движению центра тяжести и вращению тела относительно этого центра.

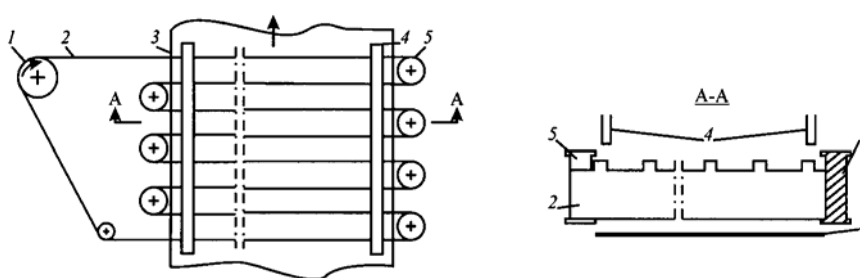


Рис.1. Схема ориентирующего устройства фирмы «Bison-Werke»: 1 – ведущий ролик; 2 – гибкая лента; 3 – формирующий транспортер; 4 – ограничительные пластины; 5 – направляющие ролики

Для определения времени  $t$  нахождения частицы в ориентирующем устройстве рассмотрим движение ее центра тяжести. В соответствии со вторым законом Ньютона

$$m \frac{dV}{dt} = F_g - F_c, \quad (1)$$

где  $m$  – масса частицы;

$V$  – скорость падения частицы;

$F_g$  – сила тяжести;

$F_c$  – сила сопротивления среды движению частицы.

Оценим эти силы для частицы стружки из древесины сосны плотностью  $\rho_d = 500 \text{ кг/м}^3$  рациональных размеров [3] (длина  $l = 40 \text{ мм}$ , ширина  $b = 8 \text{ мм}$ , толщина  $h = 0,4 \text{ мм}$ ):

$$F_g = \rho_d(l b h) g = 500 (40 \cdot 8 \cdot 0,4) \cdot 10^{-9} \cdot 9,81 = 6,3 \cdot 10^{-4} \text{ Н}; \quad (2)$$

$$F_c = C_x \rho_v S \frac{V^2}{2}, \quad (3)$$

где  $g$  – ускорение свободного падения;

$C_x$  – коэффициент лобового сопротивления, зависящий от числа Рейнольдса, формы и шероховатости частицы; считая древесную частицу плоской пластинкой, ориентировочно принимаем  $C_x = 1,1$  [1];

$\rho_v$  – плотность воздуха,  $\rho_v = 1,3 \text{ кг/м}^3$ ;

$S$  – площадь частицы,  $S = lb$ .

При высоте падения  $H = 0,2 \dots 0,5 \text{ м}$  скорость движения частицы ориентировочно можно принять средней,  $V = 1 \text{ м/с}$ .

Тогда

$$F_c = 1,1 \cdot 1,3(40 \cdot 8) \cdot 10^{-6} \frac{l^2}{2} = 2,3 \cdot 10^{-6} \text{ Н}.$$

Так как для древесных частиц данного размера сила тяжести и сила сопротивления воздуха соизмеримы, то выражение (1) с учетом (2) и (3) примет следующий вид:

$$\frac{dV}{dt} = \frac{F_g - F_c}{m} = \frac{\rho_d(lbh)g - C_x \rho_v(lb) \frac{V_{\text{ср}}}{2}}{\rho_d(lbh)g} = g - AV^2, \quad (4)$$

где  $t$  – время падения частицы;

$A$  – коэффициент,  $1/\text{м}$ , зависящий от плотности воздуха, коэффициента сопротивления частицы, ее плотности и толщины,  $A = \frac{\rho_v C_x}{2\rho_d h}$ .

Таким образом, решение (4) имеет следующий вид:

$$V(t) = \sqrt{\frac{g}{A} \frac{1 + Ce^{-2\sqrt{gA} \cdot t}}{1 + Ce^{-2\sqrt{gA} \cdot t}}}, \quad (5)$$

где  $C$  – постоянная интегрирования, определяемая из начальных условий  $V(0) = V_0$ ,

$$C = \frac{V_0 - \sqrt{\frac{g}{A}}}{V_0 + \sqrt{\frac{g}{A}}};$$

$V_0$  – начальная скорость движения частицы.

Тогда запишем в общем виде выражение (5):

$$V(t) = \sqrt{\frac{g}{A}} \frac{(V_0 + \sqrt{\frac{g}{A}}) + (V_0 - \sqrt{\frac{g}{A}})e^{-2\sqrt{gA} \cdot t}}{(V_0 + \sqrt{\frac{g}{A}}) - (V_0 - \sqrt{\frac{g}{A}})e^{-2\sqrt{gA} \cdot t}}. \quad (6)$$

Для частиц, разворачиваемых направляющим органом,  $V_0 = 0$ . В данном случае скорость движения частицы определяют выражением гиперболического тангенса:

$$V(t) = \sqrt{\frac{g}{A}} \operatorname{th}(\sqrt{gA} \cdot t). \quad (7)$$

Таким образом, предельная скорость падения частицы зависит от плотности среды (воздуха), плотности, толщины и коэффициента лобового сопротивления частицы и не зависит от ее длины и ширины.

Путь, проходимый частицей, определяем посредством интегрирования  $V(t)$ :

$$S(t) = \int V(t) dt = \sqrt{\frac{g}{A}} \int \operatorname{th}(\sqrt{gA} \cdot t) dt = \frac{1}{A} \ln \operatorname{ch}(\sqrt{gA} \cdot t) + C_1. \quad (8)$$

Определяемая из начальных условий  $S(0) = 0$  постоянная интегрирования  $C_1 = 0$ .

Упрощенно древесную частицу можно считать идеальной плоской пластинкой. При этом не учитывают размеры, неравномерность формы, шероховатость и другие особенности осмоленных древесных частиц, подвергающихся механической ориентации. Для расчетов необходимо проведение экспериментальных исследований падения частиц различных размеров и уточнение коэффициента их лобового сопротивления  $C_x$ .

Эксперименты были проведены на плоской осмоленной сосновой стружке, изготовленной на стружечном станке ДС-6. Толщину стружки от 0,2 до 1,0 мм задавали скоростью подачи и величиной выступа режущей кромки ножей. Средняя длина стружки – 40 мм, ширина – 8 мм. Как установлено выше, два последних параметра практически не влияют на скорость падения частицы. При высоте падения 2 м считаем, что конечная (установившаяся) скорость падения стружки  $V_k$  равна ее средней скорости  $V_{cp}$ . Время падения измеряли с помощью секундомера. Усредненные данные 20 измерений для стружки различной толщины  $h$  представлены в таблице. Данный диапазон толщин соответствует размерам стружки, применяемой в производстве [3].

**Зависимость времени падения  $t$ , средней скорости  $V_{\text{ср}}$  и коэффициента  $C_x$  от толщины стружки  $h$**

Показатели	Значение показателей при различных значениях $h$ , мм				
	0,2	0,4	0,6	0,8	1,0
$t$ , с	2,24	1,56	1,24	1,06	1,01
$V_{\text{ср}}$ , м/с	0,89	1,28	1,61	1,89	1,98
$C_x$	1,91	1,84	1,75	1,70	1,92

При высоте падения 2 м и времени падения частиц определена их средняя скорость. Зависимость  $V_{\text{ср}}$  от  $h$  представлена на рис. 2.

Из выражения (7) можно определить конечную скорость, развиваемую частицей при падении:

$$V_k = \sqrt{\frac{g}{A}} = \sqrt{\frac{2g\rho_d h}{C_{xT}\rho_w}}$$

Для достаточно большой высоты падения можно считать, что конечная скорость  $V_k$  равна средней скорости  $V_{\text{ср}}$ . Тогда коэффициент лобового сопротивления частиц различной толщины

$$C_x = \frac{2g\rho_d h}{\rho_w V_{\text{ср}}^2} \quad (8)$$

Как видно из таблицы, с увеличением толщины частиц коэффициент  $C_x$  несколько снижается, причем при изменении толщины частиц в 5 раз изменяется  $C_x$  на 11 %. Поэтому в инженерных расчетах для плоских частиц, применяемых в производстве древесностружечных плит, данный коэффициент можно принять равным 1,8. При этом погрешность расчетов не превысит 6 %.

Зависимости скорости частицы и проходимого ей пути от времени, построенные по (7) и (8) при  $C_x = 1,8$ , представлены на рис. 3. Здесь

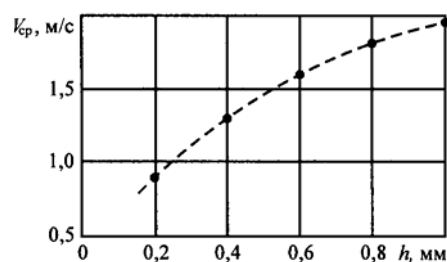


Рис. 2. Зависимость средней скорости  $V_{\text{ср}}$  падения частиц от их толщины  $h$

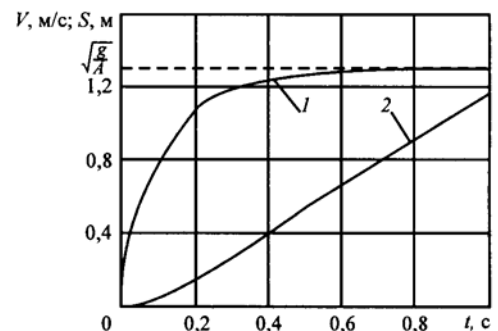


Рис. 3. Зависимость скорости  $V$  (1) и пути  $S$  (2) древесной частицы от времени  $t$



значение  $\sqrt{\frac{g}{A}}$  близко к 1,3 м/с, причем можно считать, что ускорение частицы заканчивается за 0,5 с после того, как она пройдет около 0,5 м; далее частица движется равномерно. Из графика  $S(t)$  видно, что при небольшой высоте ( $H \leq 0,5$  м) время падения частицы (в секундах) пропорционально высоте падения (в метрах), т.е.  $t = H$ .

Полученные соотношения могут быть использованы для расчета оптимальных параметров ориентирующего устройства в производстве древесностружечных плит из ориентированной крупноразмерной стружки.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Идельчик, И.Е.* Справочник по гидравлическим сопротивлениям [Текст] / И.Е. Идельчик; под ред. М.О. Штейнберга. – 3-е изд., перераб. и доп. – М.: Машиностроение, 1992. – 672 с.
2. Пат. 2730403 ФРГ, МКИ<sup>5</sup> В 29 J 5/04. Vorrichtung zum Ausrichten von mit einem Bindemittel versehenen lignozellulosehaltigen Teilchen [Текст]. – Приоритет. 1980.
3. *Поташев, О.Е.* Механика древесных плит [Текст] / О.Е. Поташев, Ю.Г. Лапшин. – М.: Лесн. пром-сть, 1982. – 112 с.
4. *Плотников, С.М.* Совершенствование системы ориентирования стружки в производстве древесных плит [Текст] / С.М. Плотников // *Деревообработ. пром-сть.* – 2007. – № 5. – С. 4 – 6.
5. *Шварцман, Г.М.* Производство древесностружечных плит [Текст] / Г.М. Шварцман, Д.А. Щедро. – 4-е изд., перераб. и доп. – М.: Лесн. пром-сть, 1987. – 320 с.

Сибирский государственный  
технологический университет

Поступила 21.08.06

*S.M. Plotnikov*

Siberian State Technological University

#### Investigation of Wooden Particles Fall in Orientation Device

Fall of flat wooden particles in the orientation device is investigated theoretically and experimentally; the expression of particles fall speed is produced.

Keywords: wooden particle, guiding body, orientation, orientation spacing, air resistance force, air density, wood density, drag coefficient.

УДК 674.093

**Л.С. Суровцева, О.А. Лисицына**

Суровцева Любовь Савватъевна 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 100 научных трудов в области комплексного рационального использования древесины, совершенствования технологического процесса лесопильно-деревообрабатывающих производств.



Лисицына Ольга Александровна родилась в 1973 г., окончила в 1996 г. Архангельский государственный технический университет, аспирант кафедры лесопильно-строгальных производств АГТУ. Имеет 3 научные статьи.



**ЖЕЛЕЗНОДОРОЖНАЯ ПОСТАВКА СЫРЬЯ  
НА ЛЕСОПИЛЬНО-ДЕРЕВООБРАБАТЫВАЮЩИЕ  
ПРЕДПРИЯТИЯ**

Установлено, что объемы древесины железнодорожной поставки зависят от наличия на предприятиях железнодорожных путей. Анализ ритмичности поступления древесины пиловочного сырья показал, что можно выделить 4 характерных периода в течение года: зима, весна, лето, осень, которые описываются уравнениями второго порядка в зависимости от общего объема поставки древесины.

*Ключевые слова:* железнодорожная поставка, древесина, период года, ритмичность поставки.

В настоящее время на лесопильно-деревообрабатывающих предприятиях применяют все виды поставок пиловочного сырья: сухопутную (железнодорожная и автомобильная) и водную (в плотках и баржах)\*. На рис. 1 представлены средние данные объемов поступления пиловочного сырья на основные лесопильно-деревообрабатывающие предприятия г. Архангельска за последние 7 лет. В этот период предприятия работали достаточно стабильно, объемы поступающего сырья по годам колебались незначительно.

На трех ведущих лесопильных предприятиях г. Архангельска (предприятия 1, 2, 3) доля железнодорожной поставки составляет 7 ... 39 % от объема всего поставляемого сырья и зависит от наличия (или отсутствия) на

---

\* Павлов, Ф.А. Транспортные системы, пути и перевозки лесопроductии [Текст]: учеб. пособие для вузов: в 3 т. / Ф.А. Павлов [и др.]; под ред. Ф.А. Павлова. – Архангельск: Изд-во Арханг. гос. техн. ун-та, 2001. – Т. 1. Транспортные системы. – 382 с.; Т. 2. Лесовозные дороги. – 352 с.

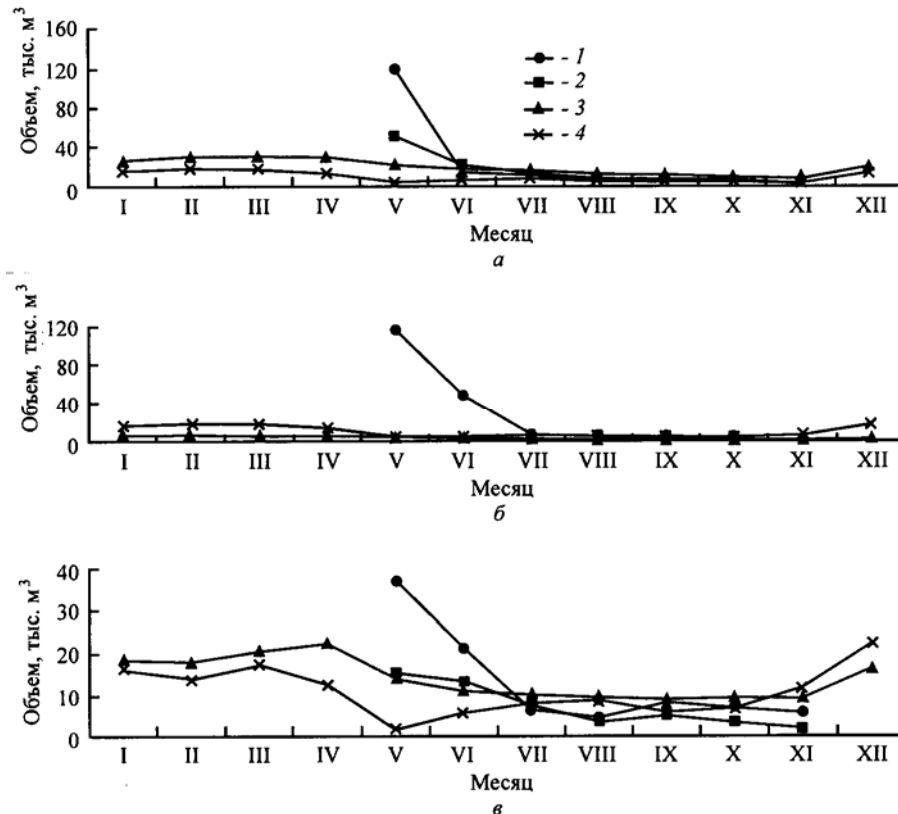


Рис. 1. Поступление сырья на основные лесопильно-деревообрабатывающие предприятия г. Архангельска: а – 1; б – 2; в – 3; I – XII – месяцы, начиная с января; 1 – плоты, 2 – баржи, 3 – железнодорожный транспорт, 4 – автомобильный транспорт

предприятию железнодорожной ветки. Наибольший объем поставки древесины по железной дороге (8 ... 30 тыс. м<sup>3</sup>/мес.) отмечен на предприятии 3, где железнодорожная ветка проходит непосредственно по его территории. При отсутствии собственной железнодорожной ветки объем поставки железнодорожным транспортом не превышает 7 % от объема поступившего сырья и в среднем колеблется от 0,8 до 3 тыс. м<sup>3</sup>/мес. Подвоз сырья автомобилями от собственного железнодорожного тупика на промышленную площадку предприятия снижает объем круглых сортиментов, поступивших железнодорожным транспортом в среднем на 1,5 %.

Однако, несмотря на различные объемы сырья, перерабатываемого на лесопильных предприятиях, наблюдается общая закономерность изменения объема древесины, поступающей железнодорожным транспортом в течение года (рис. 2).

Наибольший объем поставки сырья отмечен в зимне-весенний период (декабрь–апрель). В мае объемы железнодорожных поставок резко сокращаются и затем постепенно уменьшаются вплоть до ноября. Такая зако-

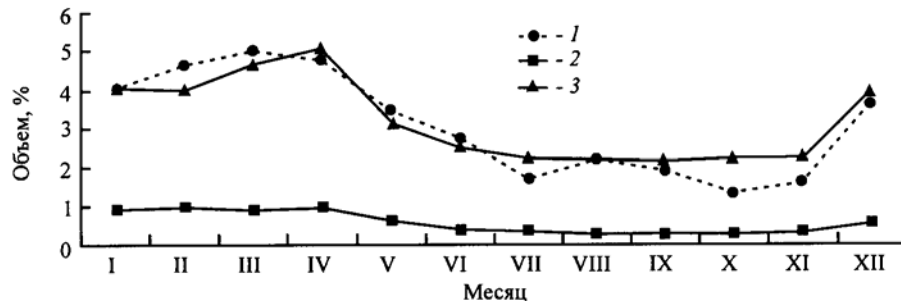


Рис. 2. Ритмичность поставки сырья железнодорожным транспортом на предприятиях 1 (1), 2 (2), 3 (3)

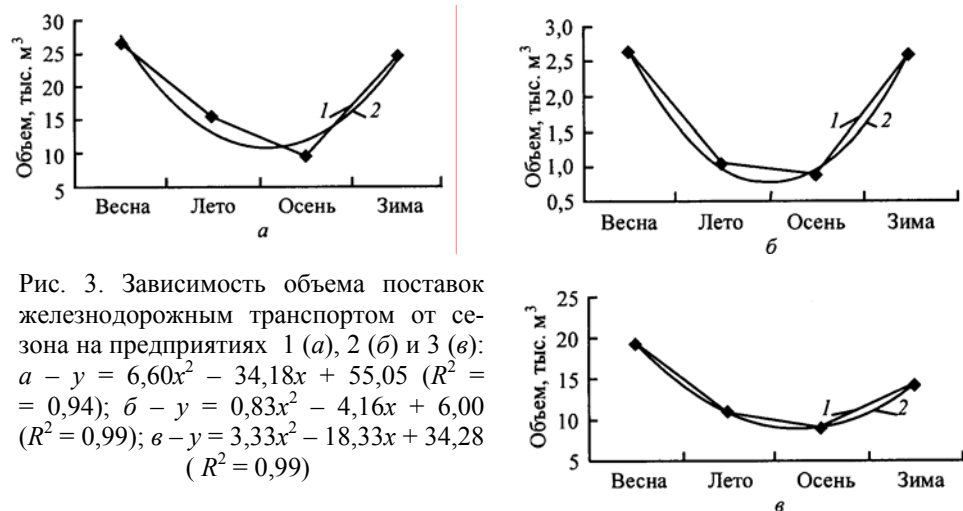


Рис. 3. Зависимость объема поставок железнодорожным транспортом от сезона на предприятиях 1 (а), 2 (б) и 3 (в):  
 $a - y = 6,60x^2 - 34,18x + 55,05$  ( $R^2 = 0,94$ );  
 $б - y = 0,83x^2 - 4,16x + 6,00$  ( $R^2 = 0,99$ );  
 $в - y = 3,33x^2 - 18,33x + 34,28$  ( $R^2 = 0,99$ )

номерность обусловлена открытием навигации и поступлением наибольшего объема сырья водной поставкой, особенно в мае. В последующие навигационные месяцы объем водных поставок сокращается в 10–50 раз, снижаясь к сентябрю–октябрю. Кроме того, в летние месяцы возрастает объем пассажирских перевозок, что также оказывает влияние на объемы грузовых перевозок железнодорожным транспортом.

Анализ ритмичности поставки пиловочного сырья железнодорожным транспортом в течение года показал, что независимо от количества перерабатываемой древесины наблюдается общая тенденция изменения объемов древесины, поступившей железнодорожным транспортом (рис. 3).

Установленные зависимости дают возможность предприятиям не только регулировать процесс поставки сырья, но и планировать затраты на его приобретение и технико-экономические показатели в целом.

Полученные результаты позволяют сделать вывод о том, что эффективность производства пилопродукции на лесопильно-деревообрабатывающих предприятиях зависит от вида поставки пиловочного сырья, от этого же зависят и технологические операции разгрузки, приемки и подачи

---

древесины на распиловку, затраты на сырье и себестоимость производства пилопродукции.

Проведенный анализ способов поставки показал, что необходимо переходить на новые взаимовыгодные отношения между поставщиками (лесозаготовителями) и потребителями (лесопильными предприятиями) круглых лесоматериалов. Лесопильные предприятия на основе существующей технологии устанавливают такие вид и объемы поставок, которые дают возможность производить пилопродукцию с минимальными затратами.

Архангельский государственный  
технический университет

Поступила 29.03.07

*L.S. Surovtseva, O.A. Lisitsyna*

Arkhangelsk State Technical University

### **Railroad Delivery of Rawwood to Sawmill-woodworking Enterprises**

It is set that timber volume of railroad delivery depends on availability of railroad tracks at the enterprises. The analysis of regular character of timber delivery has demonstrated that three characteristic periods could be distinguished within a year: winter, spring, summer, autumn described by second-order equations depending on the total volume of timber delivery.

Keywords: railroad delivery, timber, period of a year, regular character of delivery.

---

---

УДК 624.072.221.011.14.046.2

### ***Е.Н. Серов, С.А. Лабутов***

Серов Евгений Николаевич родился в 1932 г., окончил в 1963 г. Ленинградский инженерно-строительный институт, доктор технических наук, профессор кафедры конструкций из дерева и пластмасс С.-Петербургского государственного архитектурно-строительного университета. Имеет более 100 научных работ в области клееных деревянных конструкций и учета анизотропии при оценке их прочности.



Лабутов Сергей Анатольевич родился в 1981 г., окончил в 2003 г. С.-Петербургский государственный архитектурно-строительный университет, аспирант кафедры конструкций из дерева и пластмасс СПбГАСУ. Имеет 3 печатные работы в области строительных конструкций.



## **РАСПРЕДЕЛЕНИЕ НАПРЯЖЕНИЙ НА ОПОРАХ КЛЕЕФАНЕРНЫХ КОНСТРУКЦИЙ**

Рассмотрена особенность распределения напряжений в клеефанерных конструкциях, указано на необходимость оценки поперечных деформаций расслоения фанерной стенки, поставлен вопрос о необходимости исследования величины сопротивления фанеры растяжению из плоскости листа.

*Ключевые слова:* клеефанерные конструкции, напряженно-деформированное состояние, расчетные сопротивления фанеры, анизотропия прочности.

В мировой практике строительства возрастает интерес к клееным деревянным конструкциям. Наиболее прогрессивными являются клеефанерные конструкции (КФК). Несущие КФК обычно состоят из дощатых поясов и фанерных стенок, подкрепленных ребрами жесткости. Массивные пояса удалены от нейтральной оси и работают в состоянии практически одноосного сжатия (растяжения), поэтому в таких конструкциях хорошо реализуется принцип концентрации материала, сформулированный Н.С. Стрелецким. Так как расчетное сопротивление фанеры на срез примерно в 4 раза больше прочности древесины на скалывание вдоль волокон, толщина стенок может быть минимальной. Поэтому КФК являются тонкостенными конструкциями, а поперечное сечение их обычно имеет двутавровую, коробчатую или двутаврово-коробчатую форму. При одном и том же моменте сопротивления площадь, например, клеефанерных балок в среднем на 40 % меньше, чем клеедощатых.

Экспериментально-теоретические исследования КФК ведутся в СПбГАСУ (ЛИСИ) с 1965 г. При испытании клеефанерных рам, отдельных их узлов и балок с двумя или тремя стенками нередко разрушение конст-



рукций начиналось с выпучивания фанерных стенок и последующего отрыва фанеры от поясов по клеевым швам в основном между слоями шпона (рис. 1.). Разрушение зоны приклеивания поясов к стенкам происходило, когда касательные напряжения в швах незначительно превышали расчетные сопротивления скалыванию между слоями шпона [5, 6].

Подобный характер разрушения клефанерных балок описан в работе Л.И. Григорьевой [2]. Здесь, при испытании балок двутаврового сечения, разрушение нередко сопровождалось расслоением фанеры в зоне верхнего пояса вблизи опоры.

Разрушение фанерной стенки от расслоения шпона со скалыванием является характерным для клефанерных балок. Традиционный расчет этих конструкций включает проверку касательных напряжений между слоями шпона фанеры в зоне приклейки поясов. Очевидно, что такой проверки недостаточно. По нашему мнению, причиной разрушения в указанных клеевых швах являются не только касательные напряжения.

Преждевременное разрушение фанерной стенки в КФК всегда наступает в зоне со сложным напряженно-деформированным состоянием (НДС). Для балок и рам опорная зона характерна тем, что здесь действуют нормальные напряжения от изгибающего момента, касательные напряжения от поперечной силы, а также местные нормальные напряжения от поперечной опорной реакции и возможной сосредоточенной полезной нагрузки (например, от прогонов).

Примем следующую ориентацию осей координат: ось  $X$  (как обычно) направим вдоль балки, ось  $Y$  – нормально к оси  $X$  в срединной плоскости балки, параллельной плоскостям фанерных стенок, ось  $Z$  – перпендикулярно этим плоскостям.

Расслоение фанеры можно объяснить наличием деформаций и напряжений, действующих в фанерной стенке не только по осям  $X$  и  $Y$ , но и вдоль оси  $Z$ . Так как нагрузки и опорные реакции, действующие на балку, расположены только в плоскости  $XY$  (по оси  $Z$  нагрузки не действуют), деформации вдоль оси  $Z$  являются поперечными при продольных усилиях по осям  $X$ ,  $Y$  и в первом приближении могут быть определены через коэффициент Пуассона. Эти деформации можно объяснить свойством твердых тел деформироваться не только в направлении приложенных сил, но и в поперечных направлениях. Интересующие нас деформации растяжения фанеры по оси  $Z$  будут максимальными при сжатии по осям  $X$  и  $Y$ . В этом состоянии находится фанерная стенка в зоне верхнего пояса, где двухосное сжатие в плоскости  $XY$  обеспечено напряжениями  $\sigma_x$  и  $\sigma_y$ .

Нормальное напряжение при изгибе  $\sigma_x$  достигает наибольшей величины на кромках верхнего и нижнего поясов балки.

Напряжение  $\sigma_y$  – это местное нормальное напряжение от нагрузки, непосредственно приложенной к балке. Если нагрузка на балку передается через прогоны, т. е. в виде сосредоточенных сил, то точки приложения этих

Рис. 1. Особенность разрушения фанерных стенок в КФК

сил будут точками концентрации напряжения  $\sigma_y$ . В настоящее время нормальные напряжения  $\sigma_y$  в расчете клефанерных балок не учитывают. Если балка нагружена сосредоточенными силами, то рекомендуется устанавливать их над ребрами жесткости. Можно предположить, что ребра жесткости полностью воспринимают напряжения  $\sigma_y$ . Однако это утверждение не совсем верно.

На рис. 2 изображен верхний пояс клефанерной балки с приложенной нагрузкой  $P$ .

Рассмотрим точку А, она находится в зоне контакта верхнего пояса и ребра жесткости. В продольном сечении по зоне контакта (1-1) из всех элементов непрерывной является только фанерная стенка. В месте стыковки ребра жесткости и пояса обеспечить плотный контакт довольно трудно. Для этого необходимо заполнить безусадочным клеем зону контакта ребра жест-

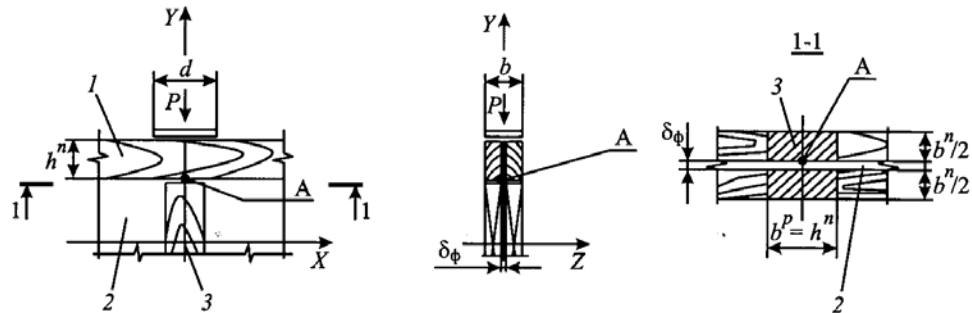


Рис. 2. Фрагмент верхнего пояса клефанерной балки с приложенной сосредоточенной нагрузкой  $P$

кости и пояса, но при изготовлении КФК это не выполняется. Если даже обеспечить плотный контакт в указанном стыке, напряжения в точке А распределяются между элементами сечения пропорционально жесткостям материалов.

Древесина поясов в точке А работает на смятие поперек волокон, фанера – на сжатие поперек волокон наружных слоев. Как известно, при определении напряжения в КФК необходимо рассматривать приведенные характеристики сечения. Для нахождения напряжения  $\sigma_y$  удобно использовать приведенную ширину сечения. Ширину сечения 1-1, приведенную к фанере  $b^{пр.ф}$ , определяют по формуле

$$b^{пр.ф} = \sum \delta_{\phi} + b_n \frac{E_{д90}}{E_{ф90}}, \quad (1)$$

где  $\delta_{\phi}$  – см. рис. 2;

$E_{д90}$  – модуль упругости древесины поперек волокон,  $E_{д90} = 400$  МПа (по СНиП [7]);

$E_{ф90}$  – модуль упругости фанеры в направлении поперек волокон наружных слоев,  $E_{ф90} = 6000$  МПа (по СНиП [7]).

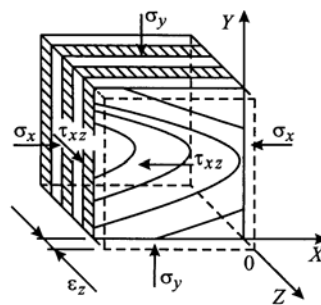


Жесткость фанеры в направлении поперек волокон наружных слоев в 15 раз больше, чем древесины поперек волокон. Это объясняется ее структурой (перекрестным расположением слоев шпона). Верхний пояс балки – это система, состоящая из материалов с разными модулями упругости, деформация их одинакова, поэтому напряжение в более жестком материале будет существенно больше.

Таким образом, можно сделать вывод о том, что нормальные напряжения  $\sigma_y$  в клефанерных балках в зоне, ограниченной высотой пояса (от верха (или низа) балки до начала ребра жесткости), воспринимаются в основном фанерной стенкой. Фанера оказывается в состоянии сжатия не только по оси  $X$ , но и по оси  $Y$ .

НДС фанерной стенки в точке А, расположенной в зоне контакта верхнего пояса и ребра жесткости, показано на рис. 3.

Рис. 3. Напряженно-деформированное состояние фанерной стенки в точке А



Фанера в точке А находится в состоянии двухосного сжатия по осям  $X$  и  $Y$  (напряжения  $\sigma_x$ ,  $\sigma_y$ ) и скалывания между слоями шпона (напряжение  $\tau_{xz}$ ).

Под действием продольного сжатия материал приобретает поперечные деформации

$$\varepsilon_z = -\mu_{xz} \frac{\sigma_x}{E_x} - \mu_{yz} \frac{\sigma_y}{E_y}. \quad (2)$$

Они могут приводить к расслоению фанеры, часто наблюдаемому при разрушении КФК. Для оценки опасности поперечных деформаций  $\varepsilon_z$  целесообразно выразить их через напряжения

$$\sigma_z = -\mu_{xz} \frac{E_z}{E_x} \sigma_x - \mu_{yz} \frac{E_z}{E_y} \sigma_y. \quad (3)$$

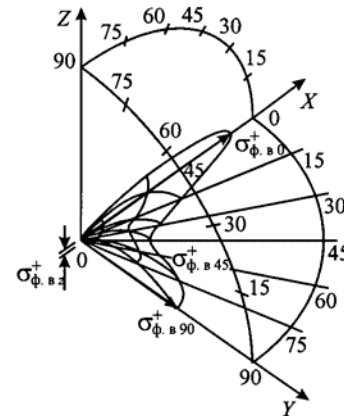
Величины модулей упругости  $E_x$ ,  $E_y$  и  $E_z$  определены для фанеры. Для фанеры марки ФСФ по данным Е.К. Ашкенази [1]  $E_x = 10900$  МПа,  $E_y = 8700$  МПа. Величина модуля упругости  $E_z$  исследована в работе И.М. Гуськова (МИСИ) [4]:  $E_z = 790$  МПа. Пользуясь результатами исследований И.М. Гуськова [3] можно косвенно оценить величины коэффициентов Пуассона в направлении из плоскости листа: в первом приближении:  $\mu_{xz} = 0,59$ ;  $\mu_{yz} = 0,43$ .

После подстановки численных значений упругих характеристик выражение (3) примет следующий вид:

$$\sigma_z = -0,043\sigma_x - 0,039\sigma_y. \quad (4)$$

Величина напряжения  $\sigma_z$  очевидно мала. Однако следует помнить, что фанера является резко анизотропным материалом и, имея высокие прочностные характеристики в плоскости листа ( $X, Y$ ), обладает малыми сопротивлениями в направлении из плоскости листа по оси  $Z$ . Главной особенностью расчета конструкций из сильно анизотропного материала является то, что одних проверок по максимальным напряжениям недостаточно. Более опасными часто оказываются напряжения меньшие по величине, но действующие в направлениях существенно меньшего сопротивления. Это наиболее важная черта конструкций из анизотропного материала всегда акценти-

Рис. 4. Предполагаемый вид поверхности анизотропии прочности фанеры на растяжение в полярных координатах



ровалась в работах кафедры конструкций из дерева и пластмасс СПбГАСУ (ЛИСИ).

Основная проблема, возникающая при оценке опасности растягивающего напряжения  $\sigma_z$ , – отсутствие в нормативной литературе характеристики расчетного сопротивления фанеры растяжению из плоскости листа. Очевидно только то, что величина этого сопротивления очень мала. Это объясняется тем, что древесина фанерного шпона в направлении из плоскости листа по оси  $Z$  практически всегда работает в радиальном направлении (учитывая технологию лущения шпона). Кроме того, характерно, особенно для толстого шпона, наличие трещин, образованных при лущении. Эти трещины часто не заполняются полностью клеем и уменьшают рабочую площадь плоскости отрыва ( $XU$ ). Для производства фанеры характерна односторонняя намазка клеем листов шпона, что также является причиной непрочлея и неполного заполнения трещин шпона.

На рис. 4 изображена поверхность анизотропии прочности фанеры на растяжение в полярных координатах. Так как прочность фанеры на растяжение из плоскости листа неизвестна, но, исходя из свойств цельной дре-

веса, является малой величиной, на рис. 4 изображен скорее характер поверхности анизотропии прочности.

Как видно из рис. 4, в направлении оси  $Z$  (нормальное направление к плоскости листа) фанера обладает наименьшим сопротивлением. Это означает, что даже самые маленькие напряжения в этом направлении могут стать причиной разрушения конструкции.

Расслоение фанерной стенки опасно именно у опор, так как здесь, в зоне приклейки поясов, дополнительно действуют скалывающие напряжения между слоями шпона  $\tau_{zx}$ . Таким образом, совместное действие отрыва со скалыванием – причина охарактеризованного выше разрушения фанерных стенок КФК. Именно отрыв, по нашему мнению, является решающим фактором при разрушении фанеры, когда напряжения скалывания, действующие в зоне приклейки поясов, даже не превышают расчетного сопротивления фанеры скалыванию между слоями шпона.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Ашкенази, Е.К.* Анизотропия конструкционных материалов [Текст]: справ. / Е.К. Ашкенази, Э.В. Ганов. – Л.: Машиностроение, 1980. – 247 с.
2. *Григорьева, Л.Н.* Напряженно-деформированное состояние опорной зоны клефанерной балки двутаврового сечения с параллельными поясами [Текст]: автореф. дис. ... канд. техн. наук / Григорьева Л.Н. – М., 1986. – 20 с.
3. *Гуськов, И.М.* Коэффициент поперечной деформации строительной фанеры, при сжатии равномерно распределенной нагрузкой, нормальной к плоскости листа [Текст] / И.М. Гуськов // Сб. тр. МИСИ. – 1971. – № 76. – С. 27–33.
4. *Гуськов, И.М.* Модуль упругости строительной фанеры при сжатии равномерно распределенной нагрузкой, нормальной к плоскости листа [Текст] / И.М. Гуськов // Сб. тр. МИСИ. – 1971. – № 76. – С. 17–27.
5. *Корзон, С.А.* Некоторые вопросы экспериментального исследования клефанерных балок [Текст] / С.А. Корзон, Е.И. Светозарова, Е.Н. Серов // Повышение надежности и долговечности строительных конструкций: межвуз. темат. науч.-техн. сб. / ЛИСИ. – Л., 1972. – № 2. – С. 85–92.
6. *Светозарова, Е.И.* Экспериментальное исследование узлов клефанерных рам, разработанных ЛИСИ [Текст] / Е.И. Светозарова, Е.Н. Серов // Конструкции с применением пластических масс: докл. XXIV науч. конф. / ЛИСИ. – Л., 1966. – С. 56–58.
7. СНиП II-25-80. Деревянные конструкции [Текст]. – М.: Стройиздат, 1982. – 66 с.

С.-Петербургский государственный  
архитектурно-строительный университет

Поступила 27.03.06

*E.N. Serov, S.A. Labutov*

Saint-Petersburg State University of Architecture and Civil Engineering

---

---

### **Tension Distribution on Supports of Glue-Plywood Structure**

Peculiarity of tension distribution in glue-plywood structures is considered, the necessity of lateral deformations assessment of plywood sheet lamination is pointed out, the necessity of studying the value of plywood resistance to extension from sheet plane is questioned.

Keywords: glue-plywood structures, tension-deformed state, design resistance of plywood, strength anisotropy.

---

---

УДК 621.935

**И.И. Иванкин, Г.Ф. Прокофьев, А.А. Банников**

Иванкин Илья Игоревич родился в 1971 г., окончил в 1994 г. Архангельский лесотехнический институт, кандидат технических наук, доцент кафедры робототехнических систем, машин и оборудования лесного комплекса, проректор по информационным технологиям Архангельского государственного технического университета. Имеет более 60 печатных работ в области совершенствования лесопильного оборудования и инструмента.



Прокофьев Геннадий Федорович родился в 1940 г., окончил в 1964 г. Архангельский лесотехнический институт, профессор, доктор технических наук, профессор кафедры прикладной механики и основ конструирования Архангельского государственного технического университета, действительный член РАЕН. Имеет более 250 печатных работ в области прикладной механики и интенсификации переработки древесины путем совершенствования лесопильного оборудования и дереворежущего инструмента.



Банников Анатолий Анатольевич родился в 1971 г., окончил в 1996 г. Архангельский лесотехнический институт, кандидат технических наук, доцент кафедры прикладной механики и основ конструирования Архангельского государственного технического университета. Имеет более 10 печатных работ в области совершенствования лесопильного оборудования и инструмента.

**НАЧАЛЬНАЯ ЖЕСТКОСТЬ ПОЛОСОВЫХ ПИЛ.  
ОБЩИЙ СЛУЧАЙ**

Получены формулы для определения начальной жесткости полосовых пил энергетическим методом с учетом эксцентриситета линии натяжения и начального напряженного состояния, создаваемого вальцеванием, а также формулы для расчета критического и оптимального относительных эксцентриситетов линии натяжения.

*Ключевые слова:* начальная жесткость, полосовая пила, эксцентриситет линии натяжения, начальное напряженное состояние.

В лесопилении для распиловки бревен и брусьев широко применяют ленточнопильные станки и лесопильные рамы, у которых в качестве режущего инструмента установлены пилы, представляющие собой в зоне резания стальные полосы с насеченными на одной из кромок зубьями.

Целью данной статьи является вывод формул для определения начальной жесткости полосовой пилы с учетом эксцентриситета линии натяжения и начального напряженного состояния, создаваемого вальцеванием.

Производительность и качество пиления в значительной степени зависят от точности получаемых пиломатериалов. Для ее повышения необходимо, с одной стороны, уменьшать силы, действующие на пилу, с другой – повышать способность пил противодействовать этим силам [3].

Способность пил противодействовать боковым силам характеризуется их жесткостью. Следует различать три вида жесткости пилы [3]: собственная жесткость  $j_c$  – жесткость пилы, не растянутой внешними силами; начальная жесткость  $j_n$  – жесткость растянутой пилы при отсутствии сил резания; рабочая жесткость  $j_p$  – жесткость пилы в работе при воздействии на нее сил сопротивления резанию.

Собственная жесткость пил зависит от размеров поперечного сечения, свободной длины и начального напряженного состояния. Начальное напряженное состояние пилы можно получить вальцеванием или термопластической обработкой.

Для определения рабочей жесткости пилы, по которой оценивают точность пиления [3], необходимо знать ее начальную жесткость.

Начальная жесткость пилы определяет какую боковую силу  $Q$  необходимо приложить к ней, чтобы отклонить ее на 1 мм в месте приложения силы (у режущей кромки на середине свободной длины пилы). Отсюда следует, что для определения начальной жесткости необходимо знать величину прогиба растянутой пилы  $w$  под действием боковой силы  $Q$ :

$$j_n = \frac{Q}{w}. \quad (1)$$

В работе [6] с использованием энергетического метода Рэлея–Ритца выполнено теоретическое определение начальной жесткости полосовых пил. Для нахождения неопределенных параметров  $(a_k, b_k, c_k, d_k)$ , входящих в ряд, выражающий прогиб пилы, на ЭВМ было решено  $n$  систем четырех уравнений, далее определены прогиб и начальная жесткость пилы. Недостатками этого метода являются отсутствие конечной формулы для расчета начальной жесткости и относительная сложность.

В работе [7] на основании энергетического метода в постановке проф. С.П. Тимошенко [8, 9] была получена формула для определения начальной жесткости полосовой пилы при сосредоточенной нагрузке, а в работе [2] – при распределенной нагрузке. В работе [5] выполнены теоретические исследования начальной жесткости полосовых пил при сосредоточенной нагрузке с учетом зазора между пилой и направляющими.

Общий недостаток вышеперечисленных работ – определение начальной жесткости полосовой пилы без учета эксцентриситета линии натяжения и начального напряженного состояния пилы.

Рассмотрим расчетную схему (рис. 1) для определения прогибов пилы при сосредоточенной нагрузке.

Провальцованная пила, имеющая толщину  $s$ , ширину полотна  $b$  и свободную длину (расстояние между опорами)  $l$ , растянута силой  $N$ , приложенной с эксцентриситетом  $e$  относительно оси симметрии полотна пилы. Боковая сила  $Q$  действует в точке  $a$ , имеющей координаты  $x_a, y_a, z_a$ . Прогиб пилы определим в точке  $c$  с координатами  $x, y, z$ , используя энергетический метод [8, 9].

Потенциальная энергия деформации пилы  $U$  складывается из потенциальных энергий растяжения  $U_p$ , изгиба  $U_{из}$  и кручения  $U_{кр}$  [9]:

$$U = U_p + U_{из} + U_{кр} = \frac{1}{2} \int_0^l \int_{-b/2}^{b/2} N_x \left( \frac{\partial w}{\partial z} \right)^2 dx dz + \frac{B}{2} \int_0^l \left( \frac{d^2 u}{dz^2} \right)^2 dz + \frac{C}{2} \int_0^l \left( \frac{d\beta}{dz} \right)^2 dz, \quad (2)$$

где  $N_x$  – нормальные усилия от действия силы растяжения  $N$  и вальцевания, приходящиеся на единицу ширины полотна пилы, Н/мм;

$B = EJ_x$  – жесткость пилы при изгибе, Н·мм<sup>2</sup>;

$E$  – модуль упругости материала пилы, МПа;

$J_x = bs^3/12$  – момент инерции сечения пилы при изгибе, мм<sup>4</sup>;

$u$  – прогиб оси сечения пилы при изгибе, мм;

$C = GJ_p$  – жесткость пилы при кручении, Н·мм<sup>2</sup>;

$G$  – модуль сдвига материала пилы, МПа;

$J_p$  – момент инерции сечения пилы при кручении, мм<sup>4</sup>;

$\beta$  – угол поворота сечения пилы при кручении, рад.

Деформация полотна пилы складывается из прогиба продольной оси пилы и поворота сечения пилы вокруг нее (рис. 1).

Нормальные усилия от действия силы растяжения и от вальцевания, приходящиеся на единицу ширины полотна пилы,

$$N_x = \sigma_N s + \sigma_{вал} s, \quad (3)$$

где  $\sigma_N$  – напряжения от действия силы  $N$ , Н/мм<sup>2</sup>;

$\sigma_{вал}$  – напряжения от начального напряженного состояния (вальцевания пилы), Н/мм<sup>2</sup>.

Продольная сила  $N$  приложена с эксцентриситетом, поэтому

$$\sigma_N = \frac{N}{bs} + \frac{Nex}{J_y}, \quad (4)$$

где  $J_y = sb^3/12$  – момент инерции сечения пилы при изгибе от эксцентриситета приложения силы  $N$ , мм<sup>4</sup>.

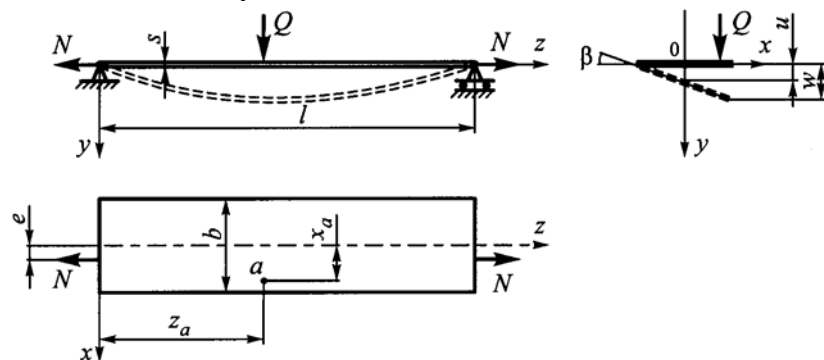


Рис. 1. Расчетная схема для определения прогибов пилы при сосредоточенной нагрузке

В формуле (4) первое слагаемое – напряжения растяжения от действия силы  $N$ , приложенной к оси симметрии полотна пилы, второе – напряжения изгиба от эксцентриситета приложения силы  $N$ .

После подстановки в (4) относительного эксцентриситета  $\varepsilon = e/b$  и момента инерции сечения пилы  $J_y$  получаем

$$\sigma_N = \frac{N}{bs} + \frac{12N \varepsilon x}{sb^2}. \quad (5)$$

Рассмотрим методику [4] определения напряжений от начального напряженного состояния (вальцевания) пилы  $\sigma_{\text{вал}}$ .

При вальцевании пила получает начальные напряжения, которые, очевидно, должны повлиять на ее начальную жесткость. Примем, что пила до вальцевания не имела начальных напряжений, а нормальные напряжения от вальцевания подчиняются параболическому закону.

Эпюра напряжений от вальцевания приведена на рис. 2. В результате вальцевания максимальные растягивающие напряжения  $\sigma_{\text{max}}$  возникают у передней и задней кромок, минимальные  $\sigma_{\text{min}}$  – в середине полосы пилы. Степень вальцевания характеризуется величиной

$$\Delta\sigma = \sigma_{\text{max}} + \sigma_{\text{min}}.$$

Согласно исследованиям проф. А.Э. Грубе [1], величина  $\Delta\sigma$ , Н/мм<sup>2</sup>, находится в прямой зависимости от стрелы прогиба  $f$  поперечного сечения полотна пилы и может быть определена по формуле

$$\Delta\sigma = \frac{f}{R} E, \quad (6)$$

где  $R$  – радиус окружности изгиба пилы, мм.

Напряжение на расстоянии  $x$  от оси симметрии выразим уравнением

$$\sigma_x = ax^2 - \sigma_{\text{min}}.$$

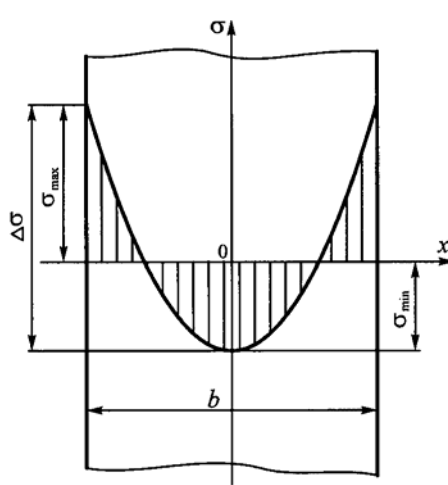


Рис. 2. Эпюра напряжений от вальцевания



Определим коэффициент  $a$ . При  $x = \pm b/2$  напряжение  $\sigma_x = \sigma_{\max}$ , тогда

$$\sigma_{\max} = \frac{ab^2}{4} - \sigma_{\min}.$$

Откуда

$$a = \frac{4(\sigma_{\max} + \sigma_{\min})}{b^2} = \frac{4\Delta\sigma}{b^2};$$

$$\sigma_x = 4\frac{\Delta\sigma}{b^2}x^2 - \sigma_{\min}. \quad (7)$$

Так как провальцованная пила находится в равновесии, растягивающие напряжения уравниваются сжимающими, т. е.

$$2\int_0^{\frac{b}{2}} \sigma_x dx = 0;$$

$$2\int_0^{\frac{b}{2}} \left(4\frac{\Delta\sigma}{b^2}x^2 - \sigma_{\min}\right) dx = 8\frac{\Delta\sigma}{b^2}\frac{b^3}{24} - \frac{2\sigma_{\min}b}{2} = \frac{\Delta\sigma}{3}b - \sigma_{\min}b = 0; \quad \sigma_{\min} = \frac{\Delta\sigma}{3}. \quad (8)$$

Подставим (8) в уравнение (7):

$$\sigma_{\text{вал}} = \sigma_x = 4\frac{\Delta\sigma}{b^2}x^2 - \frac{\Delta\sigma}{3} = \Delta\sigma\left(\frac{4}{b^2}x^2 - \frac{1}{3}\right). \quad (9)$$

После подстановки выражений (5) и (9) в (3) получим

$$N_x = \frac{N}{b}\left(1 + \frac{12N \partial x}{b}\right) + \Delta\sigma s\left(\frac{4}{b^2}x^2 - \frac{1}{3}\right). \quad (10)$$

Выразим прогиб оси сечения пила на расстоянии  $z$  от одного из концов, принятого за начало координат, как

$$u = \sum_{n=1}^{n=\infty} \bar{u}_n \sin \frac{n\pi z}{l}, \quad (11)$$

а угол поворота сечения пила, расположенного на расстоянии  $z$  от одного из концов, как

$$\beta = \sum_{n=1}^{n=\infty} \bar{\beta}_n \sin \frac{n\pi z}{l}. \quad (12)$$

Тогда прогиб любой точки пила определим по формуле

$$w = u + \beta x = \sum_{n=1}^{n=\infty} \left( \bar{u}_n \sin \frac{n\pi z}{l} + \bar{\beta}_n x \sin \frac{n\pi z}{l} \right). \quad (13)$$

Подставив выражения (10) – (13) в (2) и выполнив соответствующие преобразования, получим уравнение для определения потенциальной энергии деформации пила:

$$U = N \frac{\pi^2}{4l} \sum_{n=1}^{n=\infty} n^2 \left( \bar{u}_n^2 + \bar{\beta}_n^2 \frac{b^2}{12} \right) + \frac{\pi^4}{4l^3} B \sum_{n=1}^{n=\infty} n^4 \bar{u}_n^2 + \frac{\pi^2}{4l} C \sum_{n=1}^{n=\infty} n^2 \bar{\beta}_n^2 + \frac{\pi^2 b}{2l} \sum_{n=1}^{n=\infty} n^2 \left( N \varepsilon \bar{u}_n \bar{\beta}_n + \frac{1}{90} \Delta \sigma s b^2 \bar{\beta}_n^2 \right). \quad (14)$$

Известно, что в случае устойчивого равновесия полная потенциальная энергия системы  $\Pi$  минимальна. Полная потенциальная энергия пилы, отклоненной под действием силы  $Q$ :

$$\Pi = U - W, \quad (15)$$

где  $W$  – потенциальная энергия внешней нагрузки равна работе, совершаемой силой  $Q$ :

$$W = Q \sum_{n=1}^{n=\infty} \left( \bar{u}_n \sin \frac{n\pi z_a}{l} + \bar{\beta}_n x_a \sin \frac{n\pi z_a}{l} \right). \quad (16)$$

Полная потенциальная энергия системы

$$\Pi = N \frac{\pi^2}{4l} \sum_{n=1}^{n=\infty} n^2 \left( \bar{u}_n^2 + \bar{\beta}_n^2 \frac{b^2}{12} \right) + \frac{\pi^4}{4l^3} B \sum_{n=1}^{n=\infty} n^4 \bar{u}_n^2 + \frac{\pi^2}{4l} C \sum_{n=1}^{n=\infty} n^2 \bar{\beta}_n^2 + \frac{\pi^2 b}{2l} \times \sum_{n=1}^{n=\infty} n^2 \left( N \varepsilon \bar{u}_n \bar{\beta}_n + \frac{1}{90} \Delta \sigma s b^2 \bar{\beta}_n^2 \right) - Q \sum_{n=1}^{n=\infty} \left( \bar{u}_n \sin \frac{n\pi z_a}{l} + \bar{\beta}_n x_a \sin \frac{n\pi z_a}{l} \right). \quad (17)$$

В случае устойчивого равновесия будем иметь систему уравнений

$$\left. \begin{aligned} \frac{\partial \Pi}{\partial \bar{u}_n} &= \frac{n^2 \pi^2}{2l} \left( \frac{n^2 \pi^2 B}{l^2} + N + \frac{Nb \varepsilon \bar{\beta}_n}{\bar{u}_n} \right) - Q \sin \frac{n\pi z_a}{l} = 0; \\ \frac{\partial \Pi}{\partial \bar{\beta}_n} &= \frac{n^2 \pi^2}{2l} \left( C + \frac{Nb^2}{12} + \frac{Nb \varepsilon \bar{u}_n}{\bar{\beta}_n} + \frac{\Delta \sigma s b^3}{45} \right) - Q x_a \sin \frac{n\pi z_a}{l} = 0. \end{aligned} \right\} \quad (18)$$

После решения и преобразований системы (18) получим

$$\bar{u}_n = \frac{2Ql^3 \left( \frac{Nb^2}{12} - Nb \varepsilon x_a + C + \frac{\Delta \sigma s b^3}{45} \right) \sin \frac{n\pi z_a}{l}}{n^2 \pi^2 \left[ \frac{Nb^2}{12} B n^2 \pi^2 + N^2 b^2 l^2 \left( \frac{1}{12} - \varepsilon^2 \right) + \left( \frac{\Delta \sigma s b^3}{45} + C \right) (B n^2 \pi^2 + N l^2) \right]}; \quad (19)$$

$$\bar{\beta}_n = \frac{2Ql (B n^2 \pi^2 x_a + N l^2 [x_a - \varepsilon b]) \sin \frac{n\pi z_a}{l}}{n^2 \pi^2 \left[ \frac{Nb^2}{12} B n^2 \pi^2 + N^2 b^2 l^2 \left( \frac{1}{12} - \varepsilon^2 \right) + \left( \frac{\Delta \sigma s b^3}{45} + C \right) (B n^2 \pi^2 + N l^2) \right]}. \quad (20)$$

После подстановки (19) и (20) в (13) получим следующую формулу для определения прогибов пилы:

$$w = \frac{2Ql}{\pi^2} \sum_{n=1}^{n=\infty} \left\{ \frac{l^2 \left( \frac{Nb^2}{12} - Nb\vartheta x_a + C + \frac{\Delta\sigma sb^3}{45} \right) + x \left( Bn^2\pi^2 x_a + Nl^2[x_a - \vartheta b] \right)}{n^2 \left[ \frac{Nb^2}{12} Bn^2\pi^2 + N^2 b^2 l^2 \left( \frac{1}{12} - \vartheta^2 \right) + \left( \frac{\Delta\sigma sb^3}{45} + C \right) \left( Bn^2\pi^2 + Nl^2 \right) \right]} \times \right. \\ \left. \times \sin \frac{n\pi z_a}{l} \sin \frac{n\pi z}{l} \right\}. \quad (21)$$

С учетом выражения (1) для случая, имеющего практическое значение, когда прогиб определяется в точке действия боковой силы  $Q$ , которая приложена к кромке пилы ( $x = x_a = b/2$ ) на середине ее свободной длины ( $z = z_a = l/2$ ), получим формулу для начальной жесткости полосовой пилы при сосредоточенной нагрузке:

$$j_n = \frac{1}{\frac{2l}{\pi^2} \sum_{n=1,3,5,\dots}^{n=\infty} \frac{l^2 \left( \frac{Nb^2}{12} [1 - 6\vartheta] + C + \frac{\Delta\sigma sb^3}{45} \right) + \frac{b^2}{4} \left( Bn^2\pi^2 + Nl^2 [1 - 2\vartheta] \right)}{n^2 \left[ \frac{Nb^2}{12} Bn^2\pi^2 + N^2 b^2 l^2 \left( \frac{1}{12} - \vartheta^2 \right) + \left( \frac{\Delta\sigma sb^3}{45} + C \right) \left( Bn^2\pi^2 + Nl^2 \right) \right]}. \quad (22)$$

Расчетная схема для определения прогибов пилы при распределенной нагрузке приведена на рис. 3.

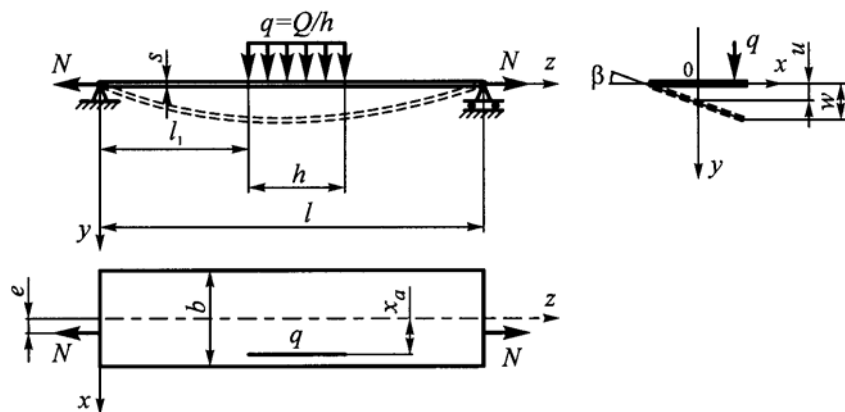


Рис. 3. Расчетная схема для определения прогибов пилы при распределенной нагрузке

Полный прогиб пилы при распределенной нагрузке можно определить из выражения (21) после его интегрирования по  $z_a = l_1 \dots (l_1 + h)$ :

$$w = \frac{2ql^2}{\pi^3} \sum_{n=1}^{\infty} \left\{ \frac{l^2 \left( \frac{Nb^2}{12} - \frac{Nb^2 \vartheta}{2} + C + \frac{\Delta \sigma s b^3}{45} \right) + x (Bn^2 \pi^2 x_a + Nl^2 [x_a - \vartheta b])}{n^3 \left[ \frac{Nb^2}{12} Bn^2 \pi^2 + N^2 b^2 l^2 \left( \frac{1}{12} - \vartheta^2 \right) + \left( \frac{\Delta \sigma s b^3}{45} + C \right) (Bn^2 \pi^2 + Nl^2) \right]} \times \right. \\ \left. \times \left( \cos \frac{n\pi l_1}{l} - \cos \frac{n\pi (l_1 + h)}{l} \right) \sin \frac{n\pi z}{l} \right\}, \quad (23)$$

где  $q$  – распределенная нагрузка, Н/мм,  $q = Q/h$ ;

$h$  – протяженность распределенной нагрузки (высота пропила), мм;

$l_1$  – расстояние от левой опоры до начала действия распределенной нагрузки, мм.

С учетом выражения (1) для случая, имеющего практическое значение, когда распределенная нагрузка  $q$  приложена к кромке пилы ( $x_a = b/2$ ), а прогиб  $w$  определяется в точке  $x = x_a$ ,  $z = (l_1 + h/2)$ , получим формулу для определения начальной жесткости полосовой пилы при распределенной нагрузке:

$$j_n = \frac{1}{\frac{2l^2}{\pi^3 h} \sum_{n=1,3,5,\dots}^{\infty} \left\{ \frac{l^2 \left( \frac{Nb^2}{12} - \frac{Nb^2 \vartheta}{2} + C + \frac{\Delta \sigma s b^3}{45} \right) + \frac{b^2}{4} (Bn^2 \pi^2 + Nl^2 [1 - 2\vartheta])}{n^3 \left[ \frac{Nb^2}{12} Bn^2 \pi^2 + N^2 b^2 l^2 \left( \frac{1}{12} - \vartheta^2 \right) + \left( \frac{\Delta \sigma s b^3}{45} + C \right) (Bn^2 \pi^2 + Nl^2) \right]} \times \right.} \\ \left. \times \left( \cos \frac{n\pi l_1}{l} - \cos \frac{n\pi (l_1 + h)}{l} \right) \sin \frac{n\pi (l_1 + h/2)}{l} \right\}}. \quad (24)$$

Анализируя формулы (22) и (24), можно оценить влияние различных факторов на начальную жесткость полосовых пил и показать пути ее повышения.

Пусть имеем следующие параметры ленточной пилы:  $l = 400$  мм,  $s = 1$  мм,  $N = 5000$  Н,  $b = 110$  мм,  $E = 2,15 \cdot 10^5$  МПа,  $G = 8,1 \cdot 10^4$  МПа,  $\vartheta = 0$ ,  $\Delta \sigma = 0$ ,  $h = 1$ . После их подстановки в формулу (24) с учетом только первых четырех членов ряда ( $n = 1, 3, 5, 7$ ) получим  $j_n = 18,6$  Н/мм, а при  $n = 1, 3, 5 \dots 1001 - j_n = 17,9$  Н/мм. Таким образом, погрешность составляет 3,8 %, что приемлемо для практических целей.

Результаты расчетов показывают большое влияние на начальную жесткость пилы распределения нагрузки. Замена распределенной нагрузки по высоте пропила на сосредоточенную дает погрешность в определении начальной жесткости, которая может достигать 40 ... 50 %. Например, при  $h = l = 400$  мм для приведенных выше параметров ленточной пилы  $j_n = 34,9$  Н/мм.

Относительный эксцентриситет	Начальная жесткость ленточной пилы, Н/мм, при силе натяжения, кН		
	40	50	60
0,00	61,5	73,0	84,4
0,05	69,4	82,6	95,6
0,10	76,9	91,5	106,0
0,15	83,8	99,5	115,0
0,20	89,6	105,5	121,5
0,25	93,1	108,1	122,1
0,30	90,4	98,6	104,0

Формулу (22) можно использовать для оценки относительной эффективности мероприятий, направленных на повышение начальной жесткости полосовых пил. При расчете режимов пиления древесины необходимо учитывать распределение по высоте пропила действующей на пилу нагрузки.

Большим резервом повышения начальной жесткости полосовых пил является установка их с эксцентриситетом линии натяжения, так как она не требует никаких затрат, но дает значительный эффект.

Рассмотрим начальную жесткость рамной пилы со следующими параметрами:  $E = 2,15 \cdot 10^5$  МПа,  $G = 8,1 \cdot 10^4$  МПа,  $l = 1000$  мм,  $b = 150$  мм,  $s = 2,2$  мм. Напряжения от вальцевания не учитывают (разности внутренних напряжений у режущей кромки и в центре пилы  $\Delta\sigma = 0$ ),  $h = 200$  мм,  $l_1 = (l - h)/2$ . В таблице приведены результаты расчетов начальной жесткости  $j_n$  этой пилы в зависимости от относительного эксцентриситета линии натяжения при силе натяжения 40, 50 и 60 кН.

На рис. 4 по данным таблицы построены графики зависимости начальной жесткости рамной пилы  $j_n$  от относительного эксцентриситета линии натяжения  $\varepsilon$  и силы натяжения  $N$ .

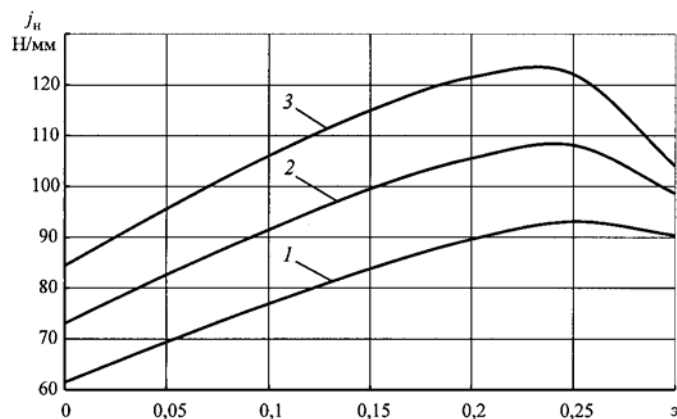


Рис. 4. Зависимость начальной жесткости рамной пилы  $j_n$  от относительного эксцентриситета линии натяжения  $\varepsilon$  ( $l = 1000$  мм,  $b = 150$  мм,  $s = 2,2$  мм,  $h = 200$  мм,  $l_1 = (l - h)/2$ )

Анализ рис. 4 показал, что с увеличением относительного эксцентриситета линии натяжения начальная жесткость сначала возрастает, а затем при достижении некоторого оптимального значения  $\varepsilon_{\text{опт}}$  падает, достигая нулевого значения, когда относительный эксцентриситет принимает критическое значение  $\varepsilon_{\text{кр}}$ .

Из формулы (22) можно получить выражение для определения критического и оптимального относительных эксцентриситетов.

Приравняв выражение (22) нулю, выразим  $\varepsilon_{\text{кр}}$ :

$$\varepsilon_{\text{кр}} = \sqrt{\frac{1}{12} \frac{\pi^2 B}{N l^2} + \frac{1}{12} + \frac{\pi^2 C B}{N^2 b^2 l^2} + \frac{C}{N b^2} + \frac{1}{45} \frac{\Delta \sigma s b (\pi^2 B + N l^2)}{N^2 l^2}}. \quad (25)$$

Если пренебречь слагаемыми  $\frac{1}{12} \frac{\pi^2 B}{N l^2}$  и  $\frac{\pi^2 C B}{N^2 b^2 l^2}$  ввиду их малости и не учитывать напряжения от вальцевания  $\Delta \sigma$ , формула (25) примет следующий вид:

$$\varepsilon_{\text{кр}} = \sqrt{\frac{1}{12} + \frac{C}{N b^2}}.$$

Данная формула приведена в работе [3].

Оптимальный относительный эксцентриситет определим из выражения (22) после его дифференцирования по  $\varepsilon$ , т.е.  $\frac{d j_n}{d \varepsilon} = 0$ :

$$\varepsilon_{\text{опт}} = \frac{2 C}{N b^2} + \frac{1}{6} + \frac{2}{45} \frac{\Delta \sigma s b}{N}. \quad (26)$$

Установлено, что вальцевание полосовых пил оказывает положительное влияние на их устойчивость, но с увеличением натяжения это влияние уменьшается. Например, для рамной пилы с параметрами  $E = 2,15 \times 10^5$  МПа,  $G = 8,1 \cdot 10^4$  МПа,  $l = 1000$  мм,  $b = 150$  мм,  $s = 2,2$  мм,  $N = 40$  кН,  $h = 200$  мм,  $l_1 = (l - h)/2$  при  $\Delta \sigma = 0$  получим  $j_n = 73$  Н/мм, а при  $\Delta \sigma = 50$  МПа –  $j_n = 76$  Н/мм.

Есть предположение, что роль вальцевания заключается не только в повышении жесткости и устойчивости пил, но и в лучшей способности вальцованной пилы возвращаться в исходное положение при отклонении ее боковыми силами, т.е. совершать в пропилах волнообразное движение. Эта гипотеза будет авторами экспериментально проверена на создаваемой установке.

Приведенные материалы могут быть использованы для расчета режимов пиления древесины на ленточнопильных станках и лесопильных рамах, а также для определения путей их дальнейшего совершенствования.

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Грубе, А.Э. Дереворежущие инструменты [Текст]/ А.Э. Грубе. – М.: Гослесбумиздат, 1958. – 240 с.
2. Иванкин, И.И. Теоретические исследования начальной жесткости ленточных пил [Текст]/ 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 [Текст]/ Г.Ф. Прокофьев. – М.: Лесн. пром-сть, 1990. – 240 с.
4. Прокофьев, Г.Ф. Исследование влияния некоторых факторов на устойчивость рамных пил [Текст]: дис. ... канд. техн. наук / Г.Ф. Прокофьев. – Архангельск, 1970. – 146 с.
5. Прокофьев, Г.Ф. Исследование начальной жесткости полосовых пил [Текст]/ Г.Ф. Прокофьев, Н.И. Дундин, И.И. Иванкин // Лесн. журн. – 2001. – № 3. – С. 88 – 95. – (Изв. высш. учеб. заведений).
6. Прокофьев, Г.Ф. Начальная жесткость полосовых (ленточных и рамных) пил [Текст]/ Г.Ф. Прокофьев, Б.А. Ходерян, С.В. Ершов; ЦНИИМОД. – Архангельск, 1985. – 23 с. – Деп. в ВНИПИЭИлеспроме 17.06.1985, № 1589 л.б.
7. Прокофьев, Г.Ф. Теоретические исследования начальной жесткости ленточных и рамных пил [Текст]/ Г.Ф. Прокофьев, И.И. Иванкин // Охрана окружающей среды и рациональное использование природных ресурсов: сб. науч. тр./ АГТУ. – Архангельск, 1997. – Вып. 3. – С. 20–24.
8. Тимошенко, С.П. Сопротивление материалов [Текст]. Т. 2 / С.П. Тимошенко. – 3-е изд. – М.: Наука, 1965. – 480 с.
9. Тимошенко, С.П. Устойчивость упругих систем [Текст]/ С.П. Тимошенко. – 2-е изд. – М.: Гостехиздат, 1955. – 576 с.

Архангельский государственный  
технический университет

Поступила 13.02.07

*I.I. Ivankin, G.F. Prokofjev, A.A. Bannikov*

Arkhangelsk State Technical University

### **Initial Stiffness of Strip Saws. General Case**

Formulae for determining initial stiffness of strip saws by energetic method are obtained taking into account eccentricity of tension line and initial stress created by milling, as well as formulae for calculation of critical and optimal relative eccentricities of tension line.

Keywords: initial stiffness, strip saw, eccentricity of tension line, initial stress.

УДК 674.093.002.1

***Р.Е. Калитеевский, А.М. Артеменков, А.А. Тамби, А.В. Гаврюков***

Калитеевский Ростислав Евгеньевич родился в 1924 г., окончил Ленинградскую лесотехническую академию, доктор технических наук, профессор кафедры технологии деревообрабатывающих производств С.-Петербургской государственной лесотехнической академии, академик РАЕН, заслуженный деятель науки РФ. Имеет более 150 печатных работ в области технологий, оборудования и систем управления в лесопилении.



Артеменков Алексей Михайлович родился в 1977 г., окончил в 2000 г. С.-Петербургскую государственную лесотехническую академию, старший преподаватель кафедры технологии деревообрабатывающих производств СПбГЛТА. Имеет 5 печатных работ в области изучения процессов тепловой обработки и сушки древесины, планирования и организации технологических процессов в лесопилении, производства столярно-строительных изделий и их сертификации.



Тамби Александр Алексеевич окончил С.-Петербургскую государственную лесотехническую академию в 2006 г., в течение нескольких лет занимается научно-исследовательской работой в области производительности лесопильных цехов и предприятий, а также анализа инструкций и методик расчета производственной мощности лесопильных предприятий.



## **ОПРЕДЕЛЕНИЕ ПРОИЗВОДСТВЕННОЙ МОЩНОСТИ ЛЕСОПИЛЬНЫХ ПРЕДПРИЯТИЙ ПРИ ПРОЕКТИРОВАНИИ**

Приведен структурный анализ лесопильного предприятия и алгоритм его комплексного расчета, а также раскрыто влияние производственных участков друг на друга.

*Ключевые слова:* производительность лесопильного предприятия, проектирование, алгоритм.

Современное лесопильное предприятие представляет собой комплекс взаимосвязанных производственных участков: склад нерассортированного сырья; участок подготовки пиловочного сырья к обработке; склад рассортированного сырья; лесопильный цех; участок формирования сушильных штабелей; участок камерной сушки пиломатериалов; участок окончательной обработки пиломатериалов, включающий в себя склад сухих пиломатериалов и линию их окончательной обработки; склад для хранения пиломатериалов в кондиционных транспортных пакетах и формирования партий отгрузки.



Технологический процесс производства пиломатериалов с формированием партий отгрузки в кондиционных транспортных пакетах представляет собой непрерывный производственный поток, в котором параметры работы одного участка влияют на параметры работы остальных участков. Если не учитывать взаимное влияние участков при проектировании и расчетах, то в дальнейшем это может привести к незапланированным простоям всего предприятия и существенно снизить его проектную производственную мощность.

Цель данной статьи – раскрыть зависимости взаимного влияния участков лесопильного предприятия.

Основная задача современного лесопильного предприятия – поставка заказчику требуемых спецификационных пиломатериалов в транспортных пакетах в заданном объеме и в заданные сроки. Решение этой задачи возможно только при согласованной работе всех участков лесопильного производства. Максимальная производственная мощность лесопильного предприятия может быть достигнута при комплексном планировании получения пиломатериалов на каждой стадии, начиная со склада нерассортированного сырья и заканчивая подготовкой транспортных пакетов пиломатериалов к отгрузке потребителю (рис. 1).

Склад нерассортированного сырья предназначен для хранения пиловочных бревен, поступающих на предприятие. Емкость склада должна обеспечить размещение запаса бревен, достаточного для запуска и дальнейшей непрерывной работы линии сортировки.

На участке сортировки бревен, в свою очередь, необходимо подготовить объем бревен, обеспечивающий работу лесопильного цеха в течение оперативного периода, т. е. времени, когда оборудование лесопильного цеха распиливает одну

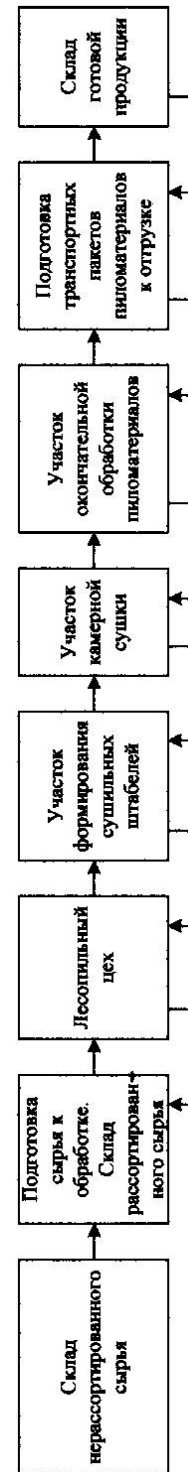


Рис. 1. Структурная схема лесопильного предприятия

сортировочную группу. Количество, границы и объем сортировочных групп должны обеспечить оптимальную загрузку лесопильного цеха при минимизации склада рассортированного сырья, а также бесперебойную работу всего предприятия [1].

Оборудование лесопильного цеха выбирают с учетом его необходимой производственной мощности для выпилки спецификационных досок в требующихся заказчику объемах. Распиловку бревен организуют так, чтобы, с одной стороны, обеспечить оптимальную загрузку участка сушки пиломатериалов, с другой – распиливать бревна с учетом объема сырья, поступающего в лесопильный цех [1, 2].

Участок формирования сушильных штабелей должен обеспечить переработку всего объема пиломатериалов из лесопильного цеха.

Оперативный запас на складе пиломатериалов перед сушильными камерами зависит от их производительности и делает возможной бесперебойную работу этих камер. Объем оперативного запаса пиломатериалов равен объему их минимальной партии запуска в сушильную камеру. При этом необходимо учитывать два возможных варианта хранения пиломатериалов до и после сушильных камер на специально отведенной площади и на рельсовых путях. Производственную мощность участка камерной сушки рассчитывают исходя из заданной спецификации и назначения пиломатериалов с учетом требований к влажности и качеству. Склад после сушильных камер перед линией окончательной обработки пиломатериалов (ЛООП) должен создавать условия для размещения пиломатериалов в объеме, который равен минимальной партии запуска на ЛООП и соответствует объему пиломатериалов, перерабатываемому за оперативный период времени [1].

На участке окончательной обработки сухих пиломатериалов устанавливают ЛООП соответствующей производительности, при этом необходимо предусмотреть организацию склада между сушильными камерами и ЛООП вместимостью, достаточной для размещения минимальной партии запуска пиломатериалов на линию.

На участке подготовки транспортных пакетов к отгрузке производят их окантовку и маркировку.

Склад готовой продукции предназначен для формирования и хранения партии отгрузки в транспортных пакетах. Неправильно подобранный объем склада кондиционных транспортных пакетов, задержка с отправкой уже выпиленных партий пиломатериалов могут привести к остановке всего предприятия, так как не будет места для вновь производимой продукции [1].

Поступление на склад готовой продукции необходимых заказчику пиломатериалов напрямую зависит от производительности цеха камерной сушки. При его недостаточной пропускной способности сроки подготовки транспортных пакетов могут возрасти. Вследствие неправильного подбора сушильного оборудования (нехватка камер для обработки всего объема досок, поступающих из лесопильного цеха) склад сырых пиломатериалов между лесопильным цехом и участком камерной сушки может быть переполнен, что приведет к вынужденной остановке лесопильного цеха. Наоборот,

при пропускной способности сушильных камер, превышающей производительность лесопильного цеха, появятся многочисленные вынужденные простои.

Сбой на любом из производственных участков способен остановить работу всего предприятия. В связи с этим при строительстве новых и реконструкции существующих лесопильных предприятий необходимо проводить комплексный расчет лесопильного предприятия в целом, а не определять производственную мощность и параметры работы участков без их взаимосвязи.

Нами предложен алгоритм комплексного расчета новых лесопильных предприятий (рис. 2), который можно использовать и при расчетах реконструируемых предприятий.

Блок 1 осуществляет ввод исходных данных (планируемая производственная мощность, объем сырья, регион расположения завода, спецификация выпиливаемого сырья и т.д.).

Блок 2 (логический блок) производит проверку выполнения возможности выпилки заданных спецификационных материалов в зависимости от исходных данных. При возникновении выполнения выбирают варианты раскроя бревен; если выполнение невозможно, предусмотрен возврат для коррекции исходных данных.

Блок 3 осуществляет выбор оптимального плана раскроя сырья с заданными условиями.

Блок 4 проводит анализ полученных данных, а также выбор и обоснование требуемого головного бревнопильного оборудования, отвечающего всем требованиям к выпилке пиломатериалов в заданных объемах.

Блок 5 определяет количество сортировочных групп бревен на складе рассортированного сырья с целью их минимизации.

Блок 6 рассчитывает производственную мощность лесопильного цеха.

Блок 7 (логический блок) проверяет выполнимость распиловки партии заданного объема при использовании выбранного типа головного оборудования, а также предусматривает возврат для анализа и выбора другого типа оборудования при невыполнении заданной производственной мощности.

Блок 8 осуществляет выбор и расчет технологического и вспомогательного транспортного оборудования в лесопильном цехе.

Блок 9 составляет и анализирует структурно-технологическую схему лесопильного цеха в зависимости от выбранного технологического оборудования и специализации предприятия.

Блок 10 выполняет расчет необходимого количества сушильных камер с учетом объемов и сечений выпиливаемых материалов.

Блок 11 осуществляет расчет участка формирования сушильных штабелей.

Блок 12 определяет необходимую вместимость склада перед сушильными камерами, блок 13 – после сушильных камер.

Блок 14 осуществляет выбор и расчет производительности линии окончательной обработки пиломатериалов.

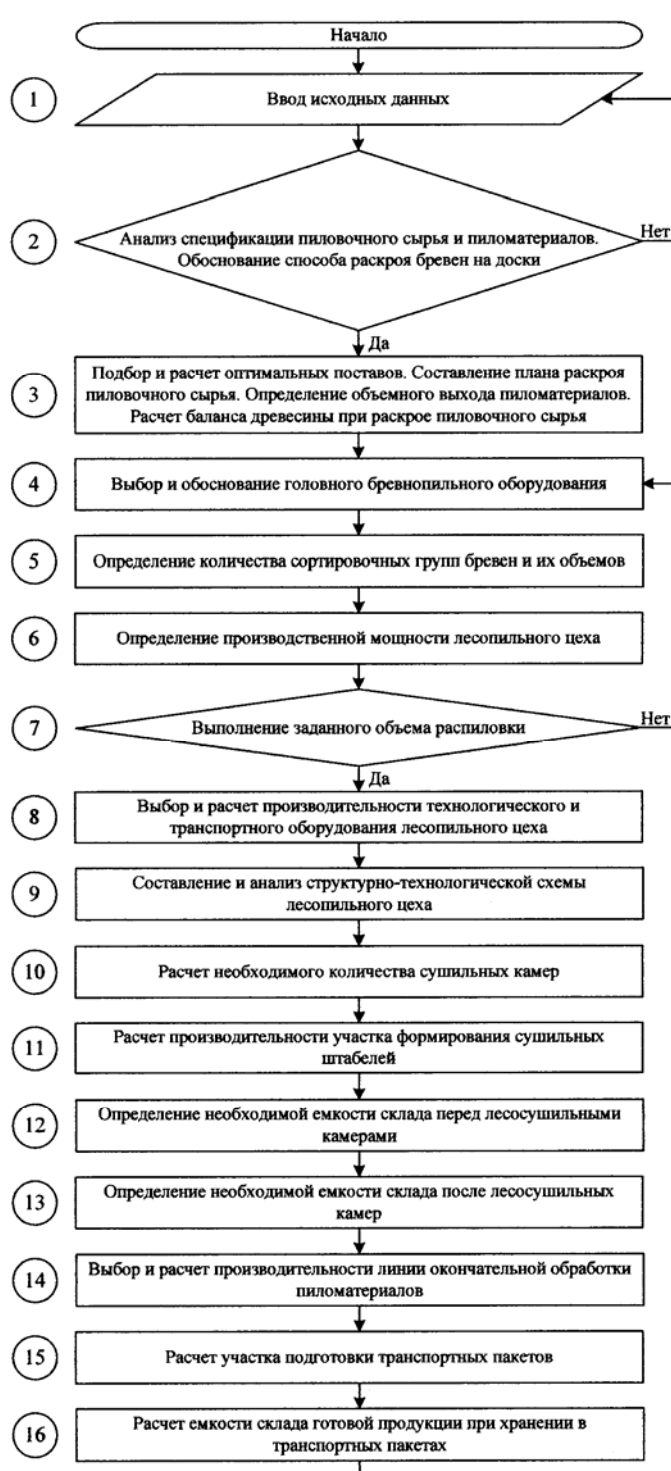


Рис. 2. Общий алгоритм комплексного расчета лесопильных предприятий

Блок 15 производит расчет участка подготовки транспортных пакетов.

Блок 16 определяет необходимую емкость склада готовой продукции при хранении ее в транспортных пакетах.

Следовательно, представленный общий алгоритм комплексного расчета лесопильных предприятий позволяет наиболее полно рассчитать его реальную производственную мощность, выбрать необходимое технологическое и транспортное оборудование, а также учесть связи участков предприятия между собой.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Калитеевский, Р. Е.* Лесопиление в 21 веке [Текст] / Р.Е. Калитеевский. – СПб.: Профи Информ, 2005. – 480 с.

2. *Калитеевский, Р. Е.* Оборудование, процессы и организация производства пиломатериалов [Текст]: учеб. пособие / Р.Е. Калитеевский. – СПб.: СПбЛТА, 2003. – 154 с.

С.-Петербургская государственная  
лесотехническая академия

Поступила 18.01.07

*R.E. Kaliteevsky, A.M. Artemenkov, A.A. Tambi, A.V. Gavryukov*

Saint-Petersburg State Forest-Technical Academy

#### **Determination of Productive Capacity of Sawmills in Designing**

Structural analysis of sawmill and algorithm of its complex calculation are provided; the influence of production areas on each other is revealed.

Keywords: productivity of sawmill, designing, algorithm.

---

УДК 630\*516/517

***Е.Д. Гельфанд, В.И. Мелехов, М.В. Потыкалова***

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.



Мелехов Владимир Иванович родился в 1939 г., окончил в 1961 г. Архангельский лесотехнический институт, доктор технических наук, профессор, заведующий кафедрой древесиноведения и тепловой обработки древесины Архангельского государственного технического университета, академик РАЕН и АПК. Имеет более 250 работ в области технологии высококачественной сушки, пропитки древесины и использования малоценной древесины и отходов деревообработки на основе новых технологий.



Потыкалова Марина Владимировна родилась в 1969 г., окончила в 1991 г. Архангельский лесотехнический институт, старший преподаватель кафедры древесиноведения и тепловой обработки древесины АГТУ. Имеет 14 печатных работ в области древесиноведения и лесного товароведения, изучения строения и свойств древесины.

**МЕХАНИЧЕСКАЯ ДЕФОРМАЦИЯ ДРЕВЕСИНЫ  
КАК СРЕДСТВО УВЕЛИЧЕНИЯ  
ВЛАГОПОГЛОЩАЮЩЕЙ СПОСОБНОСТИ**

Установлено, что способность древесины к поглощению воды и органических растворителей связана со степенью ее механической деформации; изучено влияние сопутствующих факторов на поглощающую способность древесины.

*Ключевые слова:* древесина, влагопоглощение, деформация, механическая деструкция.

Способность древесины поглощать воду и другие жидкости является одной из важных технических характеристик, используемых в процессах ее гидротермической и химической переработки. Операции, связанные с введением в древесину технологических растворов, продолжительны и требуют, как правило, применения избыточного давления среды. Интенсивность пропитки древесины различных пород неодинакова. Наиболее затруднительна пропитка цельной древесины хвойных пород, что объясняется особенностями ее анатомического строения.

Нами установлено, что поглотительная способность древесины существенно возрастает, если ее предварительно подвергнуть механической деформации. Поэтому были проведены исследования по количественной оценке влагопоглощающей способности древесины в зависимости от степени деформации и других факторов.

Для испытаний использовали образцы из древесины березы в форме прямоугольного бруска поперечным сечением  $20 \times 20$  мм, длиной 30 мм, без выраженных дефектов и влажностью  $W = 6 \dots 60$  %. Их подвергали сжатию в направлении поперек волокон в испытательной машине Р-5 до степени деформации  $\varepsilon = 20 \dots 70$  %. После снятия нагрузки образцы взвешивали, погружали в воду комнатной температуры на фиксированное время (20, 40, 80 и 120 с), затем извлекали, фильтровальной бумагой удаляли излишки влаги с поверхности и вновь взвешивали. По результатам взвешиваний рассчитывали влажность образцов и удельное влагопоглощение (количество влаги в 1 г материала образца в расчете на 1 г абс. сухой древесины).

Таблица 1

Влажность исходных образцов, %	Влажность, %, (числитель) и удельное влагопоглощение, г/г, (знаменатель) обработанных образцов при времени выдерживания, с			
	20	40	80	120
6	20/0,19	28/0,32	38/0,55	40/0,60
21	37/0,33	41/0,43	42/0,46	43/0,49

Таблица 2

Влажность исходных образцов, %	Влажность, %, (числитель) и удельное влагопоглощение, г/г, (знаменатель) обработанных образцов при степени деформации, %				
	20	40	50	60	65
6	16/0,13	24/0,25	32/0,41	41/0,63	50/0,94
39	39/0	40/0,03	43/0,11	49/0,32	56/0,63

Таблица 3

Влажность исходных образцов, %	Влажность, %, (числитель) и удельное влагопоглощение, г/г, (знаменатель) обработанных образцов
12	34/0,38
22	47/0,61
29	51/0,63
41	54/0,48
48	56/0,35
60	57/0

В первой серии опытов изучали как влияет время выдерживания в воде деформированных образцов ( $\varepsilon = 60$  %) на их влажность и удельное влагопоглощение. Из представленных в табл. 1 данных видно, что влажность исходных образцов существенно влияет на влагопоглощение: для «сухого» образца влажностью 6 % оно стабилизируется за 80 с, для образца влажностью 21 % – за 40 с.

Во второй серии исследовали влияние степени деформации образцов (перед погружением в воду) на влагопоглощение (при этом время погружения образцов с  $W = 6$  % принято 80 с,  $W = 39$  % – 20 с). Из результатов, приведенных в табл. 2, видно, что степень деформации образцов с  $W = 6$  % весьма значительно влияет на влагопоглощение во всем исследованном интер-

вале, тогда как для образцов с  $W = 39\%$  влагопоглощение становится ощутимым только лишь при степени деформации  $60\%$  и более.

В третьей серии более детально было изучено влияние влажности исходных образцов на влагопоглощение при максимальной степени деформации  $70\%$  (время погружения  $40$  с). Результаты представлены в табл. 3

В выбранных условиях эксперимента максимальное влагопоглощение было достигнуто при влажности исходных образцов  $25 \dots 30\%$ .

Скорость изменения нагрузки при механической деформации сухих образцов существенно влияет на последующее влагопоглощение. Так, при минимальной скорости нагружения, равной  $10$  мм/мин, и степени деформации  $70\%$  влажность обработанных образцов не превышала  $41\%$ , а при максимальной скорости нагружения  $46$  мм/мин их влажность составила около  $51\%$ . При обработке влажных образцов влияние скорости незначительно.

Увеличение продолжительности пребывания деформированных образцов под нагрузкой также положительно влияет на последующее влагопоглощение сухих образцов ( $W = 6\%$ ). Так, при  $\varepsilon = 70\%$  и без выдерживания под нагрузкой влажность после погружения в воду на  $80$  с составила  $40\%$ , а при выдерживании под нагрузкой в течение  $5$  мин после достижения степени деформации  $\varepsilon = 70\%$  влажность составила  $50 \dots 59\%$ . Для влажных образцов разница была незначительной.

Способность деформированной древесины к интенсивному влагопоглощению изменяется при хранении. Для сухой деформированной древесины после  $1$  сут. удельное влагопоглощение снижается в  $1,6$  раза, для влажной – в  $3,5$  раза; после  $2$  сут. – соответственно в  $1,7$  и  $4,7$  раз.

Для повышения влагопоглощающей способности древесины при механической деформации было предложено проводить опыты по предварительной обработке исходной древесины различными способами. Наибольший эффект достигнут в опытах, когда сухие образцы ( $W = 6\%$ ) выдерживали предварительно в  $10\%$ -м растворе гидроксида натрия до влажности  $45\%$ . Последующие операции сжатия до  $\varepsilon = 70\%$  и погружения в воду на  $80$  с показали, что конечная влажность образцов соответствовала  $74 \dots 76\%$ . Следует отметить, что нагрузка, необходимая для достижения  $\varepsilon = 70\%$ , была примерно в  $5$  раз меньше, чем для древесины, не обработанной щелочным раствором.

Наряду с определением способности деструктированной древесины к повышенному влагопоглощению представляет интерес выявление способности к поглощению органических растворителей. В качестве растворителей были выбраны бензин и спирт (гидрофобный и гидрофильный растворители). Сухие образцы деформировали до  $\varepsilon = 75\%$  с последующим погружением в органический растворитель на  $80$  с и взвешивали. По приросту массы рассчитывали удельное поглощение, которое для бензина составило  $0,25$  г/г, а для спирта –  $0,35$  г/г.

Таким образом использование в технологических процессах деструктированной до определенного состояния древесины позволяет интенсифицировать и качественно улучшить операции ее пропитки жидкостями.



Архангельский государственный  
технический университет

Поступила 01.04.08

*E.D. Gelfand, V.I. Melekhov, M.V. Potykalova*

Arkhangelsk State Technical University

**Mechanical Deformation of Timber as Means of Increasing Moisture Absorption Ability**

It is established that timber ability of moisture and organic solvents absorption is connected with degree of its mechanical deformation. The influence of concurrent factors on timber absorption ability is studied.

Keywords: timber, moisture absorption, deformation, mechanical destruction.





## ХИМИЧЕСКАЯ ПЕРЕРАБОТКА ДРЕВЕСИНЫ

УДК 676.022

**Р.Е. Смирнов<sup>1</sup>, А.Г. Андреев<sup>2</sup>, Т.Ф. Демидюк<sup>3</sup>**

Смирнов Рудольф Евгеньевич родился в 1938 г., окончил в 1962 г. Ленинградскую лесотехническую академию, кандидат технических наук, старший научный сотрудник, доцент кафедры технологии целлюлозы и композиционных материалов СПбГТУРП. Имеет более 120 научных трудов в области производства волокнистых полуфабрикатов.



Андреев Александр Григорьевич родился в 1943 г., окончил в 1968 г. Ленинградский технологический институт целлюлозно-бумажной промышленности, кандидат технических наук, зам. директора по научной работе ФГУП ЦНИИБуммаш. Имеет более 80 научных трудов в области гидродинамики, реологии волокнистых суспензий и оборудования целлюлозно-бумажного производства.



Демидюк Наталья Федоровна родилась в 1953 г., окончила в 1977 г. Ленинградский технологический институт целлюлозно-бумажной промышленности, начальник исследовательской лаборатории ОАО «Выборгская целлюлоза». Имеет 5 научных трудов в области целлюлозно-бумажного производства.

**ХЛОРАМИННЫЙ МЕТОД АНАЛИЗА  
СУЛЬФИТНОЙ КИСЛОТЫ\***

Предложен новый метод анализа сульфитной кислоты с применением реагента – хлорамина Б; показаны преимущества этого метода перед известными.

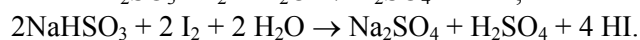
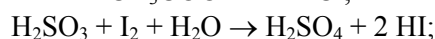
*Ключевые слова:* сульфитная кислота, хлорамин Б, сульфитцеллюлозное производство.

В настоящее время на сульфитно-целлюлозных предприятиях контроль за приготовлением сырой, регенерационной и варочной кислот, а также за самой варкой целлюлозы осуществляют в основном с помощью аналитических методов анализа сульфитных растворов – йодометрического и сернокислотного [1]. Однако эти методы имеют недостатки: сравнительно

\* ФГНТП по теме «Разработка экспресс-методов и приборов контроля качества продукции непосредственно в процессе варки волокнистых полуфабрикатов».

невысокая воспроизводимость результатов (йодометрический) и большая длительность проведения (сернокислотный).

В целях создания более совершенного метода анализа сульфитных растворов нами исследован новый реагент – хлорамин Б ( $C_{10}H_5SO_2N(Na)Cl \cdot 3H_2O$ ), который выпускается отечественной промышленностью. При проведении анализа сульфитной кислоты на натриевом основании с хлорамином происходят следующие реакции:



Чтобы определить содержание всего  $SO_2$  в варочном растворе, в колбу вместимостью 250  $см^3$  наливают 75  $см^3$  дистиллированной воды, прибавляют 5  $см^3$  10 %-го раствора KI, 5  $см^3$  смеси крахмала с уксусной кислотой и титруют раствором хлорамина концентрацией 0,1 моль/ $дм^3$  (1  $см^3$  этого раствора соответствует 0,0032 г всего  $SO_2$ ) до появления синего окрашивания.

Для приготовления 10 %-го раствора KI растворяют в 1000  $см^3$  дистиллированной воды 16,6 г KI, раствора хлорамина концентрацией 0,1 моль/ $дм^3$  – 13,4 г безводного  $C_{10}H_5SO_2N(Na)Cl$ , 1 %-го раствора крахмала – 10,0 г крахмала. Смесь уксусной кислоты и крахмала готовят из 60  $см^3$  50 %-го раствора уксусной кислоты и 40  $см^3$  1 %-го раствора крахмала.

Количество всего  $SO_2$  рассчитывают по следующим формулам:

$$X_1 = a_1 k_1 \cdot 0,01 \cdot 1000 \text{ моль/дм}^3 ;$$

$$X_1 = a_1 k_1 \cdot 0,0032 \cdot 100 \% ,$$

где  $X_1$  – количество всего  $SO_2$ , моль/ $дм^3$  или %;

$a_1$  – объем раствора хлорамина с концентрацией 0,1 моль/ $дм^3$ , пошедшего на титрование,  $см^3$ ;

$k_1$  – поправочный коэффициент к раствору хлорамина концентрацией 0,1 моль/ $дм^3$ .

При определении количества связанного  $SO_2$  предварительно проводят удаление растворенного  $SO_2$  путем кипячения пробы под вакуумом [1]. После охлаждения реакционной колбы добавляют 5  $см^3$  смеси крахмала и уксусной кислоты, титруют раствором хлорамина концентрацией 0,1 моль/ $дм^3$  до перехода цвета титруемого раствора в синий, не исчезающий при перемешивании пробы.

Количество связанного  $SO_2$  рассчитывают по следующим формулам:

$$X_2 = a_2 k_2 \cdot 0,00005 \cdot 1000 \text{ моль/дм}^3 ;$$

$$X_2 = a_2 k_2 \cdot 0,00016 \cdot 100 \% ,$$

где  $X_2$  – количество связанного  $SO_2$ , моль/ $дм^3$  или %;

$a_2$  – объем раствора хлорамина концентрацией 0,1 моль/ $дм^3$ , израсходованного на титрование,  $см^3$ ;

$k_2$  – поправочный коэффициент к раствору хлорамина концентрацией 0,1 моль/дм<sup>3</sup>.

Титр раствора хлорамина устанавливают по раствору Na<sub>2</sub>S<sub>2</sub>O<sub>3</sub> концентрацией 0,1 моль/дм<sup>3</sup>. Для этого в колбу наливают 100 см<sup>3</sup> дистиллированной воды, 10 см<sup>3</sup> раствора KI, 10 см<sup>3</sup> смеси уксусной кислоты и крахмала, вносят пипеткой 25 см<sup>3</sup> раствора хлорамина. Колбу закрывают пробкой и ставят на 5 мин в темное место. После этого титруют освобожденный йод раствором Na<sub>2</sub>S<sub>2</sub>O<sub>3</sub> до исчезновения синей окраски от одной капли тиосульфата.

Поправочный коэффициент рассчитывают по формуле

$$K = \frac{aK_1}{25},$$

где  $a$  – объем раствора Na<sub>2</sub>S<sub>2</sub>O<sub>3</sub> концентрацией 0,1 моль/дм<sup>3</sup>, израсходованного на титрование;

$K_1$  – поправочный коэффициент раствора Na<sub>2</sub>S<sub>2</sub>O<sub>3</sub>.

Методику проверяли на сульфитных растворах, приготовленных в лабораторных условиях СПбГТУРП. Несколько растворов было проанализировано в производственных условиях ОАО «Выборгская целлюлоза». Результаты, полученные хлораминным методом, сравнивали с результатами йодометрического и сернокислотного методов. Для каждой пробы проводили параллельные определения и вычисляли среднее квадратичное отклонение  $S_x$  [2]. Полученные данные представлены в таблице.

Обращает на себя внимание тот факт, что результаты анализа кислоты, полученные по новой методике, как правило, ниже, чем по традиционному йодометрическому методу. Это относится к определению как всего, так и связанного SO<sub>2</sub>. Разница составляет около 10 %. Вероятной причиной этого является летучесть йода, которым титровали пробу кислоты по стандартному методу. В случае использования хлораминного способа, как видно из приведенной выше реакции, образующийся в растворе йод сразу же реагирует с SO<sub>2</sub>. Поэтому данные, полученные по хлораминному способу, более точные. Результаты определения связанного SO<sub>2</sub> по сернокислотному способу мало отличаются по абсолютной величине от результатов хлораминного способа.

Как показала практика применения нового способа анализа, для его проведения достаточно 5 ... 10 мин, что значительно меньше продолжительности сернокислотного способа, составляющей 15 ... 20 мин. Анализируя величины среднего квадратичного отклонения, установили очевидное преимущество хлораминного способа: в большинстве случаев величина отклонения при выполнении анализа по предлагаемому методу меньше, особенно, по сравнению с йодометрическим, что свидетельствует о более высокой воспроизводимости результатов при использовании хлорамина Б.

Таким образом, предлагаемый новый хлораминный способ анализа сульфитной кислоты имеет следующие преимущества перед известными методами: обладает более высокой воспроизводимостью результатов по



сравнению с йодометрическим и является более быстрым по сравнению с сернокислотным.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Долгаева, А.А. Методы контроля сульфитцеллюлозного производства [Текст] / А.А. Долгаева. – М.: Лесн. пром-сть, 1971. – 344 с.

2. Яныгин, Ю.Я. Пособие метрологу целлюлозно-бумажного предприятия [Текст] / Ю.Я. Яныгин. – М.: Лесн. пром-сть, 1980. – 80 с.

<sup>1</sup>СПбГТУРП

<sup>2</sup>ФГУП «ЦНИИБуммаш»

<sup>3</sup>ОАО «Выборгская целлюлоза»

Поступила 07.09.07

*R.E. Smirnov<sup>1</sup>, A.G. Andreev<sup>2</sup>, T.F. Demidyuk<sup>3</sup>*

<sup>1</sup>Saint-Petersburg State Technological University of Plant Polymers

<sup>2</sup>FGUP “Tsniibummash”

<sup>3</sup>JSC “Vyborg Cellulose”

#### **Chloramine Method of Sulfite Acid Analysis**

New method of sulfite acid analysis is proposed using a new reagent - chloramine B. The advantages of this method compared to the common ones are shown.

Keywords: sulfite acid, chloramine B, sulfite-pulp production.

---

УДК 630\*612:674.0.31.623.22

*А.В. Коптина<sup>1</sup>, А.И. Шургин<sup>1</sup>, А.В. Канарский<sup>2</sup>*

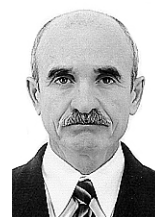
Коптина Анна Владимировна родилась в 1983 г., окончила в 2005 г. Казанский государственный технологический университет, аспирант кафедры лесной селекции, недревесных ресурсов и биотехнологии Марийского государственного технического университета. Имеет 10 научных работ в области биотехнологии и технологии биологически активных веществ.



Шургин Алексей Иванович родился в 1972 г., окончил в 1995 г. Марийский государственный технический университет, кандидат сельскохозяйственных наук, доцент кафедры лесной селекции, недревесных ресурсов и биотехнологии Марийского государственного технического университета. Имеет более 30 научных работ в области оценки и разработки проектов рациональной эксплуатации недревесных лесных ресурсов.



Канарский Альберт Владимирович родился в 1946 г., окончил в 1975 г. Ленинградскую лесотехническую академию, профессор, доктор технических наук, профессор кафедры пищевой биотехнологии Казанского государственного технологического университета. Имеет более 200 научных работ в области химической и биохимической технологии, получения и переработки целлюлозы, бумаги и картона, крахмала, адсорбентов и биологически активных веществ.



### **МЕЖПОПУЛЯЦИОННАЯ ИЗМЕНЧИВОСТЬ ИВЫ ОСТРОЛИСТНОЙ ПО ПРОДУКТИВНОСТИ БИОМАССЫ И СОДЕРЖАНИЮ ФЕНОЛЬНЫХ КОМПОНЕНТОВ**

Фенотипический и биохимический анализ популяций ивы остролистной показал целесообразность селекционных работ по выведению линий с максимальным содержанием салицилатов, представляющих интерес для получения биологически активных веществ.

*Ключевые слова:* ива, межпопуляционная изменчивость, продуктивность, фенольные соединения, салицин.

Проблема комплексного ведения лесного хозяйства, формирования высокопродуктивных лесных насаждений, усиления их средостабилизирующей роли, а также наиболее полного использования лесной продукции является ключевой при организации исследований и осуществлении практических мероприятий [2]. В последние годы интенсивно увеличивается применение лекарственных растений и экстрактов из них взамен синтетических лекарственных препаратов, которые небезвредны для организма человека. Важное место среди источников природных БАВ занимают растения семейства *Salicaceae*, в коре и листьях которых содержится большое количество фенольных гликозидов.

Лекарственные препараты, получаемые из различных видов *Salix*, содержат салицин (2-гидроксиметил-фенил- $\beta$ -D-глюкопиранозид) и его производные: фрагилин, саликортин, 2'-*o*-ацетилсаликортин, тремулацин, салирепозид и др. Салицин, саликортин и тремулацин также присутствуют в почках *Populus tremula* L.; пицеин (пицеозид) идентифицирован в *Salix cinerea*, *Uvae ursi folium*, *Pinus picea* L. и видах *Picea* [9]. Концентрация салицина редко превышает 1 %, а высокое содержание таких салицилатов, как саликортин, асетилсаликортин и тремулацин, является характерным свойством семейства *Salicaceae* [6]. Общее количество горьких салицилатов сильно варьирует в зависимости от видов ивы, клонов и органов и может составлять от 1 до 20 % от сухой массы. Часто интенсивно растущие виды и их разновидности содержат меньшее количество салицилатов, чем медленно растущие виды [8].

В настоящее время большинство источников ивы, доступных для получения лекарственных веществ, содержат менее 1 % активных компонентов. Этого недостаточно для приготовления лекарственных средств (дневная доза салицина должна составлять 60 ... 120 мг) [7]. Поэтому значительный интерес представляют селекция и культивирование ивы с повышенным содержанием салицилатов.

Цель данной работы – выявление естественных популяций ивы с повышенным содержанием лекарственных веществ. Для этого было проведено исследование межпопуляционной изменчивости географически разделенных популяций ивы *Salix acutifolia* L. в бассейне Средней Волги по продуктивности коры и содержанию фенольных компонентов.

Образцы однолетних побегов были отобраны с модельных деревьев естественных популяций ивы на песчаных пойменных почвах берегов притоков Волги. Для оценки селекционных категорий популяций в конце марта – начале апреля 2006 и 2007 гг. отбирали однолетние побеги с южной стороны у 12 ... 17 растений в возрасте 6 ... 10 лет. Для анализа однолетние побеги разделяли на отрезки длиной 10 см, у каждого отрезка измеряли средний диаметр, массу коры и древесины в свежем и воздушно-сухом состояниях. Контрольные показатели – содержание коры в однолетних побегах и содержание в коре общего салицина. Всего проанализировано 1500 образцов. Полученные данные обработаны методом математической статистики по алгоритму М.М. Котова и Э.П. Лебедевой [1].

Данные о содержании коры в отрезках однолетних побегов с модельных популяций *Salix acutifolia* L. приведены в табл. 1, 2.

Таблица 1

**Содержание коры (%) в воздушно-сухих образцах однолетних побегов ивы различного географического происхождения (2006 г.)**

Модельная популяция	Доля коры, %, в побегах диаметром, мм				Среднее значение, %	Ранг
	2,0...2,9	3,0...3,9	4,0...4,9	5,0...5,9		



1	69,7	58,6	50,1	43,3	56,0	1
2	63,2	56,1	49,6	42,5	53,1	7
3	62,9	55,8	47,7	40,4	53,5	4
4	67,5	56,2	48,4	43,4	55,0	3
5	69,7	61,4	50,4	46,0	58,0	2
6	67,2	53,6	46,3	37,4	50,3	13
7	61,3	52,1	44,9	38,8	50,2	14
8	66,4	55,8	46,6	39,7	51,7	10
9	55,8	49,5	43,8	37,7	45,5	15
10	67,5	57,6	45,1	40,9	52,1	9
11	63,0	53,1	45,1	43,7	53,1	8
12	61,4	52,2	42,6	38,8	51,3	11
13	67,6	58,5	49,3	44,2	53,2	6
14	65,4	57,1	50,1	44,7	53,4	5
15	66,5	60,7	49,9	41,0	51,0	12

Таблица 2

**Содержание коры (%) в однолетних побегах ивы различного географического происхождения (2007 г.)**

Модельная популяция	Доля коры, %, в побегах диаметром, мм				Среднее значение, %	Ранг
	2,0...2,9	3,0...3,9	4,0...4,9	5,0...5,9		
9	62,96	51,55	43,87	35,67	51,80	1
7.2	48,85	50,13	47,17	44,30	47,97	5
7	55,88	51,50	44,42	39,26	46,58	6
5	62,54	55,54	47,10	43,89	49,90	4
1	63,87	54,38	45,80	39,78	50,92	2
12	63,39	53,92	44,58	39,81	50,04	3

В результате анализа содержания коры в однолетних побегах ивы остролистной разного географического происхождения в бассейне Средней Волги выделены популяции ивы с максимальной продуктивностью. Из данных табл. 1 видно, что содержание коры в иве модельной популяции 1 (56,0 %) на 10,5 % выше, чем у популяции 9 (45,5 %). Для подтверждения достоверности полученных результатов эксперимент повторяли в 2007 г. с популяциями ивы, имеющими минимальную и максимальную продуктивность коры. Данные приведены в табл. 2.

В целом зависимость между популяциями по продуктивности коры не сохранилась: в 2007 г. отмечено накопление коры в однолетних побегах ивы модельной популяции 9, имевшей в 2006 г. самые низкие показатели, что свидетельствует об относительной стабильности признака. Несмотря на это, растения популяции 1 в 2007 г., как и в 2006 г., показали высокую продуктивность коры, что делает их привлекательными для дальнейшей селекции.

Для оценки межпопуляционной изменчивости ивы остролистной, произрастающей в бассейне Средней Волги, проведен анализ достоверности различий популяций по признаку содержания коры.

Результаты анализа свидетельствуют о высоком влиянии фактора происхождения побегов ивы на содержание в них коры и достоверности различия между модельными популяциями ивы остролистной. Для оценки достоверности различий между выбранными модельными популяциями воспользуемся показателем наименьшей существенной разности НСР<sub>05</sub> (табл. 3).

Приведенные в табл. 3 результаты показывают, что модельные популяции с низким и высоким содержанием коры в однолетних побегах достоверно отличаются между собой, что подтверждают данные 2006 и 2007 гг. Наиболее значительны различия между популяциями 7 и 9.

Таким образом, полученные результаты подтвердили возможность ведения селекционных работ по выделению популяций ивы с максимальной продуктивностью коры – ценного растительного сырья для получения натуральных салицилатов.

Таблица 3

**Результаты оценки достоверности отличий между вариантами однофакторного опыта (2007 г.)**

Модельная популяция	Среднее значение доли коры, %	Различие между популяциями				
		7.2	7	5	1	12
9	51,80	<b>3,83</b>	<b>5,22</b>	1,90	0,88	1,76
7.2	47,97		1,39	1,92	<b>2,94</b>	2,06
7	46,58			<b>3,32</b>	<b>4,34</b>	<b>3,46</b>
5	49,90				1,02	0,14
1	50,92					0,88
12	50,04					
НСР <sub>05</sub>	2,78					

Таблица 4

**Среднее содержание общего салицина в однолетних побегах модельных популяций ивы**

Модельная популяция	Содержание общего салицина	Вариация	Точность	Число наблюдений
1	6,22±0,98	38,63	15,77	6
12	5,73±0,59	20,51	10,25	4
9	5,04±0,75	29,63	14,82	4
5	5,63±1,35	53,60	23,97	5
7.2	6,64±0,60	18,22	9,11	4
7	6,44±1,29	52,88	19,99	7

Для исключения ошибочной селекции видов ивы с максимальной долей коры, но бедных салицилатами, был проведен анализ модельных популяций на содержание в них общего салицина. Количественное содержание салицина определяли методом тонкослойной хроматографии – денситометрии воздушно-сухих образцов однолетних побегов ивы *Salix acutifolia* L. Использовали пластины для тонкослойной хроматографии Сорбфил ПТСХ-АФ-А (ЗАО «Сорбполимер», Россия) и систему растворителей  $\text{CH}_3\text{COOC}_2\text{H}_5\text{--CH}_3\text{OH--H}_2\text{O}$  (77:13:10). Для обнаружения салицина пластины опрыскивали 4 %-м раствором серной кислоты в этиловом спирте (объем. %) и нагревали при 110 °С в течение 10 мин. Салицин и его производные образуют пятна красного цвета. Количественный расчет осуществляли с помощью программного обеспечения Scion Image for Windows (© Scion Corporation). Данные о содержании общего салицина в модельных популяциях ивы приведены в табл. 4.

Для оценки достоверности различий в содержании общего салицина между популяциями проведен однофакторный дисперсионный анализ. Полученные данные свидетельствуют об отсутствии достоверных различий между средней концентрацией общего салицина в образцах однолетних по-

Таблица 5

**Результаты оценки достоверности отличий между вариантами однофакторного дисперсионного анализа**

Модельная популяция	Содержание общего салицина, %	Различие между популяциями				
		12	9	5	7.2	7
1	6,22	0,49	1,18	0,59	0,42	0,22
12	5,73		0,69	0,10	0,91	0,71
9	5,04			0,59	<b>1,60</b>	1,40
5	5,63				1,01	0,81
7.2	6,64					0,20
7	6,44					0,00
$\text{HCP}_{05}$	1,60					

бегов ивы остролистной, собранных в 2007 г. Для оценки достоверности различий между выбранными модельными популяциями также воспользуемся показателем  $\text{HCP}_{05}$  (табл. 5).

Достоверное отличие в концентрации общего салицина имеют только однолетние побеги ивы модельных популяций 9 и 7.2. При этом у популяции 9 продуктивность коры максимальна, а содержание салицилатов меньше, чем у популяции 7.2 с высокой долей общего салицина в коре. Так как в настоящее время наибольшее признание получила гипотеза о защитной роли вторичных соединений [3], экспериментальные данные подтверждают гипотезу о дилемме растений: расти или защищать себя [4]. Несмотря на очевидные выгоды химической защиты, синтез и сохранение защитных веществ требует от растений ресурсов, которые становятся недоступными для их роста и размножения. Следовательно, химическая защита мо-

жет снизить конкурентоспособность растений, приводя к выбору между ростом и защитой [4]. Поэтому часто интенсивно растущие виды или разновидности содержат меньше салицилатов, в то время как медленно растущие виды могут содержать их в большем количестве [8].

Таким образом, в ходе данного исследования выявлено, что естественные популяции ивы *Salix acutifolia* L., достоверно различаются по продуктивности коры. Максимальное отличие по содержанию коры в однолетних побегах естественных популяций ивы остролистной в бассейне Средней Волги составляет 10,5 %. Фенотипический и биохимический анализ популяций показал целесообразность селекционных работ для выведения линий с высоким содержанием салицилатов, которые представляют интерес для создания плантаций с целевыми параметрами.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Котов, М.М. Применение биометрических методов в лесной селекции [Текст] / М.М. Котов, Э.П. Лебедева. – Горький, 1974. – 264 с.
2. Кулагин, А.Ю. Ивы: техногенез и проблемы оптимизации нарушенных ландшафтов [Текст] / А.Ю. Кулагин. – Уфа: Гилем, 1998. – 193 с.
3. Физиология растений [Текст]: учеб. для вузов / Н.Д. Алехина, Ю.В. Балнокин, В.Ф. Гавриленко [и др.]; под ред. И.П. Ермакова. – М.: ИЦ «Академия», 2005. – 640 с.
4. Herms, D.A. The dilemma of plants: to grow or defend [Text] / D.A. Herms, W.J. Mattson // The Quarterly Review of Biology. – 1992. – Vol. 67. – P. 283–335.
5. Jukunen-Tiitto, R. Testing the effects of drying methods on willow flavonoids, tannins, and salicylates [Text] / R. Jukunen-Tiitto, S. Sorsa // Journal of Chemical Ecology. – 2001. – Vol. 27. – P. 779–789.
6. Jukunen-Tiitto, R. The effect of the sample preparation method of extractable phenolics of Salicaceae species [Text] / R. Jukunen-Tiitto, J. Tahvanainen // Planta Medica. – 1989. – Vol. 55. – P. 55–58.
7. Jukunen-Tiitto, R. Variation in growth and secondary phenolics among field-cultivated clones of *Salix myrsinifolia* [Text] / R. Jukunen-Tiitto, B. Meier // Planta Medica. – 1992. – Vol. 58. – P. 77–80.
8. Ruuhola, T. Dynamics of salicylates in willows and its relation to herbivory: PhD Dissertations in Biology [Text] / T. Ruuhola. – Joensuu, 2001. – Vol. 8. – 138 p.
9. Wagner, H. Plant drug analysis. A thin layer chromatography atlas [Text] / H. Wagner, S. Bladt. – New York: Springer, 2001. – Vol. XVI. – 384 p.

<sup>1</sup>Марийский государственный  
технический университет

<sup>2</sup>Казанский государственный  
технологический университет

Поступила 19.05.08

*A.V. Koptina*<sup>1</sup>, *A.I. Shurgin*<sup>1</sup>, *A.V. Kanarsky*<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Mari State Technical University

---

<sup>2</sup>Kazan State Technological University

### **Interpopulation Variability of Silver Willow according to Biomass Productivity and Phenol Components Content**

Phenotypic and biochemical analysis of silver willow populations have shown reasonability of the selection works aimed at breeding populations with the maximal content of salicylates to be used for producing biologically active substances (BAS)

Keywords: willow, interpopulation variability, productivity, phenol compounds, salicin

---

УДК 676.1.038.2

*Л.А. Южанинова<sup>1</sup>, Е.Ю. Ларина<sup>2</sup>, В.И. Комаров<sup>2</sup>*

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, почетный работник высшего профессионального образования РФ, член международного научного общества EUROMECH. Имеет более 400 печатных работ в области исследования свойств деформативности и прочности целлюлозно-бумажных материалов.



## **СРАВНЕНИЕ МЕТОДИК ОЦЕНКИ ДЛИНЫ ВОЛОКНА МАКУЛАТУРНОЙ МАССЫ**

Приведена сравнительная оценка различных методов определения длины волокна, используемых на разных предприятиях ЦБП.

*Ключевые слова:* длина волокна, фракционный состав, макулатурная масса

При оценке бумагообразующих свойств волокнистых полуфабрикатов (технической целлюлозы) определяют так называемые фундаментальные (по Кларку) характеристики волокна [6].

Техническая целлюлоза – это смесь волокнистых и неволокнистых элементов древесины разной длины: от 0,1 до 5,0 мм и более. Мелкая фракция с длиной волокна < 0,2 мм состоит из обрывков волокон, паренхимных клеток, клеток эпидермиса и сосудов [7]. В связи с этим на практике большое внимание уделяют контролю такой характеристики, как средняя длина волокна, которая оказывает значительное влияние на физико-механические свойства бумаги и картона. В большинстве случаев для быстрого определения средневзвешенной длины волокон, образующих бумажную массу, на отечественных предприятиях используют метод, предложенный еще в 1946 г. проф. С.Н. Ивановым [4]. В основе метода – расчетная зависимость между длиной волокна и весовым показателем, фиксируемым специальным прибором.

Кроме того, средняя длина волокна может быть определена и другими методами: микроскопическим и с использованием окулярной линейки или масштабной сетки [1, 3], курвиметра [3], современных автоматизированных приборов KAJAANI и FIBER TESTER [2, 8].

Цель данной работы сравнить данные, оценивающие среднюю длину волокна макулатурной массы (смесь макулатуры марок МС-5Б/1 – 10 %; МС-5Б/1 – 10 %; МС-5Б/3 – 80 %) с помощью методик, предложенной С.Н. Ивановым и полученной на приборе KAJAANI. Образцы отбирали в технологическом потоке не сортировке СЦН-09, модернизированной для работы в режиме фракционатора. Полученные данные и результаты их статической обработки представлены в табл. 1.

Таблица 1

**Средняя длина волокна макулатурной массы (мм),  
рассчитанная по различным методикам**

Образец	Длина во- локна*	$\bar{X}$	СКО	v, %	max	min	max-min
До фракцио- нирования	$l_{CA}^*$	0,69	0,027	3,9	0,75	0,63	0,12
	$l_{CB}$	1,56	0,052	3,4	1,65	1,47	0,18
	$l_{CM}$	2,35	0,064	2,7	2,46	2,24	0,22
	$l_I$	1,64	0,206	12,6	1,90	1,20	0,70
Коротково- локнистая фракция	$l_{CA}$	0,65	0,039	5,9	0,78	0,62	0,16
	$l_{CB}$	1,42	0,077	5,4	1,63	1,30	0,33
	$l_{CM}$	2,16	0,101	4,7	2,40	1,99	0,41
	$l_I$	1,29	0,145	11,2	1,60	1,10	0,50
Длинново- локнистая фракция	$l_{CA}$	0,72	0,036	4,9	0,79	0,66	0,13
	$l_{CB}$	1,61	0,068	4,2	1,72	1,49	0,23
	$l_{CM}$	2,42	0,081	3,3	2,53	2,26	0,27
	$l_I$	1,85	0,246	13,3	2,20	1,50	0,70

\*  $l_{CA}$  – среднеарифметическая длина волокна;  $l_{CB}$  – средневзвешенная длина волокна;  $l_{CM}$  – среднемассовая длина волокна, рассчитанная при использовании КАЖААНИ;  $l_I$  – средневзвешенная длина волокна, рассчитанная по методу Иванова.

Таблица 2

**Относительное содержание (%) фракций с различной длиной волокна  
в макулатурной массе, рассчитанное по различным методикам\***

Фракция с длиной во- локна, мм	Характерис- тика	До фракционирова- ния			Коротковолокнистая фракция			Длинноволокнистая фракция		
		А	В	М	А	В	М	А	В	М
0,00...0,60	$\bar{X}$	57,21	17,99	3,97	58,25	19,63	4,76	56,04	17,02	3,63
	СКО	1,680	1,022	0,340	2,080	1,362	0,532	1,795	1,137	0,393
	v, %	2,9	5,7	8,6	3,6	6,9	11,2	3,2	6,7	10,9
	max	61,06	20,02	4,59	60,61	20,85	5,59	59,51	18,94	4,41
	min	53,70	16,05	3,31	51,53	15,26	3,28	52,28	14,95	3,06
	max-min	7,36	3,97	1,28	9,08	5,59	2,31	7,23	3,99	1,35
>0,60...2,05	$\bar{X}$	36,05	53,76	39,93	36,31	56,72	45,48	36,46	52,20	37,44
	СКО	1,402	1,464	2,073	1,443	1,632	3,148	1,405	1,451	2,309
	v, %	3,9	2,7	5,2	3,98	2,88	6,92	3,9	2,9	6,2
	max	38,61	55,37	42,85	40,17	60,09	51,41	39,61	54,66	41,20
	min	33,53	50,99	36,65	34,38	53,96	38,67	34,17	50,08	34,29
	max-min	5,08	4,38	6,20	5,79	6,13	12,74	5,44	4,58	6,91
>2,05...7,20	$\bar{X}$	6,74	28,25	56,10	5,47	22,40	49,76	7,63	30,78	58,93
	СКО	0,664	1,990	2,332	0,913	5,409	3,635	0,872	2,375	2,667
	v, %	9,9	7,1	4,2	16,7	24,2	7,3	11,43	7,71	4,53
	max	8,00	31,74	59,75	8,30	30,77	58,06	9,07	34,30	62,62
	min	5,41	25,05	52,61	4,31	2,23	43,00	6,20	26,41	54,40
	max-min	2,59	6,69	7,14	3,99	28,54	15,06	2,87	7,89	8,22

\* Здесь и далее, в табл. 3, А, В, М – относительное содержание фракций с учетом соответственно числа волокон, длины и массы волокна.

Таблица 3

## Относительное содержание (%) мелкого волокна, рассчитанное по различным методикам

Образец	Методика расчета	$\bar{X}$	СКО	$v, \%$	max	min	max-min
До фракционирования	A	30,31	1,632	5,4	34,43	27,50	6,93
	B	3,84	0,319	8,3	4,71	3,28	1,43
	M	0,28	0,028	10,0	0,36	0,24	0,12
Коротковолокнистая фракция	A	30,47	2,076	6,8	33,50	22,15	8,35
	B	4,13	0,414	10,0	4,61	2,93	1,68
	M	0,34	0,042	12,6	0,37	0,21	0,16
Длинноволокнистая фракция	A	29,4	1,704	5,8	33,6	26,4	7,23
	B	3,56	0,292	8,2	4,07	2,96	1,11
	M	0,25	0,027	10,7	0,30	0,20	0,10

Из табл. 1 следует, что для макулатурной массы этого состава средневзвешенная длина волокна, определяемая с помощью обеих методик, имеет близкие значения. При этом коэффициент вариации у методики, предложенной С.Н. Ивановым, почти в 4 раза больше.

В табл. 2 приведено сравнение фракционного состава волокна макулатурной массы, рассчитанного по различным методикам.

Статистическая обработка данных эксперимента показала, что фракционный состав по длине волокна макулатурной массы во времени отличается высокой вариабельностью, причем наибольшая отмечена у фракции с повышенной длиной волокна ( $> 2,05 \dots 7,20$  мм).

Проведенная оценка содержания мелкого волокна в макулатурной массе (табл. 3) показала, что волокно с длиной  $l_{CA} < 0,2$  мм составляет значительную часть ( $\sim 30 \%$ ), а волокно с повышенной длиной ( $l_{CM} > 2,05 \dots 7,20$  мм) только  $0,2 \dots 0,3 \%$ .

Таким образом, на основании полученных результатов можно сделать вывод, что для контроля средней длины волокна макулатурной массы может быть использован метод Иванова, обеспечивающий достаточную точность измерений.

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Автандилов, Г.Г. Медицинская морфометрия. Руководство [Текст] / Г.Г. Автандилов. – М.: Медицина, 1990. – 384 с.
2. Анализатор длины волокна KAJAANI FS-200: инструкция Ф420057В. – 43 с.
3. Атлас ультраструктуры древесных полуфабрикатов, применяемых для производства бумаги [Текст]. – М.: Лесн. пром-сть, 1984. – 232 с.
4. Иванов, С.Н. Технология бумаги [Текст] / С.Н. Иванов – М.: Лесн. пром-сть, 1970. – С. 50–54.
5. Кларк, Дж. Технология целлюлозы [Текст] / Дж. Кларк. – М.: Лесн. пром-сть, 1983. – 456 с.



7. Яблочкин, Н.И. Макулатура в технологии картона [Текст] / Н.И. Яблочкин, В.И. Комаров, И.Н. Ковернинский. – Архангельск: Изд-во АГТУ, 2004. – 252 с.  
8. Land W Handbook. – 06 – 07. – 179 s.

<sup>1</sup>ООО «Сухонский ЦБК»

<sup>2</sup>Архангельский государственный  
технический университет

Поступила 02.06.08

*L.A. Yuzhaninova<sup>1</sup>, E.Yu. Larina<sup>2</sup>, V.I. Komarov<sup>2</sup>*

<sup>1</sup> Sukhona PPM, Ltd

<sup>2</sup> Arkhangelsk State Technical University

### **Comparison of Assessment Techniques for Fiber Length of Waste Paper Mass**

The comparative assessment of different methods for fiber length determination is provided applied at different enterprises of pulp-and-paper industry.

Keywords: fiber length, fractional structure, waste paper mass.

---

УДК 676.024.3

**Н.П. Мидуков, В.С. Куров, А.О. Никифоров**

Мидуков Николай Петрович родился в 1983 г., окончил в 2005 г. С.-Петербургский государственный технологический университет растительных полимеров, аспирант кафедры процессов и аппаратов химической технологии СПбГТУРП. Имеет 4 печатные работы в области технологии и оборудования химической переработки биомассы дерева.



Куров Виктор Сергеевич родился в 1953 г., окончил в 1976 г. Ленинградский государственный технологический институт целлюлозно-бумажной промышленности, профессор, доктор технических наук, проректор по научной работе С.-Петербургского государственного технологического университета растительных полимеров. Имеет более 150 печатных работ в области исследования нестационарных гидромеханических процессов и реологии водоволокнистых суспензий целлюлозно-бумажной промышленности.



Никифоров Аркадий Олегович родился в 1954 г., окончил в 1976 г. Ленинградский технологический институт, кандидат технических наук, доцент кафедры процессов и аппаратов химической технологии С.-Петербургского государственного технологического университета растительных полимеров. Имеет более 80 печатных работ в области процессов и аппаратов химической технологии.



### **ПОВЫШЕНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ ПРОЦЕССА ДИСПЕРГИРОВАНИЯ ВОЛОКНИСТОЙ СУСПЕНЗИИ В РОТОРНО-ПУЛЬСАЦИОННОМ АППАРАТЕ**

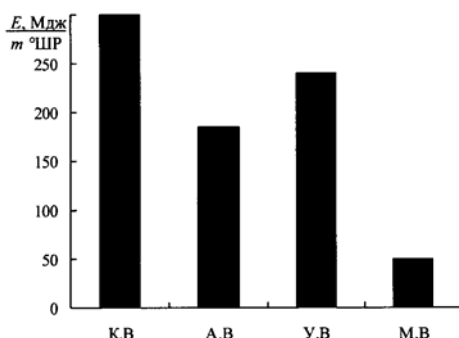
По результатам оценки физических факторов, воздействующих на волокно при обработке в роторно-пульсационном аппарате, и на основании анализа полученных экспериментальных данных предложена новая конструкция аппарата, позволяющая повысить эффективность процесса диспергирования.

*Ключевые слова:* волокнистая суспензия, эффективность диспергирования, конструкция, роторно-пульсационный аппарат.

Роторно-пульсационные аппараты (РПА) применяют во многих отраслях народного хозяйства, в том числе в целлюлозно-бумажной промышленности [4].

Однако диспергирование волокнистой суспензии в РПА при низких концентрациях массы изучено мало и принципиально новых разработок в этой области нет.

Энергетическая оценка физических факторов, воздействующих на волокно в аппаратах различного типа, представлена на рис. 1 (по данным [1, 5]).



Из рис. 1 видно, что наиболее благоприятным условием повышения эффективности процесса диспергирования является усиление механического воздействия на волокно.

С целью изучить процесс диспергирования волокнистой суспензии в РПА был создан экспериментальный стенд [2, 3]. По результатам проведенных экспериментов получена зависимость отношения затрачиваемой на диспергирование общей мощности  $N_p$  к критерия Рейнольдса (рис. 2).

Как видно из рис. 3, с увеличением частоты вращения ротора более 37,5 об./с даже при концентрации суспензии 0,5 % наблюдалось резкое снижение расхода. Это вызвано тем, что время совмещения прорезей ротора с прорезями статора настолько мало, что флоккулы размером 3 ... 5 мм не успевают пройти через зону диспергирования и, как следствие, происходит забивание РПА.

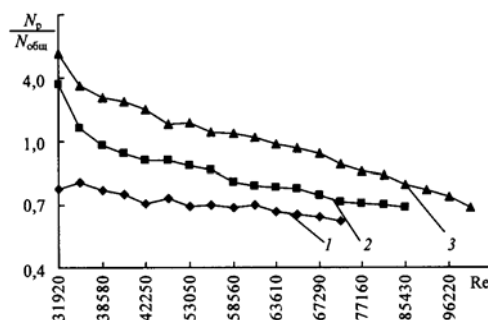


Рис. 2. Зависимость отношения мощности, затрачиваемой на диспергирование, к общей мощности от критерия Рейнольдса для суспензии сульфитной бленой целлюлозы различной концентрации: 1 – 0,5 %; 2 – 1,0; 3 – 1,5 %

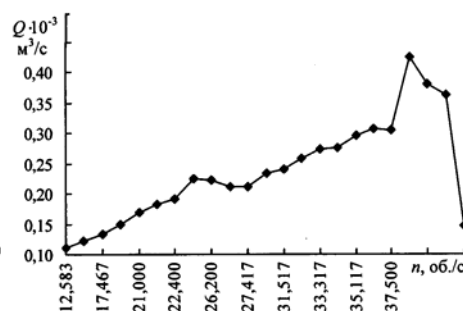


Рис. 3. Зависимость расхода  $Q$  от частоты вращения ротора  $n$  (обрабатываемый материал – волокнистая суспензия сульфитной бленой целлюлозы концентрацией 0,5 %)

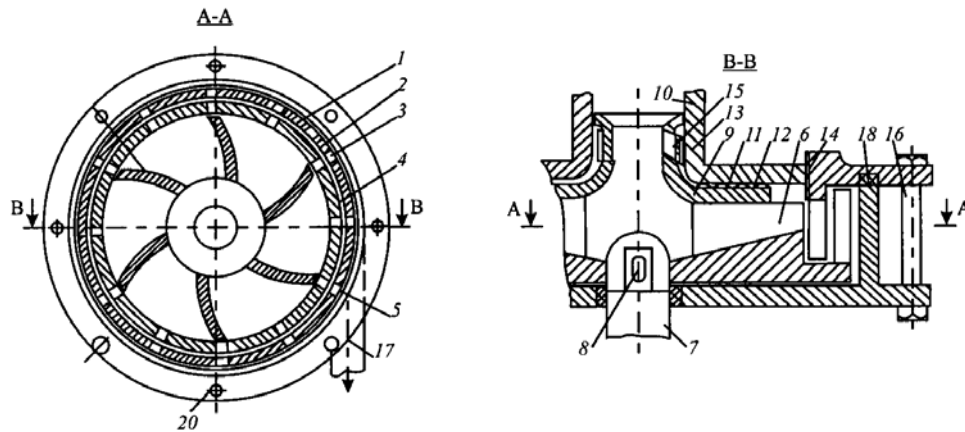


Рис. 4. Роторно-пульсационный аппарат для диспергирования волокнистой суспензии концентрации 0,5 ... 2,0 %: 1 – статор; 2 – корпус; 3, 5 – прорезы статора и ротора; 4 – ротор; 6 – клиновидные лопасти; 7 – вал; 8 – шпонка; 9 – насадка; 10 – входной патрубков; 11 – кольцевой канал; 12 – рифления на стенках ротора и статора; 13 – горловинообразная часть статора; 14 – резьба; 15 – направляющие отверстия; 16 – болты; 17 – выходной патрубков; 18 – прокладка; 19 – лапы; 20 – отверстия для крепления

Для исключения этой проблемы нами предложена конструкция РПА, представленная на рис. 4.

Предложенная конструкция РПА позволяет: использовать аппарат для эффективного диспергирования волокнистой суспензии различной концентрации за счет регулируемого канала в горловинообразной части ротора и статора; практически не снижая производительность аппарата, повысить степень диспергирования за счет усиления механического воздействия на волокно; снизить разрушение отдельных волокон в основном диспергированном потоке за счет уменьшения ударного и кавитационного воздействий.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Гаузе, А.А. Оборудование для подготовки бумажной массы [Текст] / А. А. Гаузе, В. Н. Гончаров, И. Д. Кугушев. – М.: Экология, 1992. – 352 с.
2. Мидуков, Н.П. Моделирование роторно-пульсационного аппарата для получения эмульсий, используемых в ЦБП [Текст] / Н.П. Мидуков, А.О. Никифоров, В.С. Куров // Молодые ученые университета – ЛПК России: сб. докл. и сообщений. – СПб.: Изд-во СПбГТУРП, 2006. – С. 20–22.
3. Мидуков, Н.П. Повышение эффективности процесса диспергирования многофазных систем при производстве бумаги и картона [Текст] / Н.П. Мидуков, А.О. Никифоров, В.С. Куров // Новое в технологии и оборудовании для производства гофрокартона и гофротары: материалы междунар. науч.-практ. конф. – СПб.: Изд-во СПбГТУРП, 2007. – С. 80–82.
4. Мидуков, Н.П. Применение роторно-пульсационного аппарата для получения эмульсий и суспензий [Текст] / Н.П. Мидуков // Машины и аппараты целлюлозно-бумажного производства: межвуз. сб. науч. тр. – СПб., 2007. – С. 31–35.

5. Пузырев, С.С. Технология целлюлозно-бумажного производства [Текст]: в 3 т. Т. 1. Сырье и производство полуфабрикатов: в 3 ч. Ч. 3. Производство полуфабрикатов/ С.С. Пузырев, Э.В. Виролайнен, Ю.А. Поляков, А.М. Кряжев. – СПб.: Политехника, 2004. – 316 с.

С.-Петербургский государственный  
технологический университет  
растительных полимеров

Поступила 20.11.07

*N.P. Midukov, V.S. Kurov, A.O. Nikiforov*

Saint-Petersburg State Technological University of Plant Polymers

### **Increasing Efficiency of Fiber-suspension Dispersion Process in Rotor-Pulsation Device**

Based on the assessment results of physical factors affecting the fiber under treatment in rotor-pulsation device and based on the experimental data obtained a new design of the device is proposed allowing to increase the dispersion process efficiency.

Keywords: fiber suspension, dispersion efficiency, design, rotor-pulsating device.



УДК 634.0.861.15: 547.922.3

***Н.А. Секушин, А.П. Карманов***

Секушин Николай Александрович – кандидат физико-математических наук, старший научный сотрудник Института химии Коми НЦ УрО РАН. Имеет около 70 публикаций в области физико-химических методов исследования, ИК-спектроскопии, рентгеноструктурного анализа, степени кристалличности целлюлозы.



Карманов Анатолий Петрович родился в 1948 г., окончил в 1971 г. Куйбышевский политехнический институт, доктор химических наук, заведующий лабораторией физикохимии лигнина Института химии Коми НЦ УрО РАН. Имеет более 250 печатных работ в области физикохимии полимеров, химии лигнина, самоорганизации, фракталов, нелинейной динамики.



**РАЗРАБОТКА НОВЫХ ПОДХОДОВ К ОПИСАНИЮ  
КИНЕТИКИ ПОЛИХРОННОГО ТИПА**

Определены математические признаки полихронной кинетики; предложены две новые нелинейные модели, которые делают возможным описание неполихронных составляющих кинетического поведения частиц. С помощью предлагаемых моделей объяснены некоторые особенности кинетики делигнификации древесины.

*Ключевые слова:* полихронная кинетика, аппроксимация, математическая модель, делигнификация, ансамбль, константа скорости, энергия активации.

Характерными особенностями щелочной делигнификации древесины, как показывают исследования [4, 5], являются: кинетическая остановка реакции, наблюдаемая в низкотемпературной области; экстремальный характер изменения скорости процесса; невыполнение принципа температурно-временной суперпозиции. Кроме того, анализ топохимических аспектов делигнификации свидетельствует, что процессы растворения лигнинов, локализованных в различных морфологических элементах растительной клетки, разделены во времени и пространстве; скорость делигнификации срединной пластинки и клеточной стенки в каждый момент времени не пропорциональна концентрации в них лигнина. Очевидно, кинетическое уравнение первого порядка, на котором чаще всего основано описание кинетики процессов делигнификации, не может считаться адекватным.

Широкую известность приобрела теория делигнификации Горинга [7], основанная на гипотезе о существовании в древесине двух типов лигнинового полимера – лигнина срединной пластинки и лигнина вторичной клеточной стенки. В соответствии с этой теорией основной вклад в процесс делигнификации на начальной стадии вносит дегградация лигнина вторичной клеточной стенки, когда лигнин срединной пластинки еще практически не начал растворяться. На заключительной стадии делигнификации преимущественно растворяется лигнин срединной пластинки.

Один из перспективных подходов предложен в работе [1], в которой интерпретация результатов делигнификации древесины проведена в рамках модели полихронной кинетики. Особенности кинетики делигнификации, по мнению авторов [1], обусловлены спецификой твердофазного состояния природного лигнина и связаны с различиями в молекулярной подвижности извлекаемых фрагментов лигнина.

Цель данной работы – дальнейшее развитие подходов полихронной кинетики и их апробация для описания кинетического поведения лигнина в варочных процессах.

Варки проэкстрагированной спирто-бензольной смесью сосновых опилок (фракция 0,5 ... 1,0 мм) проводили во вращающихся автоклавах из нержавеющей стали емкостью 5 мл в изотермических условиях. Заданную температуру поддерживали с точностью  $\pm 0,5$  °С. Отсчет времени начинали через 2 мин после погружения автоклавов в масляную баню, поскольку для достижения конечной температуры варочного раствора требуется соответствующее время. Варочный раствор: ДМСО – H<sub>2</sub>O (9:1). Расход NaOH (относительно навески древесины) составлял 100 %. Модуль 1:100.

Кинетику растворения лигнина исследовали спектрофотометрическим методом (оптическая плотность при 280 нм) путем анализа черных щелоков. Как было установлено в предварительных опытах, продукты щелочного гидролиза полисахаридов также поглощают в ультрафиолетовой области, поэтому необходимо было учесть погрешность данного метода. Для этого из исследуемого образца древесины были выделен препарат холоцеллюлозы, который использовали для параллельных варок. Затем измеряли оптическую плотность черного щелока (после соответствующего разбавления) относительно черного щелока после варки холоцеллюлозы.

В качестве величины, характеризующей степень делигнификации  $\alpha$ , принято отношение количества растворенного лигнина к его содержанию в исходной древесине. Поскольку расход взятой на варку щелочи достаточно велик, то наблюдаемые закономерности можно связать с кинетическим поведением собственно лигнина, тогда как влиянием изменения концентрации щелочи, в том числе за счет взаимодействия с полисахаридами, можно в первом приближении пренебречь. Многочисленные исследования кинетики варки позволяют констатировать, что скорость делигнификации является функцией в первую очередь интенсивных параметров процесса – температуры  $T$  и концентрации активного реагента  $C$ .

Однако выводы относительно механизма и кинетических закономерностей делигнификации можно делать лишь при специальной постановке эксперимента, позволяющей поддерживать интенсивные параметры процесса на одном уровне.

В данной работе для поддержания  $T = \text{const}$ ,  $C = \text{const}$  нами использованы измельчение древесины (опилки); минимальные навески древесины (до 50 мг); максимальный гидромодуль варки (1:100); применение

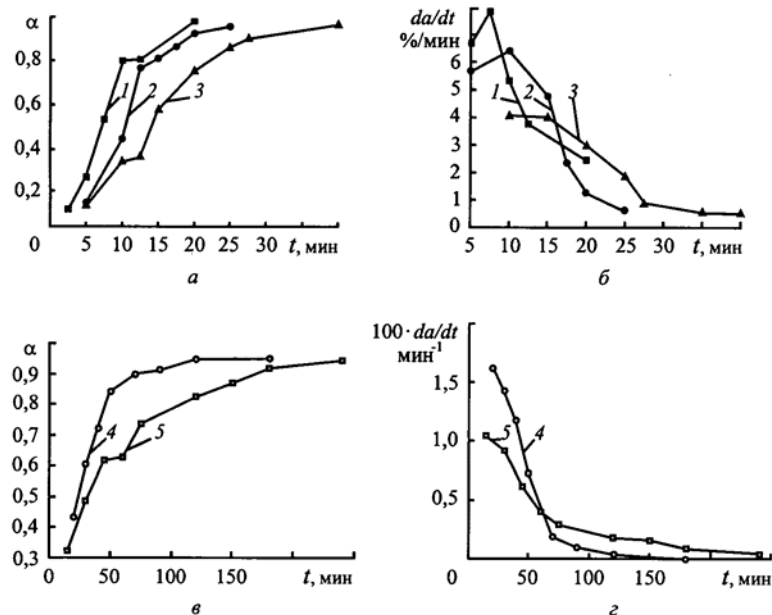


Рис. 1. Зависимость степени делигнификации  $\alpha$  (а, в) и скорости делигнификации  $da/dt$  (б, з) от времени нахождения образца в растворе, имеющем температуру 178 (1), 168 (2), 158 (3), 148 (4), и 139 °C (5)

микроавтоклавов (малая масса); предварительная пропитка древесины варочным раствором при комнатной температуре (до 90 мин).

Благодаря этому удалось добиться сужения зоны неизотермичности до 2 ... 3 мин, равномерной пропитки древесины до начала интенсивных химических реакций, т.е. исключения стадии макродиффузии, и постоянства концентрации активного реагента в ходе всего варочного процесса.

На рис. 1, а, в приведены экспериментальные кинетические кривые степени делигнификации древесины  $\alpha$ , а на рис. 1, б, з – кинетические кривые скорости делигнификации  $da/dt$ , построенные при различных значениях температуры. Кривые, отражающие зависимость скорости делигнификации от времени, получены из исходных данных (рис. 1, а, в) после сглаживания методом В-сплайна [3] и численного дифференцирования, выполненных с помощью программы «Компас-3D LT 5.11».

Как показал анализ кинетических кривых, процесс делигнификации древесины не вписывается в простые модели химической кинетики, в том числе в стандартную модель полихронной кинетики. Кроме того, отмечены различия характера делигнификации при варке в области высоких (рис. 1, а, б) и низких (рис. 1, в, з) температур. На кривых скорости делигнификации наблюдаются максимумы и точки перегиба, что нехарактерно для типичной модели полихронной кинетики. В связи с этим предпринята попытка объяснить полученные результаты в рамках нелинейных моделей полихронной кинетики. Не преувеличивая значение конкретно нашего эксперимента, следует



отметить, что и в других работах, при непредвзятом отношении к экспериментальным данным, можно обнаружить характерные признаки нелинейности (например, при аффинном преобразовании кинетических данных [5]).

Для обоснования предлагаемого нами подхода сформулируем определение полихронной кинетики. Согласно [1, 4, 5, 7], уравнение дискретной полихронной кинетики можно представить в виде суммы спадающих экспонент:

$$y(t) = \sum_{i=1}^m n_i e^{-\frac{t}{\tau_i}} = \sum_{i=1}^m n_i e^{-k_i t}, \quad (1)$$

где  $y(t)$  – функция времени;

$m$  – общее число ансамблей;

$n_i$  – размер  $i$ -го ансамбля;

$t$  – время;

$k_i$  и  $\tau_i$  – константа скорости и характеристическое время  $i$ -го ансамбля.

Функция (1) является общим решением линейного дифференциального уравнения  $m$ -го порядка [6]. Системы, у которых выходной сигнал связан с входным сигналом линейным дифференциальным уравнением, называются линейными. Важнейшее свойство таких систем – принцип суперпозиции, который формулируется следующим образом. Если на вход линейной системы подать сумму сигналов  $x_1 + x_2$ , то выходной сигнал равен сумме  $y_1 + y_2$  (где  $y_1, y_2$  – соответственно решения уравнений для сигналов  $x_1, x_2$ ). Таким образом, сигналы, проходящие через линейные системы, не влияют друг на друга. Отсюда можно сделать вывод, что полихронность, определяемая соотношением (1), эквивалентна линейности. Последнее означает, что ансамбли в системе не влияют друг на друга. Очевидно, что в сложных системах линейность возможна лишь в достаточно узком диапазоне параметров.

Соотношение (1) допускает квантовую интерпретацию. Пусть имеется система из  $m$  уровней энергии, на которых располагаются частицы. В этом случае величина  $n_i$  – заселенность  $i$ -го уровня. На данную систему воздействует поток фононов, которые являются квазичастицами. Каждый уровень характеризуется средним временем «оседлой жизни» частицы  $\tau_i$  (это величина эквивалентна характеристическому времени). Среднее время  $\tau_i$  обратно пропорционально вероятности взаимодействия фонона с частицей. Как только такое взаимодействие происходит, частица вступает в реакцию.

Существуют физико-химические системы с распределенными параметрами, в которых связь между размером ансамбля  $n_i$  и константой скорости  $k_i$  задается непрерывной функцией. Если для таких систем использовать функцию (1), то, во-первых,  $m \rightarrow \infty$ , а, во-вторых,  $n_i \rightarrow 0$ . Поэтому необходимо ввести некоторую функцию распределения членов ансамблей по пространству констант скорости:

$$n(k) = \frac{n_i}{dk}, \quad (2)$$

где  $dk$  – дифференциал константы скорости.

Деление двух бесконечно малых величин (2) дает конечную величину. Таким образом, можно ввести понятие непрерывной полихронной кинетики:

$$y(t) = \int_0^{\infty} n(k)e^{-kt} dk. \quad (3)$$

Интеграл (3) по структуре совпадает с преобразованием Лапласа [2], но по сути принципиально отличается от последнего тем, что является чисто вещественным (под знаком интеграла отсутствуют комплексные величины). Поэтому было бы логично называть соотношение (3) «вещественным» преобразованием Лапласа.

Основная задача анализа кинетических данных заключается в определении распределения  $n(k)$  по известной функции  $y(t)$ . Поскольку обратный оператор для (3) не существует в виде формулы, то имеет смысл составить таблицу вещественных преобразований Лапласа по аналогии с комплексным преобразованием Лапласа [2].

В табл. 1 приведены результаты интегрирования различных распределений  $n(k)$ . Наличие в подынтегральном выражении затухающей экспоненты обеспечивает сходимость интеграла (3) для всех ограниченных по величине функций  $n(k)$ . Во втором столбце приведены также выражения для начальной точки кинетической кривой, в последнем столбце – графики распределений  $n(k)$ .

Следует отметить, что реакция второго рода Т3 является частным случаем непрерывной полихронной кинетики (3). Функции из табл. 1 обладают общим свойством – все они и их производные по времени монотонно уменьшаются по абсолютной величине до нуля. При этом все нечетные производные отрицательны, четные – положительны. Мы предлагаем называть их функциями полихронного типа. Такой вид временных функций можно считать математическим признаком полихронности. Однако не все функции из табл. 1 пригодны для описания кинетических данных. Необходимым условием является также ограниченность функции при  $t = 0$ . Для функций Т2 и Т4 это не соблюдается. Величина  $y(0)$  имеет простой физический смысл. Она равняется численности кинетических частиц, участвующих в процессе (в условных единицах). Поскольку число частиц не зависит от температуры, то при изменении температуры эта точка не должна изменять своего положения.

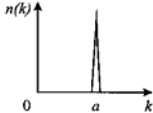
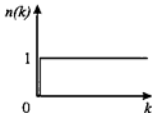
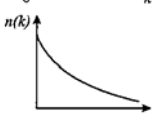
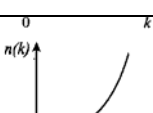
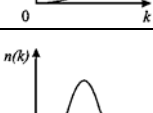
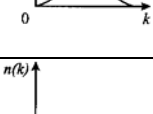
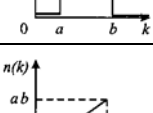
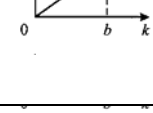
Начальную точку для дискретной полихронной кинетики (1) найдем из уравнения

$$y(0) = \sum_{i=1}^m n_i,$$

а для непрерывной кинетики (3) – с помощью интеграла

$$y(0) = \int_0^{\infty} n(k)dk.$$

Таблица 1  
 Типы кинетических кривых и соответствующие им распределения частиц по константам скорости  $n(k)$

Номер по порядку	Уравнение кинетической кривой	Распределение частиц по константам скорости	Графики распределений
1	$y(t) = e^{-at}$ $y(0) = 1$	Дельта-функция: $n(k) = \delta(k - a)$	
2	$y(t) = \frac{1}{t}$ $y(0) = \infty$	Ступенчатая функция: $n(k) = \begin{cases} 1 & \text{при } k \geq 0 \\ 0 & \text{при } k < 0 \end{cases}$	
3	$y(t) = \frac{1}{a+t}$ $y(0) = \frac{1}{a}$	$n(k) = \exp(-ak)$	
4	$y(t) = \frac{m!}{t^{m+1}}$ $y(0) = \infty$	$n(k) = k^m$ $m$ – целое положительное число	
5	$y(t) = \frac{b-a}{(a+t)(b+t)}$ $y(0) = \frac{b-a}{ab}$	$n(k) = \exp(-ak) - \exp(-bk)$	
6	$y(t) = \frac{A}{t}(e^{-at} - e^{-bt})$ $y(0) = A(b-a)$	$n(k) = \begin{cases} A & \text{при } a < k < b \\ 0 & \text{при } k < a, k > b \end{cases}$	
7	$y(t) = \frac{a}{t^2}(1 - e^{-bt} - tbe^{-bt})$ $y(0) = \frac{ab^2}{2}$	$n(k) = \begin{cases} ak & \text{при } 0 < k < b \\ 0 & \text{при } k < 0, k > b \end{cases}$	
8	$y(t) = \frac{b}{at^2}(at - 1 + e^{-at})$ $y(0) = \frac{ab}{2}$	$n(k) = \begin{cases} -\frac{b}{a}k + b & \text{при } 0 < k < a \\ 0 & \text{при } k < 0, k > a \end{cases}$	

Примечание. Ссылки в тексте на формулы из табл. 1 помечены буквой «Т» с указанием номера строки.

Таким образом, площадь под кривой распределения  $n(k)$  должна быть ограничена по величине и независима от температуры. Этот интеграл является инвариантом по отношению к изменению температуры, что помогает сшивать кинетические данные, полученные при разных температурах.

Обычно полихронную кинетику изображают в виде интегральной монотонно растущей или монотонно убывающей функции. Такую функцию необходимо численно продифференцировать, что придаст ей стандартный полихронный вид: функция равна нулю при отрицательном времени, в нуле происходит выброс и далее она монотонно снижается до нуля. Такие ограниченные по времени и величине функции в математическом плане весьма удобны для моделирования химических процессов.

Таким образом, экспериментально полученные кривые скорости деградации имеют отклонения от полихронной кинетики. В этой связи нами предложена новая модель – модель «автомобильной пробки», в рамках которой возможно описание двух типов кинетического поведения.

*Первый тип кинетики* можно охарактеризовать следующей ситуацией. Пусть в некотором населенном пункте произошло стихийное бедствие, и все население одновременно на автомобилях эвакуируется из города. Рассмотрим главную магистраль. Автомобильный поток на ней охарактеризуем дифференциальным уравнением

$$\frac{dn_1}{dt} = -K_1 n_1 (m_1 + n_0 - n_1), \quad (4)$$

где  $n_1$  – функция времени  $t$ , равная числу автомобилей, оставшихся в городе на момент времени  $t$ ;

$K$  – константа;

$m_1$  – количество свободных мест на магистрали в начале процесса;

$n_0$  – начальное число автомобилей.

Уравнение (4) показывает, что поток автомобилей пропорционален их числу и количеству свободных мест на магистрали ( $m_1 + n_0 - n$ ), поскольку движение происходит в виде перемещения с занятого на свободное место.

Решение уравнения (4) имеет следующий вид:

$$n_1 = \frac{m_1 + n_0}{1 + \frac{m_1}{n_0} \exp[(m_1 + n_0)K_1 t]}. \quad (5)$$

После дифференцирования (5) получим выражение для первого потока автомобилей  $V_1$ :

$$V_1 = -\frac{dn_1}{dt} = \frac{K_1 (m_1 + n_0)^2 \frac{m_1}{n_0} \exp[(m_1 + n_0)K_1 t]}{\left(1 + \frac{m_1}{n_0} \exp[(m_1 + n_0)K_1 t]\right)^2}. \quad (6)$$

Функция (6) является упрощенным вариантом известной в математике функции Asym2Sig (Asymmetric Double Sigmoidal), сделаем в ней следующие замены:

$$\beta_1 = \frac{m_1}{n_0} - \text{пропускная способность магистрали в начале эвакуации,}$$

равная отношению свободного пространства на дороге к занятому;

$$\gamma = m_1 + n_0 - \text{общая площадь магистрали;}$$

$$k_1 = K_1(m_1 + n_0) - \text{константа в показателе экспоненты.}$$

После замены получим

$$V_1 = \frac{k_1 \gamma \beta_1 \exp k_1 t}{[1 + \beta_1 \exp(k_1 t)]^2}. \quad (7)$$

Таким образом, выражение для потока автомобилей можно охарактеризовать тремя параметрами, два из которых зависимы:  $\gamma = 1 + \beta$ , если принять  $n_0 = 1$ .

Положение максимума (7) найдем по формуле

$$t_{\max} = \frac{1}{k_1} \ln \frac{1}{\beta_1}. \quad (8)$$

Значение потока в точке максимума

$$V_{1\max} = \frac{k_1 \gamma}{4}. \quad (9)$$

Из соотношений (8) и (9) следует, что если на кривой  $V(t)$  обнаружен максимум и измерены его координаты, то это позволяет полностью восстановить всю зависимость, описываемую уравнением (7).

*Второй тип кинетики* можно охарактеризовать следующей ситуацией. Предположим, что часть автомобилей не попала на главную магистраль, а находится на боковых улицах в поисках выезда на главную дорогу. Поток этой части автомобилей можно описать следующим уравнением:

$$\frac{dn_2}{dt} = -K_2 n_2 (m_1 + n_0 - n_1), \quad (10)$$

где  $n_1$  и  $n_2$  – соответственно число автомобилей на магистрали и боковых улицах;

$K_2$  – константа.

Уравнение (10) показывает, что второй поток автомобилей в этом случае пропорционален их числу и количеству свободных мест на магистрали. Если разделить (10) на (4), то получим

$$\frac{dn_2}{n_2} = \mu \frac{dn_1}{n_1}, \quad (11)$$

где  $\mu = \frac{K_2}{K_1}$ .

Запишем решение уравнения (11):

$$\frac{n_2}{n_{20}} = \left( \frac{n_1}{n_{10}} \right)^\mu, \quad (12)$$

где  $n_{10}$  и  $n_{20}$  – число автомобилей в начальный момент времени соответственно на магистрали и боковых улицах.

После дифференцирования (12) по времени и подстановки (5) получим выражение для второго потока автомобилей:

$$V_2 = \frac{\mu \gamma^\mu k_1 \beta_2 \exp(k_1 t)}{[1 + \beta_2 \exp(k_1 t)]^{\mu+1}}, \quad (13)$$

где  $\beta_2$  – пропускная способность боковых улиц; очевидно, что  $\beta_2 \ll \beta_1$ .

На рис. 2 приведены примеры функций (7) и (13) для определения  $V_1$  и  $V_2$ .

Отсюда можно сделать следующие выводы. Функция (7) является симметричной и имеет максимум, который приходится на равенство свободных и занятых мест на магистрали. Функция (13) не является симметричной. У всех функций правые склоны являются затухающими экспонентами.

Таким образом, предлагаемая нами нелинейная модель автомобильной пробки открывает новые возможности в описании кинетического поведения. В частности, она позволяет интерпретировать кинетические кривые, имеющие максимум или точки перегиба, что невозможно в рамках полихронной кинетики.

Соотношение (7) было использовано для аппроксимации временной зависимости скорости делигнификации при температурах 139, 148, 158, 168 и 178 °С (рис. 3). В табл. 2 приведены параметры аппроксимирующих функций.

На рис. 3, в представлены результаты аппроксимации кинетической кривой делигнификации при температуре 139 °С. В этом случае весь набор экспериментальных данных не удастся охарактеризовать одной функцией (7). Кроме первого основного распределения, просматривается также и второе с максимумом около 150 мин. Очевидно, в этом случае имеет смысл говорить о двух процессах. Первый процесс, по нашему мнению, соответствует соотношению (7) и охватывает около 60 % молекул лигнина. Параметры этого процесса ( $k_1$  и  $\beta_1$ ) отражены в табл. 2. Второй процесс может быть описан функцией (13). Параметры этого процесса ( $k_2$  и  $\beta_2$ ) также отражены в табл. 2.

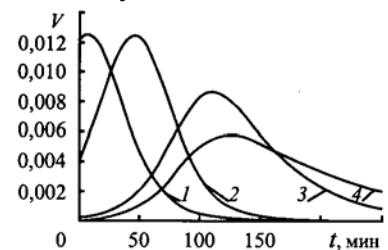


Рис. 2. Графики временных функций (7) (кривые 1 и 2) и (13) (кривые 3 и 4) с параметрами  $\gamma = 1$ ,  $k = 0,05$ : 1 –  $\beta_1 = 0,7$ ; 2 –  $\beta_1 = 0,1$ ; 3 –  $\beta_2 = 0,01$ ;  $\mu = 0,4$ ; 4 –  $\beta_2 = 0,01$ ;  $\mu = 0,2$

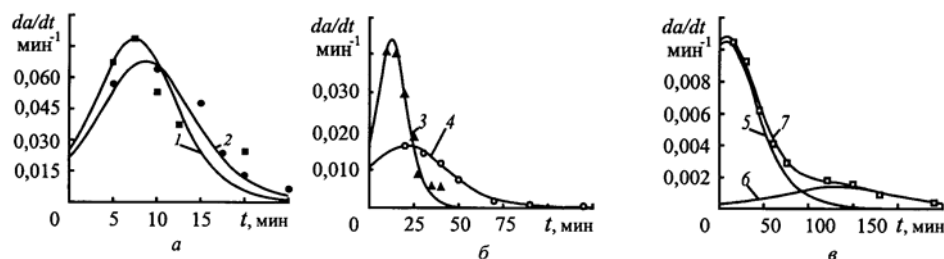


Рис. 3. Зависимости скорости делигнификации при температуре 178 (1), 168 (2), 158 (3), 148 (4) и 139 °С (5 – 7) от времени, аппроксимированные функциями (7) (кривые 1 – 5), (13) (кривая б) и их суммой (кривая 7)

Таблица 2

**Кинетические параметры аппроксимирующих функций (9), (15) и (16) процесса делигнификации**

Температура, °С	$k_1$	$k_2$	$\beta_1$	$\beta_2$	Доля лигнина, удаляемого по первому механизму, %
	мин <sup>-1</sup>				
178	0,314±0,002	-	0,095±0,002	-	92
168	0,270±0,002	-	0,095±0,002	-	92
158	0,175±0,002	-	0,110±0,005	-	90
148	0,065±0,001	-	0,250±0,010	-	80
139	0,042±0,001	0,017±0,001	0,740±0,010	≈0,01	60

Параметры функции (13) на рис. 3, в:  $k_1 = 0,042 \text{ мин}^{-1}$ ,  $\beta_2 = 0,01$ ,  $\mu = 0,4$ ;  $\mu\gamma^\mu k_1 = 0,39$ . Для определения константы скорости второго ансамбля  $k_2$  необходимо получить формулу правого склона кривой б на рис. 3, в. Для больших значений  $t$  в знаменателе (13) можно пренебречь единицей, после чего формула приобретает следующий вид:

$$\frac{da_2}{dt} \approx \frac{\mu\gamma^\mu k_1 \exp(k_1 t)}{\exp[(\mu + 1)k_1 t]} = \mu\gamma^\mu k_1 \exp(-\mu k_1 t).$$

Отсюда можно определить константу скорости второго ансамбля:  $k_2 = \mu k_1$ .

Расчет энергии активации для константы скорости первого ансамбля дал значение  $86 \pm 8 \text{ кДж/моль}$ . Полученная величина энергии активации соответствует уровню ожидаемых значений безотносительно к привязке к тому или иному типу кинетической модели и ранее опубликованным данным [1, 4, 5, 7]. Следует отметить, что результаты данного исследования позволяют дать адекватную количественную оценку сложного кинетического поведения соединения, в данном случае лигнина. Предлагаемая нелинейная модель автомобильной пробки открывает новые возможности в анализе

кинетики таких процессов, которые имеют кинетические кривые с точками перегиба или экстремумами, что было невозможно в рамках стандартной полихронной кинетики. В то же время вопрос о причинах наблюдаемых закономерностей остается открытым: к числу определяющих факторов можно отнести либо химическую неоднородность лигнина, либо специфику твердофазных реакций, либо существование лигнинов различного топологического типа. Очевидно, эту проблему можно решить только на основе проведения глубоких фундаментальных исследований структурной организации этого биополимера.

Таким образом, при исследовании щелочной делигнификации древесины сосны в системе ДМСО–H<sub>2</sub>O выявлен сложный характер кинетического поведения лигнина в ходе варки и установлено, что процесс делигнификации древесины не вписывается в рамки простых моделей химической кинетики, в том числе в стандартную модель полихронной кинетики. На основании теоретического анализа кинетики сложных процессов полихронного типа предложена модель автомобильной пробки и выведены нелинейные уравнения, отражающие два варианта поведения кинетических ансамблей. Показано, что исследуемый процесс зависит от двух механизмов делигнификации, которые отличаются не только кинетическими параметрами, но и математической моделью.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Белькова, Л.П. Полихронная кинетика азотнокислой делигнификации [Текст] / Л.П. Белькова, В.С. Громов, А.И. Михайлов // Химия древесины. – 1980. – № 6. – С. 59–60.
2. Дёч, Г. Руководство к практическому применению преобразования Лапласа и Z-преобразования [Текст] / Г. Дёч. – М.: Наука, 1971. – 288 с.
3. Завьялов, Ю.С. Методы сплайн-функций [Текст] / Ю.С. Завьялов, Б.И. Квасов, В.А. Мирошниченко. – М.: Наука, 1980. – 352 с.
4. Карманов, А.П. Исследование кинетики щелочной делигнификации древесины [Текст] / А.П. Карманов, Б.Д. Богомолов, В.Д. Давыдов // Химия древесины. – 1981. – № 5. – С. 63–71.
5. Карманов, А.П. Целлюлоза и лигнин – свойства и применение [Текст] / А.П. Карманов, Л.С. Кочева. – Сыктывкар, 2006. – 248 с.
6. Матвеев, Н.М. Методы интегрирования обыкновенных дифференциальных уравнений [Текст] / Н. М. Матвеев. – М., 1966. – 235 с.
7. Wood, J.R. The topochemistry in the chlorite delignification of spruce wood [Text] // J.R. Wood, P.A Ahlgren, D.A.I. Goring // Svensk papperstidn. – 1972. – A. 75, N 1. – S. 15–19.

Институт химии Коми НЦ УрО РАН

Поступила 14.12.06



---

*N.A. Sekushin, A.P. Karmanov*

Institute of Chemistry, Komi Scientific Centre, Ural Branch of RAS

### **Development of New Approaches to Polychronic Kinetics Description**

Mathematic characteristics of polychronic kinetics are determined. Two new non-linear models are suggested making possible the description of non-polychronic constituents of particles kinetic behavior. Some peculiarities of wood delignification kinetics are explained with the help the models offered.

Keywords: polychronic kinetics, approximation, mathematic model, delignification, ensemble, speed constant, activation energy.

УДК 676.12

**А.В. Кулешов, А.С. Смолин**

Кулешов Александр Васильевич родился в 1980 г. окончил в 2005 г. С.-Петербургский государственный технологический университет растительных полимеров, аспирант, ассистент кафедры технологии бумаги и картона СПбГТУРП. Имеет около 10 печатных научных работ в области использования вторичного волокна.



Смолин Александр Семенович окончил в 1962 г. Ленинградскую лесотехническую академию, доктор технических наук, профессор, заведующий кафедрой технологии бумаги и картона С.-Петербургского государственного технологического университета растительных полимеров. Имеет более 120 научных трудов в области изучения процессов бумажно-картонного производства, химии бумаги, использования вторичного волокна.



### **ВЛИЯНИЕ ЦИКЛИЧНОСТИ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ МАКУЛАТУРНОГО ВОЛОКНА НА БУМАГООБРАЗУЮЩИЕ СВОЙСТВА**

Изучено влияние цикличности использования растительных волокон на фракционный состав, среднюю длину волокна, водоудерживающую способность; определены различия свежих и вторичных волокон и основные причины снижения бумагообразующих свойств вторичных волокон.

*Ключевые слова:* макулатура, цикличность, ороговение, бумагообразующие свойства.  
*Характеристика макулатуры как источника волокна*

В отличие от первичных полуфабрикатов волокнистая масса из макулатуры представляет собой многокомпонентную систему, которая характеризуется высокой полидисперсностью и неоднородностью по компонентному составу. Макулатура, как источник вторичного волокна, состоит из смеси волокон различного происхождения и состояния (волокна беленых и небеленых видов целлюлозы, древесной массы, полуцеллюлозы, полученных из различных пород древесины различными способами с применением различных химикатов); набора включений неволокнистого характера и различной плотности, природы и происхождения (частицы наполнителя, типографской краски, связующих и проклеивающих веществ). При этом в макулатурной массе присутствуют включения, не только применяемые в композиции бумаги и картона, но и попавшие при сборе, транспортировке и упаковке макулатуры (песок, скотч, канатно-веревочные материалы и т.д.).

Таким образом, макулатура является достаточно ценным источником волокна для производства бумаги и картона, однако из-за ее неоднородности процесс подготовки макулатурной массы значительно отличается от подготовки массы из первичных полуфабрикатов. Он включает в себя боль-

шее количество стадий, а их условия зачастую отличаются от условий переработки первичных полуфабрикатов.

#### *Основные различия первичных и вторичных полуфабрикатов*

Главное отличие вторичных полуфабрикатов заключается в изначально низких бумагообразующих свойствах по сравнению с первичными волокнами.

Волокна в результате влияния технологических стадий изготовления бумаги и картона (ропуск, размол, сушка, отделка и т.д.), а также процессов переработки бумаги и картона (например, процессы гофрообразования) приобретают новые физические свойства, которые являются причиной ухудшения бумагообразующих свойств вторичного волокна.

Вторичные волокна характеризуются:

значительным изменением физических и химических свойств по сравнению с первичными;

пониженной прочностью индивидуальных волокон; мелкие обрывки волокон с поврежденной поверхностью имеют слабую способность к образованию межмолекулярных связей, а при формировании листа уменьшается механическое сцепление волокон;

ухудшением способности волокон к набуханию, гидратации и внутреннему фибриллированию;

повышенной восприимчивостью к измельчению в процессе роспуска и размола и, как следствие, ухудшением фракционного состава;

значительной потерей способности к образованию межволоконных химических водородных связей.

Необходимо выделить проблему цикличности использования макулатуры (многократное использование макулатуры в процессе производства бумажно-картонной продукции). Эта проблема является скрытой, так как на сегодняшний день невозможно определить количество производственных циклов с участием вторичного волокна, т. е. сколько раз макулатурные волокна подвергали роспуску, размолу, сушке и т.д.

Изучить проблему цикличности невозможно при исследовании промышленной макулатуры. Это объясняется следующим. Классический метод исследования предусматривает изменение только одного фактора, тогда как при применении промышленных марок макулатуры неизбежно будут меняться и другие факторы, например такие, как наличие наполнителей, проклеивающих и связующих веществ, а также композиция макулатуры.

Поэтому особая роль отводится исследованиям в рамках лаборатории, где может быть осуществлено моделирование процесса цикличности. При этом целесообразно в качестве объекта исследования использовать не промышленную макулатуру, а первичные полуфабрикаты.

Пониженные бумагообразующие свойства вторичных волокон приводят к тому, что вырабатываемая на их основе продукция имеет более низкую прочность по сравнению с материалами из первичных полуфабрикатов.

Авторами статьи были проведены исследования влияния цикличности на показатели прочности материалов из макулатуры марок МС-2А, МС-5Б, МС-8В. Макулатуру подвергали разволокнению в ролле, затем незначительному размолу с целью более полного разделения пучков и сгустков на отдельные волокна. На следующем этапе были изготовлены и испытаны образцы (масса 1 м<sup>2</sup> – 100 г). Результаты представлены в табл. 1.

Таблица 1

**Влияние цикличности использования макулатуры на показатели прочности**

Номер цикла	<i>P</i> , Н	ТЕА, Дж/м <sup>2</sup>	$\epsilon_p$ , %	<i>L</i> , м	<i>N</i> , ч.д.п.
МС-4А					
1	54,48	62,82	2,5	3702	233
2	45,96	47,96	2,3	3121	184
3	44,88	39,20	1,9	3049	122
4	36,84	29,06	1,8	2499	83
МС-5Б					
1	47,04	30,89	1,8	3192	71
2	45,84	29,90	1,5	3111	57
3	40,32	20,55	1,2	2733	48
4	34,08	16,58	1,2	2315	30
МС-8В					
1	31,32	25,46	1,7	2121	10
2	31,08	21,02	1,6	2111	7
3	24,24	14,98	1,5	1642	4
4	22,20	12,66	1,4	1509	3

Таблица 2

**Влияние цикличности использования макулатуры на водоудерживающую способность и длину волокна**

Номер цикла	<i>WRV</i> , %	<i>L</i> , мм	
		<i>L</i> <sub>ср.</sub>	<i>L</i> <sub>пр.</sub>
Сульфатная беленая хвойная целлюлоза (сосна)			
1	98,0	2,31	1,90
2	219,5	2,09	1,73
3	187,0	1,88	1,51
4	178,5	1,85	1,44
5	157,0	1,86	1,47
Сульфатная беленая лиственная целлюлоза (береза)			
1	102,5	1,00	0,87
2	192,0	0,97	0,82
3	165,0	0,98	0,82
4	175,5	0,99	0,83
5	161,0	0,93	0,78
Сульфатная небеленая хвойная целлюлоза (сосна)			
1	186,0	2,38	2,04
2	200,0	2,32	1,87

3	184,0	2,24	1,84
4	179,5	2,18	1,68
5	164,5	2,18	1,65

Как следует из полученных данных, для всех марок макулатуры наблюдается снижение бумагообразующих свойств вторичных волокон с каждым последующим циклом переработки.

*Анализ причин снижения бумагообразующих свойств вторичных волокон*

Снижение бумагообразующих свойств вторичных волокон обусловлено явлением «необратимого» ороговения, физический смысл которого заключается в снижении величины характеристики водоудержания волокнистой массой при центрифугировании. Это явление косвенно выражается в уменьшении способности волокон к набуханию и гидратации в процессе размола и выдерживания макулатурной массы перед подачей на машину.

Авторами были проведены исследования влияния цикличности на водоудерживающую способность  $WRV$ , среднюю  $L_{ср}$  и проекционную  $L_{пр}$  длину волокон массы из первичных полуфабрикатов [2]. Размол производили на лабораторной мельнице PFI до степени помола 35 °ШР, кроме первого цикла, где степень помола соответствовала исходной товарной целлюлозе. Данные эксперимента представлены в табл. 2.

Как следует из полученных данных, при цикличном использовании наблюдается снижение средней длины волокна, а также водоудерживающей способности целлюлозных волокон.

Снижение водоудерживающей способности начинается с сухости 30 ... 35 % и продолжается до 70 ... 80 %. Причем это явление происходит не за счет усадки волокон, так как наибольшая усадка отмечена при сухости 80 %. С повышением сухости начинаются морфологические изменения в стенке волокна. Стенки под действием капиллярных сил приближаются друг к другу, микропоры сжимаются. Усадка происходит исключительно под прямым углом между слоями стенок волокон, стенки при этом становятся тоньше. К концу сушки вода из аморфной части целлюлозы удаляется, полностью исчезают поры диаметром менее 1 нм.

Усадка при сухости более 80 % необратима. Повторное набухание не способствует восстановлению первоначальных размеров волокна. Под воздействием сушки наблюдается потеря упругости волокна, увеличивается его хрупкость, снижается гибкость.

Кроме вопросов, связанных с ороговением, интересно рассмотреть явление термодеструкции полисахаридов при сушке. Полисахариды устойчивы к нагреванию примерно до температуры 100 °С, при дальнейшем ее повышении они начинают разрушаться со все возрастающей скоростью, при этом гемицеллюлозы более чувствительны к нагреванию, чем целлюлоза. Гемицеллюлозы аморфны, что объясняет их меньшую устойчивость к термической деструкции по сравнению с целлюлозой. Например, при темпера-

туре 120 ... 140 °С [1] начинается фрагментация макромолекул ксилана, что отрицательно сказывается на прочности бумаги.

В связи с этим необходимо отметить, что явление термодеструкции не следует отождествлять только с процессом сушки в сушильной части машины. Необходимо считаться с другими высокотемпературными процессами:

горячая термодисперсионная обработка – осуществляется при температуре 130 ... 150 °С в течение 6 ... 8 мин (проведенные исследования подтвердили отрицательное влияние данной термообработки на прочностные показатели) [3];

переработка картона и бумаги для гофрирования в гофрокартон; температура гофроматериалов при прохождении через гофроагрегат может достигать 160...180 °С, при этом гофрокартон после станка поперечной резки направляется в зону отлежки для обеспечения полного схватывания клея (этот процесс может длиться несколько суток); если учесть, что большая часть картона и флютинга изготавливается из макулатуры или с ее добавлением, то процессы гофрообразования становятся наиболее значимыми с точки зрения снижения бумагообразующих свойств.

Кроме явлений, связанных с воздействием температуры, можно выделить еще одну группу процессов, ухудшающих бумагообразующие свойства вторичного волокна. Это процессы, связанные с роспуском и размолом, которые сопровождаются разрушением волокнистой структуры, что приводит к увеличению количества как мелких волокон, обрывков, так и наружных повреждений (сжатия, вмятины и скручивания). И, как следствие, наблюдается ухудшение фракционного состава макулатурной массы – увели-

Таблица 3  
Влияние цикличности на фракционный состав целлюлозных полуфабрикатов

Номер цикла	Доля фракций с размером частиц, мм				
	0,20...0,60	0,60...1,20	1,20...2,00	2,00...3,00	3,00...7,00
Сульфатная беленая хвойная целлюлоза (сосна)					
0	23,1	22,5	22,0	20,5	11,9
1	38,5	22,2	17,4	14,2	7,8
2	42,7	23,7	16,2	12,0	5,4
3	43,3	24,7	15,7	11,4	4,9
4	42,4	24,7	16,5	11,4	5,0
5	43,5	25,4	16,2	10,5	4,4
Сульфатная беленая лиственная целлюлоза (береза)					
0	21,8	62,4	15,5	0,3	0,0
1	25,1	61,6	12,9	0,4	0,0
2	24,0	61,7	14,1	0,3	0,0
3	24,1	61,3	14,2	0,4	0,0
4	28,5	61,5	9,9	0,1	0,0
5	27,0	60,4	12,3	0,3	0,0
Сульфатная небеленая хвойная целлюлоза (сосна)					

0	24,0	19,3	20,7	23,1	12,9
1	26,1	20,1	20,9	21,4	11,5
2	26,4	20,8	21,3	21,0	10,5
3	28,0	22,1	21,5	19,2	9,2
4	26,4	22,7	21,3	20,6	9,0
5	28,0	22,9	22,5	18,7	8,0

чивается доля коротковолокнистой фракции и снижается доля длинноволокнистой и средневолокнистой фракций.

Наряду с увеличением доли мелочи одновременно происходит и ее активное удаление в технологических процессах (провал волокна под сетку и удаление мелочи из потока с избыточной оборотной водой). Причина этого явления заключается в том, что наружные фибриллы частиц мелочи скручиваются или разрушаются, после чего частицы легко удаляются. Особенно это характерно для целлюлозы из лиственных пород древесины.

В исследовании [2] было изучено влияние цикличности на фракционный состав. Фракционный состав определяли на лазерном анализаторе длины Kajaani FS300 фирмы «Metso». Метод основан на лазерном сканировании водной волокнистой суспензии с высокой степенью разбавления. Результаты представлены в табл. 3.

Снижению бумагообразующих свойств макулатурных волокон способствуют и частицы, пассивные к образованию химических связей между волокнами (частицы наполнителя, технологические добавки, связующие, частицы типографской краски и т.д.). Связующие, используемые в композиции бумаги или картона, при повторной переработке макулатуры переходят в разряд «неактивных» компонентов, которые не способны образовывать связи с волокном и по своим свойствам близки к свойствам наполнителя. Часть этих компонентов не удаляется на стадиях подготовки макулатурной массы, а остается на целлюлозных волокнах, блокируя гидроксильные группы и тем самым снижая бумагообразующие свойства волокон.

#### *Процессы подготовки макулатурной массы с точки зрения сохранения бумагообразующих свойств*

Процессы подготовки макулатурной массы должны быть направлены на сохранение и улучшение бумагообразующих свойств вторичного волокна.

*Роспуск.* Для эффективного роспуска необходимо использовать гидроразбиватели, специально предназначенные для работы с макулатурой, с правильно подобранными конструктивными элементами (тип ротора, количество направляющих ребер и т.д.) и режимом работы.

*Размол.* На предприятиях по переработке макулатуры в большинстве случаев используют дополнительный размол, что не всегда оправдано, так как это не всегда улучшает бумагообразующие свойства, а в случае с макулатурой зачастую снижает. Рекомендуется макулатурную массу подвергать фракционированию. Дополнительному размолу следует подвергать только

грубую длиноволокнистую фракцию, при этом характер размола должен быть фибриллирующим с минимальным укорачиванием волокна.

*Очистка и сортирование.* Задача этих операций – как можно более полное удаление загрязнений. При этом загрязнения необходимо выводить из потока на более ранних стадиях переработки макулатуры, чтобы избежать их измельчения или изменения формы.

*Введение добавок.* Для повышения прочности материалов на основе макулатурного волокна в массу необходимо вводить связующие и упрочняющие вещества (например, катионный крахмал), а также вещества для удержания волокон при отливе.

*Сушка.* Уменьшить отрицательное воздействие температуры на волокно не представляется возможным, однако при переработке макулатуры целесообразно увеличивать продолжительность набухания и гидратации волокна, что позволит частично восстановить бумагообразующие свойства.

#### *Реализация бумагообразующих свойств в производстве материалов из макулатуры*

Наиболее высока доля макулатуры (до 100 % в композиции) в производстве газетной, санитарно-бытовой бумаги, бумаги для гофрирования, а также макулатурного картона – тест-лайнера. В последние годы макулатурное волокно начинают добавлять в композицию бумаги и картона, которые ранее изготавливали только из первичных полуфабрикатов (картон крафт-лайнера, мешочная бумага, высококачественная печатная бумага).

Технологические схемы подготовки макулатурной массы можно разделить на три группы:

- для производства упаковочных видов бумаги и картона;
- для производства санитарно-бытовых видов бумаги;
- для производства писче-печатных видов бумаги.

При подготовке макулатурной массы для производства упаковочных видов бумаги и картона наиболее значимым является достижение наиболее высоких показателей механической прочности. Как правило, сырьем для получения макулатурной массы первой группы материалов является макулатура из тароупаковочных видов бумаги и картона. Процесс подготовки макулатурной массы для производства бумаги для гофрирования и тест-лайнера довольно прост, однако он должен включать все основные стадии подготовки макулатурной массы: роспуск, грубую очистку, дополнительное разволокнение, тонкую очистку и тонкое сортирование. Для получения макулатурной массы с более высокими бумагообразующими свойствами в процесс ее подготовки необходимо включать операции фракционирования и дефлокуляции. При наличии фракционатора длиноволокнистую фракцию можно дополнительно подвергать размолу с целью повысить механическую прочность картона. Выход макулатурной массы при данной переработке может достигать 93 %.



Основной проблемой подготовки макулатурной массы для производства санитарно-бытовых видов бумаги является снижение содержания липких веществ, частиц наполнителя, типографской краски, меловальных покрытий и других элементов, близких по своим свойствам к свойствам наполнителя. Для этого в технологической схеме должны присутствовать стадии флотации, промывки и диспергирования. Для достижения максимальной белизны необходима отбелка.

В производстве писче-печатных видов бумаги предъявляются еще более высокие требования к чистоте и белизне макулатурной массы. Сырьем для получения белой макулатурной массы служит офисная макулатура, а также макулатура из смеси журналов и газет. Для более полного удаления печатной краски и частиц наполнителя применяют две ступени флотации и две ступени промывки. Кроме этого, макулатурная масса подвергается двухступенчатой отбелке: первая ступень – пероксидом водорода (повышает белизну и обесцвечивает волокна), вторая ступень – дитионитом натрия или формамидином сульфоновой кислоты (FAS). Дитионит натрия и FAS позволяют дополнительно повысить степень и стабильность белизны макулатурной массы.

При наличии полного цикла переработки макулатуры (применение очистки, промывки, флотации, отбелки и т.д.) выход существенно понижается и может составлять 60 % и менее. Необходимо учитывать, что использование той или иной технологической схемы переработки макулатуры обусловлено экономической, технологической, экологической целесообразностью для каждого конкретного вида продукции и каждого конкретного предприятия.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Азаров, В.И.* Химия древесины и синтетических полимеров [Текст]: учеб. для вузов / В.И. Азаров, А.В. Буров, А.В. Оболенская. – СПб.: СПбЛТА, 1999. – 628 с.
2. *Смолин, А.С.* Бумагообразующие свойства растительных волокон при их неоднократном использовании [Текст] / А.С. Смолин, А.В. Кулешов, Е.С. Николаев // Целлюлоза. Бумага. Картон. – 2006. – Пилотный научный выпуск. – С. 27–31.
3. Технология целлюлозно-бумажного производства: в 3 т. Т.1. Сырье и производство полуфабрикатов. Ч. 3. Производство полуфабрикатов. – СПб.: Политехника, 2004. – 316 с.

С.-Петербургский государственный технологический университет растительных полимеров

Поступила 14.05.07

*A.V. Kuleshov, A.S. Smolin*

Saint-Petersburg State Technological University of Plant Polymers

---

---

## **Effect of Cyclic Use of Waste Paper Fiber on Paper-formation Properties**

The influence of cyclic use of plant fibers on breakup, mean fiber length, water retaining capacity is studied; the differences between fresh and secondary fibers and main reasons for lowering paper-formation properties of secondary fibers are determined.

Keywords: waste paper, cyclicality, cornification, paper-formation properties.

---

---



## ЭКОНОМИКА И ОРГАНИЗАЦИЯ ПРОИЗВОДСТВА

УДК 630\*79

**В.Н. Мякшин, Т.Н. Песьякова**

Мякшин Владимир Николаевич родился в 1980 г., окончил в 2002 г. Архангельский государственный технический университет, кандидат экономических наук, доцент кафедры экономики отраслей АГТУ. Имеет 20 печатных работ по проблемам сбалансированности развития регионального ЛПК.



Песьякова Татьяна Николаевна родилась в 1976 г., окончила в 1998 г. Архангельский государственный технический университет, аспирант кафедры экономики отраслей АГТУ. Имеет 12 печатных работ по проблеме применения сбалансированной системы показателей для регулирования деятельности регионального ЛПК.

**СИСТЕМА ПОКАЗАТЕЛЕЙ ДЛЯ ОЦЕНКИ  
СБАЛАНСИРОВАННОСТИ РЕГИОНАЛЬНОГО  
ЛЕСОПРОМЫШЛЕННОГО КОМПЛЕКСА**

Разработана оригинальная система абсолютных и относительных показателей статической, структурной и динамической сбалансированности лесопромышленного комплекса, обоснованы требования к показателям и принципы их построения, определены методы исчисления. Разработанная система позволяет количественно оценить уровень сбалансированности развития ЛПК в различных аспектах.

*Ключевые слова:* статическая, динамическая, структурная сбалансированность, пропорции, внутрикомплексные связи, производственные ресурсы, межпродуктовый баланс.

Одним из основных направлений в преодолении негативных явлений в деятельности лесопромышленного комплекса (ЛПК) и повышении его эффективности является достижение сбалансированности развития, которая представляет собой соответствие ресурсов, объемов производства и потребностей в продукции, рассматриваемое в динамике.

В настоящее время нет единой системы показателей и методов оценки уровня сбалансированности развития производств ЛПК, она осуществляется преимущественно на интуитивном уровне.

Лесопромышленный комплекс включает лесозаготовку, деревообработку, целлюлозно-бумажное производство, образующие полный технологический цикл со значительными объемами внутрикомплексных потоков продукции, размерами ввоза и вывоза сырья и готовой продукции за пределы региона.



Рис. 1. Схема процесса производства лесопроизводства

Исследования показали, что на внутрикомплексное потребление расходуется 25 % объема валовой продукции основных производств ЛПК, при этом более 50 % материальных затрат составляет собственная продукция [1]. Это позволяет сделать вывод о целесообразности оценки сбалансированности развития взаимосвязанных производств комплекса.

Процесс производства лесопроизводства, рассматриваемый в материально-вещественном аспекте, есть превращение ресурсов, имеющихся в распоряжении комплекса, в продукцию определенного объема, состава и качества, которая, в свою очередь, идет на пополнение производственных ресурсов и обеспечение непроизводственных нужд. Каждый цикл производства может быть условно представлен в виде схемы (рис. 1). Ресурсы являются «входом», процесс производства – «процессом», продукция и ее использование – «выходом», а пополнение ресурсов за счет продукции – «обратной связью». При исследовании сбалансированности в работе рассматриваются ресурсы живого труда, средств и предметов труда, а также продукция ЛПК, которая используется в производственных процессах комплекса. Развертывание системы пропорций комплекса осуществлено на основе выделения двух групп – по результатам производства (продукции) и по ресурсам. На основе исследования пропорций ЛПК выделены основные направления, по которым следует оценивать сбалансированность:

- производственных ресурсов;
- внутрикомплексных связей по производству и потреблению лесопроизводства.

При оценке сбалансированности производственных ресурсов в качестве элементов системы рассматривают ресурсы ( $R$ ) живого труда, средств труда, предметов труда и потребности в них производств комплекса ( $S$ ). Внутрикомплексные производственные связи оцениваются величинами валовой продукции по основным производствам ЛПК (собственные ресурсы) и внутрикомплексным потреблением (потребность в собственных ресурсах). При анализе функционирования ЛПК должны быть рассмотрены следующие виды сбалансированности:

- статическая, подразумевающая равенство балансируемых величин на определенный момент времени;
- динамическая, означающая равные темпы их роста;
- структурная, представляющая соответствие их структур.

Можно выделить две системы показателей: абсолютные – разность между элементами сбалансированности и относительные – отношение данных элементов.

К абсолютным относятся:

показатель статической сбалансированности ( $\Delta K_0$ ), выявляющий разность между величиной ресурсов ( $S$ ) и потребностей в них ( $R$ ) в натуральном или стоимостном выражении:

$$\Delta K_0 = S - R ; \quad (1)$$

показатель динамической сбалансированности ( $\Delta K_d$ ), представляющий разность темпов роста ресурсов ( $T_S$ ) и потребностей в них ( $T_R$ ):

$$\Delta K_d = T_S - T_R ; \quad (2)$$

показатель структурной сбалансированности ( $\Delta K_c$ ), выявляющий разность между долями каждого элемента данного ресурса ( $f_S$ ) в общем объеме ресурсов и потребностей в этом элементе ( $f_R$ ) в общем их объеме:

$$\Delta K_c = f_S - f_R .$$

Конструирование системы показателей на основе первого принципа имеет ряд существенных недостатков. Во-первых, абсолютные показатели могут быть определены только для однородных и соизмеримых частей сравниваемых совокупностей. Во-вторых, они зависят, например, от масштабов производства, в силу чего не могут служить количественной характеристикой уровня сбалансированности. Для того чтобы исключить влияние размеров производства, нужно перейти от абсолютных показателей к относительным. Поскольку первые характеризуют несоответствие балансируемых величин, то отношение абсолютного показателя к одной из балансируемых величин (в данной работе к потребностям производств комплекса в ресурсах) следует назвать показателем несбалансированности:

статической

$$K_{н.о} = \frac{\Delta K_0}{S} = \frac{S - R}{S} ;$$

динамической

$$K_{н.д} = \frac{\Delta K_d}{T_S} = \frac{T_S - T_R}{T_S} ;$$

структурной

$$K_{н.с} = \frac{\Delta K_c}{f_S} = \frac{f_S - f_R}{f_S} .$$

Тогда показатель сбалансированности из естественных посылок можно определить как разность между единицей (полная сбалансированность) и показателем несбалансированности  $K_n$ . Таким образом, уровень

сбалансированности можно количественно оценить с помощью следующей системы относительных показателей сбалансированности:

статической

$$K_0 = 1 - K_{н.о} = 1 - \frac{S - R}{S} = \frac{R}{S};$$

динамической

$$K_d = 1 - K_{н.д} = 1 - \frac{T_S - T_R}{T_S} = \frac{T_R}{T_S};$$

структурной

$$K_c = 1 - K_{н.с} = 1 - \frac{f_S - f_R}{f_S} = \frac{f_R}{f_S}.$$

Разработанная система позволяет количественно оценить уровень сбалансированности как в целом по ЛПК, так и по отдельным направлениям (табл. 1). Сопряженным с этим показателем, дополняющим его до единицы, является показатель несбалансированности, измеряющий долю несоответствия ресурсов и потребностей в общих потребностях. При оценке сбалансированности абсолютные показатели вместе с показателями несбалансированности могут быть использованы в качестве индикаторов для выявления диспропорций развития производств комплекса.

Таблица 1

**Система относительных показателей для оценки уровня сбалансированности**

Показатель сбалансированности	Математически формализованное выражение	Методика исчисления	Экономическое содержание показателя	Характеризуемый аспект сбалансированности
Статической	$K_0 = \frac{R}{S}$	Соотношение объемов ресурсов и потребностей в них (в натуральном или стоимостном выражении)	Характеризует обеспеченность потребности в ресурсах данного вида	Объемы ресурсов и потребности в них на определенный момент времени
Динамической	$K_d = \frac{T_R}{T_S}$	Соотношение темпов роста ресурсов и потребностей в них	Характеризует соответствие темпов роста ресурсов и потребностей в них	Темпы роста ресурсов и потребности в них
Структурной	$K_c = \frac{f_R}{f_S}$	Отношение доли каждого элемента данного ресурса в общем объеме ресурсов к доле потребностей в этом элементе в общем объеме потребностей	Характеризует различие структур ресурсов и потребностей в них	Структуры элементов ресурсов и потребности в них

Основным инструментом для расчета сбалансированности является межпродуктовый баланс (МПБ). Без его использования расчеты отдельных элементов либо совсем не могут быть выполнены, либо снижается их точность.

Для расчета показателей необходимо определить балансируемые величины, темпы их роста и структуру. Одну из балансируемых величин (числитель) находят по отчетным балансам, построенным на основе статистических данных. Это фактически потребленные ресурсы живого труда ( $T$ ), средств труда ( $F$ ), предметов труда ( $M$ ), объемы валовой ( $X$ ) и конечной ( $Y$ ) продукции основных производств комплекса, объемы собственной продукции, предназначенной для внутрикомплексного потребления ( $X - Y$ ) [2]. Другую балансируемую величину (знаменатель) устанавливают по расчетным балансам. Это, прежде всего, потребности в ресурсах, которые выражают непосредственно через фактические значения конечной продукции с помощью матрицы коэффициентов комплексных затрат, учитывающих прямые и косвенные взаимосвязи в пределах рассматриваемого комплекса производств. Показатели статической сбалансированности исчисляют как отношение балансируемых величин, рассчитанных по данным отчетных и расчетных балансов; динамической и структурной – как отношение темпов роста и показателей структуры балансируемых величин.

В результате расчетов получают матрицу показателей, которая позволяет оценить сбалансированность развития основных производств комплекса в их взаимосвязи. О степени сбалансированности можно судить по абсолютному отклонению от единицы.

Разработанная система показателей является центральным звеном методики, которая позволяет производить оценку сбалансированности отдельно по основным производствам и производственным ресурсам (трудовые, основные фонды, оборотные средства), а для экспресс-оценки в целом по региональному ЛПК (рис. 2). Данная методика предполагает использование модели МПБ в качестве инструмента для оценки уровня сбалансированности.

Первый этап это сбор и обработка экономической информации, главным образом статистического характера о функционировании ЛПК. Источником ее получения были ежегодные статистические сборники Архангельского областного комитета статистики [3]. Основой для построения первого квадранта МПБ послужили данные о производстве продукции ЛПК в 2005 г. (табл. 2).

Второй этап заключается в построении отчетного и расчетного межпродуктовых балансов и системы локальных балансов (основные, оборотные фонды, трудовые ресурсы) комплекса на основе подготовленной информационной базы. В ходе исследования разработаны МПБ ЛПК Архангельской области за 1999–2005 гг. Третий этап – расчет параметров балансовых моделей, четвертый – исчисление показателей статической, структурной и динамической сбалансированности.

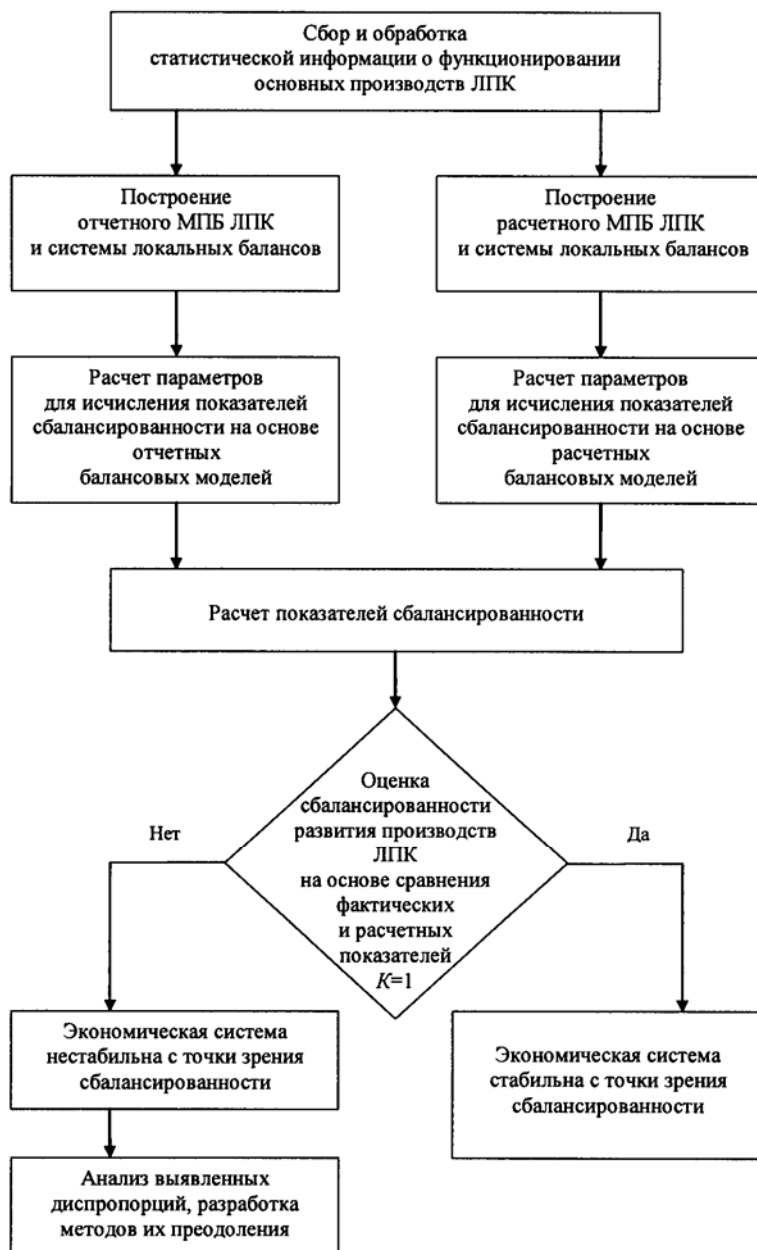


Рис. 2. Методика оценки сбалансированности развития ЛПК

Заключительным шагом методики является оценка степени сбалансированности развития основных производств ЛПК, базирующаяся на сравнении данных расчетных и отчетных локальных балансов, построенных для одного и того же объема конечной продукции комплекса, анализ выявленных диспропорций и разработка рекомендаций по их преодолению.



Таблица 2

## Производство отдельных видов продукции ЛПК

Показатель	Значение показателя
Вывозка древесины – всего, тыс. м <sup>3</sup>	9368,9
Древесина деловая, тыс. м <sup>3</sup>	9581,0
Пиломатериалы, тыс. м <sup>3</sup>	2117,6
Шпалы деревянные, тыс. шт.	82,6
Фанера клееная, тыс. м <sup>3</sup>	83,9
Тара деревянная и детали для нее, тыс. м <sup>3</sup>	15,9
Древесноволокнистые плиты, млн усл. м <sup>2</sup>	18,8
Товарная целлюлоза, тыс. т	809,4
Бумага, тыс. т	340,5
Картон, тыс. т	785,3
Мешки бумажные, млн шт.	83,9
Ящики из картона, млн м <sup>2</sup>	49,3
Тетради школьные, млн шт.	320,2
Бумага потребительская, тыс. пачек	2925

Предложенная методика апробирована при оценке уровня сбалансированности развития ЛПК Архангельской области. Проведенные исследования выявили значительные диспропорции в развитии лесозаготовительного производства: обеспеченность ресурсами на 26 % меньше потребностей в них, темп роста обеспеченности основными и оборотными фондами в 1,2 раза меньше темпов роста потребностей в них; при этом внутрикомплексные потребности в продукции лесозаготовительного производства обеспечиваются на 63 %, доля продукции лесозаготовки в общем объеме производства комплекса составляет 10 % при доле потребностей в их общем объеме 53 %, темпы роста объемов производства отстают от темпов роста потребностей в данной продукции на 17 %. Выявленные диспропорции неблагоприятно влияют на развитие производств комплекса. Для повышения сбалансированности необходимо развивать лесозаготовительное производство, направляя его продукцию, прежде всего, на удовлетворение внутренних потребностей.

Сбалансированности нельзя достичь с помощью чисто рыночного механизма. В условиях свободного, нерегулируемого рынка предприятия-производители реагируют лишь на текущие колебания конъюнктуры. За короткое время невозможно привести в действие стимулы для внедрения достижений научно-технического прогресса, что требует больших затрат и не дает быстрой отдачи. Поэтому для обеспечения динамической сбалансированности необходимы меры государственного воздействия.

В каждый данный момент существует приоритет отдельных производств по сравнению с другими в темпах развития и инвестициях. Дифференциация должна исходить из интересов всех производств как целого, но в известной мере ограничивает раскрытие потенциальных возможностей каждого из них в отдельности. Поэтому регулировать темпы и пропорции раз-

вития ЛПК следует на уровне всего комплекса. Экономическая система стихийно приспосабливается, ориентируясь на производство, отстающее от потребностей. Отсюда возникает недоиспользование (потеря) эффекта быстрее развивающихся производств.

Основными направлениями повышения сбалансированности являются: изменение производственной структуры и выравнивание уровней экономического развития производств.

Предложенные показатели и методы позволяют фиксировать нарушение сбалансированности развития производств ЛПК и регулировать его деятельность. Их можно применять и в других промышленных комплексах.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Каргополов, М.Д. Межоперационные балансы затрат и результатов производства: теория и практика [Текст] / М.Д. Каргополов. – Архангельск: Изд-во АГТУ, 2001. – 182 с.

2. Каргополов, М.Д. Методы оценки сбалансированности развития регионального ЛПК [Текст] / М.Д. Каргополов, В.Н. Мякшин // Экономические и социальные проблемы развития Европейского Севера: Междунар. науч.-практ. конф. – Архангельск: Изд-во АГТУ, 2005. – С. 60–71.

3. Обработка древесины и производство изделий из дерева, целлюлозно-бумажное производство Архангельской области 2004–2005 годы: стат. сб. / Территориальный орган Федеральной службы государственной статистики по Архангельской области. – Архангельск: Архангельскстат, 2006. – 34 с.

Архангельский государственный  
технический университет

Поступила 09.10.06

*V.N. Myakshin, T.N. Pesjakova*

Arkhangelsk State Technical University

### **Characteristics for Equilibration Assessment of Regional Forest-industrial Complex**

Original system of absolute and relative characteristics of static, structural and dynamic equilibration of forest-industrial complex is elaborated, the requirements for characteristics and their building principles are substantiated, their computation technique is determined.

Keywords: static, dynamic, structural equilibration, ratios, intracomplex relations, productive resources, interproduct balance.

УДК 630\*652

***Е.С. Романов***

Романов Евгений Самуилович родился в 1929 г., окончил в 1952 г. Архангельский лесотехнический институт, доктор экономических наук, профессор кафедры экономики отраслей Архангельского государственного технического университета, заслуженный экономист РФ, действительный член РАЕН. Имеет более 180 печатных научных работ в области экономики лесного сектора, экономической эффективности инвестиций, экономических особенностей лесозаготовительной промышленности.



### **ЛЕСОПРОМЫШЛЕННЫЙ КОМПЛЕКС: ЧТО ОСТАЕТСЯ ЗА СЛОВАМИ\***

Показано, что понятие ЛПК было непротиворечивым, а в последние годы утрачивает смысл. Предложено различать термины «лесозаготовка» и «лесозаготовки».

*Ключевые слова:* комплекс, лесопромышленный, химико-лесной, лесной сектор, лесозаготовки.

Содержание понятия «лесопромышленный комплекс» (ЛПК) постепенно меняется и утрачивает смысл. Комплекс – это не просто набор частей, а взаимно увязанное целое, в котором все пропорционально, сбалансировано. В социалистической экономике считали, что в категории комплекса реализовывался экономический закон планомерного пропорционального развития народного хозяйства (НХ). Теперь огромное хозяйство России решено называть национальной экономикой, а отрасли называют видами экономической деятельности (ВЭД). С 1 января 2003 г. утратил силу классификатор отраслей (ОКОНХ) и вступил в силу классификатор видов экономической деятельности (ОКВЭД). Судя по всему, этот нормативный акт не повлек за собой больших перемен в экономике, бизнесе. Даже официальная статистика начала выдавать сведения по-новому лишь с 2005 г. В Архангельской области смена классификаторов существенна еще и по той причине, что из состава промышленности выпали лесозаготовки – одна из главных отраслей экономики области (см. таблицу). Строго говоря, теперь такой

#### **Продукция ЛПК Архангельской области**

Показатели	2003 г.	2004 г.	2005 г.	2006 г.	2007 г.
Всего, млн р.	29214,6	34421,0	36420,8	34457,9	41855
В том числе по отраслям:					
лесозаготовительная	3780,4	4807,3	4840,7	-	-
деревообрабатывающая	7548,3	8991	9119,6	9351,7	12821
целлюлозно-бумажная	17885,7	20605,3	22460,5	25106,2	29034
Доля ЛПК в промышленности области, %	52,3	45,5	-	-	-

\* В порядке обсуждения.

промышленности нет, и доли деревообработки и ЦБП автоматически «повысились». Поэтому надо быть аккуратнее, говоря о динамике структур продукции, налогов и др. Можно, конечно, оставить в стороне формальности статистики и рассматривать деревообработку и ЦБП в увязке с источником сырья – лесозаготовками, но называть их промышленным комплексом уже некорректно. К сожалению, это не помешало назвать совет, который образован в 2007г. при Правительстве РФ, Советом по развитию ЛПК.

Однако существенные сдвиги в этом направлении есть. В Архангельске вместо департамента ЛПК образован департамент лесного комплекса. Это изменение принципиально: прежний ЛПК и его департаменты были отлучены от леса. Без леса был и химико-лесной комплекс, существовавший в структуре централизованного управления народным хозяйством СССР 30 лет назад. Тогда НХ поделили на семь комплексов: топливно-энергетический, машиностроительный, аграрно-промышленный и т. д. Названные здесь понятия логичны, удобны; мы и ныне говорим о ТЭК, АПК. Но химико-лесной комплекс сразу выглядел нелепо: что общего между лесными отраслями, с одной стороны, и разнообразными химическими производствами, с другой? Просто по отдельности ни лес, ни химия «не тянули» на народнохозяйственный комплекс, соизмеримый с ТЭК, АПК, и их объединили, подчинив одному заместителю главы Правительства СССР. Пикантность состояла и в том, что леса, лесное хозяйство подчинялись не химико-лесному комплексу, а аграрно-промышленному. Для этого были основания (и пример Запада), но лесной комплекс без леса ставит под сомнение понятие комплекса. А химико-лесной комплекс и в XXI в. еще фигурировал в статистике, экономической географии, регионалистике, дипломах выпускников вузов, лексиконе чиновников.

В масштабах страны естественно равновесие, сбалансированность между потреблением и ресурсами, пропорциональность по стадиям производств. Это, однако, не означает, что такое же равновесие должно быть в каждом субъекте РФ. Одни регионы заготавливают больше, чем перерабатывают, другие наоборот. Архангельская область когда-то была «всесоюзной лесопилкой», но и тогда, и после снабжала древесным сырьем лесоперерабатывающие предприятия в центре страны, даже в Калининградской области. Сырье, поступавшее в область извне по рекам, вывозили в центр по железным дорогам, из-за чего архангельские лесозэкспортные заводы испытывали острую нехватку сырья.

В общих чертах баланс древесного сырья (круглые лесоматериалы) в Архангельской области выглядел так:  $A_1$  Собственные лесозаготовки в области +  $A_2$  Поступление сырья извне =  $B_1$  Переработка сырья в области +  $B_2$  Вывоз сырья за пределы области +  $B_3$  Экспорт круглого леса.

Никогда не было  $A_1 = B_1$ , такая цель и не ставилась. Поступление извне  $A_2$  и вывоз за пределы  $B_2$  достигали по 3 ... 5 млн м<sup>3</sup> ежегодно; это было нормально, хотя и доставалось ценой больших усилий.

По терминологии марксистской политэкономии, ЛПК представляет собой часть производительных сил страны в виде набора предприятий (производственных мощностей) по заготовке, механической и химической переработке древесины. Объемы заготовок сырья технологически соответствуют потребностям лесопиления, деревообработки и ЦБП в том смысле, что переработчики производят своей продукции столько, сколько им позволяют объемы сырья (в целом и по сортаментам). Постоянно есть даже избыток сырья, который принимает форму экспорта круглого леса. Это можно назвать технологическим балансом сырья, но в пределах отдельных субъектов РФ нет экономического баланса: в каждом регионе переработчики закупают сырье извне, там, где выгоднее, лесозаготовители соответственно продают за пределы региона и на экспорт. Крупнейший в области потребитель древесины Котласский ЦБК в советское время работал на сырье, поступавшем по р. Вычегде из Коми АССР. И теперь КЦБК, создавший свою весьма солидную структуру по обеспечению сырьем «Илим Север Лес», тем не менее использует поставки из Архангельской области в размерах не более 1/2 потребности, получая остальное из других регионов. А вот свежий пример. Второе в Архангельской области по объемам лесозаготовок предприятие ООО «Устьянский лесопромышленный комплекс» в 2007 г. вывезло 381 тыс. м<sup>3</sup>, а отгрузило 523 тыс. м<sup>3</sup>, закупив (вагонами) в соседних областях 213 тыс. м<sup>3</sup>; в 2008 г. запланировано соответственно 350, 655 и 279 тыс. м<sup>3</sup> (разумеется, с учетом остатков). Здесь налицо элементарная перепродажа, но приобретенное у соседей сырье могло быть и переработано, как на том же Котласском ЦБК. В пределах Архангельской области нет равновесия по сырью ни в целом, ни по пиловочнику, балансам. И в этом нет ничего ненормального. Искусственное навязывание равновесия в рамках каждого субъекта РФ не практиковалось даже в советской централизованно планируемой экономике.

В СССР базовой отраслью ЛПК были лесозаготовки. От них полностью зависели объемы переработки, так как импорта сырья не было. Теперь базовыми являются перерабатывающие отрасли, прежде всего ЦБП: объемы заготовок зависят от спроса переработчиков. Регионы, где есть леса, но нет ЦБП – главного звена, осуществляющего более или менее глубокую переработку древесины, выглядят ущербными.

А с точки зрения производственных отношений нет комплекса ни в регионах, ни в России в целом: переработчики разобщены частной собственностью, а лесные ресурсы находятся в государственной собственности. Стихийное рыночное равновесие нигде в мире не именуется комплексом.

В заключение еще раз о лесозаготовках. Уже несколько лет в печати и на радио вместо привычного, весьма старого слова «лесозаготовки» появилось новое – «лесозаготовка». Слово «заготовка» – синоним только лесосечных работ, название фазы процесса, а лесозаготовки – целая отрасль. Разница между лесозаготовкой и лесозаготовками такая же, как между сенокосом и сенокосением, между конкретной работой и обобщенным понятием. Поэтому не следует отказываться от слова «лесозаготовки»; официаль-

ная статистика употребляет его применительно к виду деятельности по подгруппе 02.01.1 ОКВЭД. Так, будет правильным сказать: «На лесозаготовке в этом предприятии применяют харвестеры...», но «На лесозаготовках области все шире используются сортиментные технологии...»

Подытожим сказанное.

1. В экономике СССР и России понятие комплексов предназначалось для целей административного управления и не было строго научным (лесные комплексы без леса и т. п.). Понятие «лесопромышленный комплекс» устарело, не соответствует современности и может употребляться только применительно к прошлому. Термин «химико-лесной комплекс» необходимо полностью исключить.

2. Комплексов в строгом смысле слова теперь нет. Те, что по инерции назывались ЛПК, в субъектах РФ различны по составу производств, масштабам. Их можно оптимизировать, но внутренняя сбалансированность – не самоцель. Взаимозависимости нет, ибо лесозаготовки не потребляют в производственных масштабах продукцию деревообработки и ЦБП, нет взаимосвязи и между двумя перерабатывающими отраслями.

3. Объединяющим, синтетическим выражением для всей совокупности лесных производств является термин «лесной сектор экономики (страны, области)». В него включаются и леса, лесные ресурсы, лесное хозяйство. Соответствующие департаменты в субъектах РФ лучше называть просто лесными.

4. Частью лесного сектора являются лесозаготовки (согласно ОКВЭД), а не лесозаготовка.

Архангельский государственный  
технический университет

Поступила 22.04.08

*E.S. Romanov*

Arkhangelsk State Technical University

### **Forest-industrial Complex: Reality, not Words**

It is shown that the concept of forest-industrial complex was far from blameless and loses its meaning in the recent years. It is suggested to distinguish the terms “forest-harvesting” and “forest-harvesting operations”.

Keywords: complex, forest-industrial, chemical-forest, forest sector, forest-harvesting operations.



## КРАТКИЕ СООБЩЕНИЯ И ОБМЕН ОПЫТОМ

УДК 630\*566

**П.А. Феклистов, А.Н. Соболев**

Феклистов Павел Александрович родился в 1950 г., окончил в 1972 г. Архангельский лесотехнический институт, доктор сельскохозяйственных наук, профессор, заведующий кафедрой экологии и защиты леса Архангельского государственного технического университета, член-корреспондент РАЕН. Имеет более 175 печатных работ в области экологии, биологии и лесоведения.



Соболев Александр Николаевич родился в 1977 г., окончил в 2001 г. Архангельский государственный технический университет, аспирант кафедры экологии и защиты леса АГТУ, старший научный сотрудник Соловецкого государственного историко-архитектурного и природного музея-заповедника. Имеет около 20 научных работ в области лесной экологии.

**О ВОЗМОЖНОСТИ ПРИМЕНЕНИЯ ТАБЛИЦ  
ХОДА РОСТА ДРЕВЕСНЫХ ПОРОД НА СОЛОВЕЦКИХ ОСТРОВАХ**

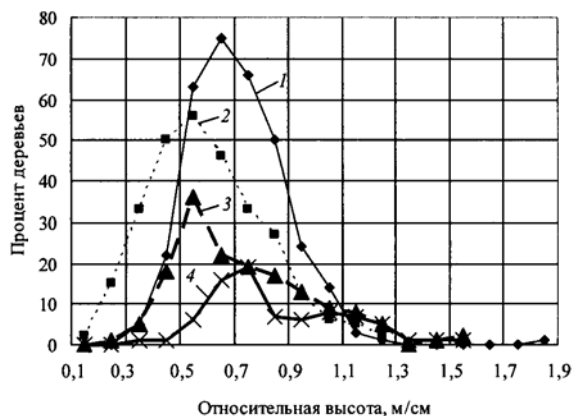
Показано, что соотношение роста по высоте и диаметру деревьев на Соловецких островах существенно отличается от ближайших материковых. Рост по высоте ослаблен при нормальном для региона росте по диаметру, и в результате формируются сильно сбежистые стволы. В связи с этим не следует применять на Соловках традиционные таблицы хода роста.

*Ключевые слова:* относительная высота, древесные породы, Соловецкий архипелаг, таблицы хода роста.

На Соловецких островах отмечено изменение пропорций роста деревьев по высоте и диаметру в сравнении с материковыми насаждениями. При довольно больших диаметрах высота деревьев не превышает 10 ... 15 м. Поэтому вызывает сомнение возможность применения там широко используемых на Севере региональных таксационных справочных таблиц [2, 5 и др.]. Мы изучали соответствие роста деревьев разных пород на Соловецком архипелаге в материковых насаждениях. Критерием оценки роста служила относительная высота ( $h/d$ , м/см), которая, по мнению ученых [4, 6], является важным экологическим показателем. Ее можно использовать для оценки светолюбия, роста, развития и состояния древесных растений, рассматривать как важный классификационный признак деревьев и древостоев, критерий устойчивости к снеговым и ветровым нагрузкам. Относительная высота характеризует скорость роста в высоту по отношению к скорости роста по диаметру, интерпретируется как показатель, оценивающий напряженность роста деревьев, или конкурентных отношений в древостое [1], наряду с традиционными коэффициентами формы, является дополнительным показателем формы ствола [3].

В целях изучения соотношения  $h/d$  нами были замерены высоты и диаметры 287 сосен, 324 елей, 156 берез, 79 осин в разных типах леса (преимущественно

Распределение количества деревьев разных пород по ступеням относительной высоты: 1 – ель; 2 – сосна; 3 – береза; 4 – осина



черничниках) и пунктах Соловецкого архипелага. Анализ показал, что распределение пород по ступеням относительной высоты подчиняется закону нормального распределения, о чем свидетельствуют кривые на рисунке. Наибольшее количество деревьев березы и сосны имеет относительную высоту 0,5, ели 0,6, а осины 0,7. Следовательно, наиболее полнодревесные стволы на острове у осины и ели, и в этих насаждениях особенно сильны конкурентные отношения.

Расчет средних значений относительной высоты подтвердил их достоверность. Критерий Стьюдента расчетный значительно больше табличного и колеблется у разных пород от 29 до 67 (табл. 1). Средние значения относительной высоты меньше для хвойных пород и больше для лиственных. Наиболее высоки они для осины (0,80), самые низкие у сосны (0,55).

Полученные результаты мы сравнивали с темпами нарастания высоты в насаждениях на материке в северной подзоне тайги, для чего использовали «Полевой справочник таксатора» [5] (табл. 2). Оказалось, что относительные высоты

Таблица 1

Порода	Относительная высота					
	Среднее значение	Основная ошибка	Среднее квадратичное отклонение	Коэффициент изменчивости, %	Точность опыта, %	Критерий Стьюдента (достоверность)
Сосна	0,55	0,01	0,21	38,9	2,3	43,6
Ель	0,66	0,01	0,18	26,9	1,5	67,0
Береза	0,69	0,02	0,25	37,1	3,0	33,6
Осина	0,80	0,03	0,24	30,3	3,4	29,3

Таблица 2

Порода	Относительная высота		
	табличная (для таежной зоны)	для Соловков	
		фактическая	% от табличной
Сосна	0,80	0,55	68,8
Ель	0,93	0,66	71,0
Береза	1,20	0,69	57,5
Осина	1,16	0,80	69,0



деревьев в лесах Соловецких островов сильно отличаются от показателей, характерных для окружающих материковых лесов северной подзоны тайги. Наибольшие отличия присущи березе, наименьшие – ели.

Подобная картина наблюдается и в искусственных насаждениях. Так, сравнение относительной высоты культур сосны 17-летнего возраста на Соловках и сосновых молодняков на Кольском полуострове также свидетельствует о значительных различиях между ними по показателю  $h/d$ . В культурах на Соловках  $h/d = 0,70 \pm \pm 0,02$ , в молодняках в Кольской лесорастительной области  $h/d = 0,99 \dots 1,30$  [7].

Таким образом, констатируем, что рост древесных пород в высоту на Соловецком архипелаге ослаблен, напряженность конкурентных отношений снижена. Характер ростовых процессов приводит к уменьшению соотношения  $h/d$  или полндревесности стволов. Применение таблиц хода роста для определения запасов древесины или объемов стволов может привести к большим ошибкам в сторону завышения.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Высоцкий, К.К.* Закономерности строения смешанных древостоев [Текст] / К.К. Высоцкий. – М.: Гослесбумиздат, 1962. – 175 с.
2. Лесотаксационный справочник для северо-востока европейской части СССР. – Архангельск: Арханг. ин-т леса и лесохимии, 1986. – 357 с.
3. *Маслаков, Е.Л.* Формирование сосновых молодняков [Текст] / Е.Л. Маслаков. – М.: Лесн. пром-сть, 1984. – 168 с.
4. *Морозов, Г.Ф.* Учение о лесе [Текст] / Г.Ф. Морозов. – М.; Л.: Гослесбумиздат, 1949. – 455 с.
5. Полевой справочник таксатора (для таежных лесов Европейского Севера) [Текст] / В.И. Левин, И.И. Гусев, В.И. Калинин [и др.]. – Вологда: Сев.-зап. кн. изд-во, 1971. – 196 с.
6. *Соловьев, В.М.* Эколого-биологическое обоснование методов изучения и формирования древостоев лесных экосистем [Текст]: автореф. дис. .... д-ра биол. наук / В.М. Соловьев. – СПб., 2006. – 47 с.
7. *Цветков, В.Ф.* Сосняки лесорастительной области и ведение хозяйства в них [Текст] / В.Ф. Цветков. – Архангельск, 2002. – 379 с.

Архангельский государственный  
технический университет

Поступила 24.03.08

*P.A. Feklistov, A.N. Sobolev*

Arkhangelsk State Technical University

#### **On Possibility of Using Growth Progress Tables on Solovetsky Islands**

It is shown that growth relationship according to height and diameter of trees on the Solovetsky Islands is considerably different from the nearest mainland trees. The growth according to height is weakened under the normal growth of diameter and as a result the highly tapering stems are formed. Due to this fact it is not recommended to apply traditional tables of growth progress for the Solovetsky Islands.

Keywords: relative height, wood species, the Solovetsky Archipelago, growth progress tables.



### ВЫСШЕМУ ЛЕСНОМУ ОБРАЗОВАНИЮ ВОЛОГОДЧИНЫ – 10 ЛЕТ

Леса – одно из главных богатств вологодской земли – занимают почти 70 % ее территории, а лесопромышленный комплекс является ведущей отраслью региона. Традиционно потребность в специалистах лесного хозяйства удовлетворялась за счет выпускников из вузов соседних регионов. С переходом к рыночным отношениям проблема кадров для лесного хозяйства Вологодской области обострилась, так как утратила силу обязательная система всесоюзного целевого распределения выпускников после окончания вузов. Молодые специалисты-лесоводы, окончившие вузы в Архангельске, Москве, С.-Петербурге и других городах, неохотно ехали на работу далеко от дома. В поисках выхода из создавшегося положения в 1996 г. руководитель Вологодского управления лесами Н.Н. Неволин обратился к ректору Вологодской государственной молочнохозяйственной академии В.Н. Острцову с предложением открыть при агрономическом факультете специальность 260400 «Лесное и лесопарковое хозяйство». Инициатива была поддержана.

Для решения этого вопроса был создан координационный совет, а непосредственная забота по сбору необходимых документов легла на плечи декана агрономического факультета С.К. Гребенщикова. За короткий срок выполнена огромная работа, и уже 6 марта 1997 г. в Министерстве образования РФ получена лицензия № 325 на право ведения образовательной деятельности.

Летом 1997 г. состоялся первый набор студентов по очной и заочной формам обучения. В 1998 г. на агрономическом факультете проведена реорганизация кафедр, и с 1 сентября создана специальная выпускающая кафедра лесного хозяйства, а факультет получил название агрономии и лесного хозяйства.

Первоначально обязанности заведующего кафедрой исполняла по совместительству декан факультета Т.А. Степанова, а с 1 января 1999 г. на должность заведующего приглашен О.А. Коношатов, выпускник Архангельского лесотехнического института, кандидат с.-х. наук, прошедший производственную школу лесоустройства. Он активно включился в работу по организации молодой кафедры. В выделенных для специальности помещениях были оборудованы специализированные аудитории дендрологии, ботаники. Большая помощь в обеспечении учебного процесса учебниками, методическими указаниями и другой необходимой литературой оказана Архангельским государственным техническим университетом, С.-Петербургской государственной лесотехнической академией, Уральским государственным лесотехническим университетом и другими вузами. Кроме этого, богатейшая личная библиотека лесоведа Е.Г. Тюрина передана в академию после его смерти супругой. Это более полутысячи томов самых различных книг, около ста подшивок лесохозяйственных журналов и др.

Были организованы учебные базы новой специальности. Диковское лесничество Вологодского лесхоза получило статус учебно-опытного. На его территории построен двухэтажный благоустроенный учебный корпус, создана библиотека, собрана коллекция средств механизации, заложены опытные таксационные участки. В сентябре 1999 г. в предместье Молочного в торжественной обстановке заложен дендросад площадью 12,5 га.

Но самое долгожданное и отрадное событие в жизни кафедры лесного хозяйства, всех студентов свершилось 28 марта 2003 г., когда торжественно был открыт новый

---

---

двухэтажный учебный корпус № 7 отделения лесного хозяйства общей площадью 706 м<sup>2</sup>, ставший сегодня центром лесной науки Вологодской области. В корпусе оформлены специализированные аудитории по лесоводству, таксации, древесиноведению, подпочке леса, селекции растений и лесным культурам.

Вместе с ростом материально-технической базы пополнялся и преподавательский состав кафедры. Первоначально в 1999 г. штат составляли заведующий О.А. Конюшатов, доценты В.Е. Мельников, Н.П. Трифонов, старшие преподаватели Л.Б. Проккофьева и Л.А. Мельникова. Впоследствии на кафедру пришли кандидаты с.-х. наук С.А. Корчагов (2000), Н.А. Дружинин (2000), И.В. Евдокимов (2003), Л.В. Зарубина (2006), старшие преподаватели А.Д. Фефилов (2000), Ж.В. Ногина (2002). Непродолжительное время на кафедре работали профессор Л.С. Застенский, старший преподаватель Е.Н. Зубова.

С 2005 г. при кафедре открыта аспирантура. Выпускники кафедры Ф.Н. Дружинин, Р.С. Хамитов и С.Е. Грибов успешно защитили кандидатские диссертации и сегодня трудятся в стенах академии. Прошел соискателем по кафедре и защитил кандидатскую диссертацию Н.Н. Неволин. В октябре 2006 г. доцент Н.А. Дружинин защитил докторскую диссертацию.

При кафедре лесного хозяйства создан Вологодский лесной научно-инновационный консалтинговый центр (ВологдаЛесНИКЦентр), оказывающий консультационные и образовательные услуги предприятиям ЛПК Вологодской области. Основными задачами центра являются: разработка экологической политики лесопромышленных предприятий в области лесопользования и лесообеспечения, подготовка предприятий к сертификации, оказание консалтинговых услуг по вопросам устойчивого лесопользования и лесопользования, выделению и сохранению лесов высокой природоохранной ценности, элементов биологического разнообразия.

В августе 2007 г. кафедрой лесного хозяйства проведен Всероссийский симпозиум «Лесопользование и гидрлесомелиорация», в котором приняли участие около 40 чел. – представители многих вузов, НИИ и производственников.

В 2005 г. руководство кафедрой перешло к С.А. Корчагову, а с 2007 г. обязанности заведующего исполняет Ф.Н. Дружинин.

Для чтения лекций приглашаются ведущие профессора других вузов. Перед студентами в разное время выступали Г.И. Редько, Н.А. Бабич, М.Д. Мерзленко, И.И. Дроздов, Л.Ф. Ипатов, В.К. Константинов и др.

Сегодня кадровый потенциал кафедры лесного хозяйства представляют два доктора с.-х. наук, профессора Н.А. Бабич и Н.А. Дружинин, кандидаты с.-х. наук, доценты В.Е. Мельников, С.А. Корчагов, И.В. Евдокимов, Ф.Н. Дружинин, Л.В. Зарубина, Р.С. Хамитов, И.В. Литвинов, старшие преподаватели Л.А. Мельникова, Ж.В. Ногина, С.Е. Грибов, А.Д. Фефилов, А.П. Шушарин. В аспирантуре обучаются семь аспирантов.

Кафедра лесного хозяйства постоянно проводит курсы по рабочей специальности «Вальщик леса», курсы для работников таможни по круглым лесоматериалам и пилопродукции, обучающие семинары по лесной сертификации и др.

В целях повышения качества подготовки будущих специалистов в учебном процессе задействованы современные средства обучения. Преподаватели кафедры постоянно повышают уровень своего образования за пределами вуза. Так, в разное время по проекту Фонда дикой природы прошли обучение в разных городах России (Москва, Псков, Сыктывкар, Архангельск) по программе «Практическая сертификация лесопользования» доценты О.А. Конюшатов, И.В. Евдокимов, С.А. Корчагов и Ф.Н. Дружинин.

По инициативе кафедры лесного хозяйства два года подряд (2006 и 2007 гг.) организуются фотоконкурсы работ студентов, аспирантов, преподавателей и сотрудников всех структурных подразделений ВГМХА. Идея принадлежит профес-

---

---

сору Н.А. Бабичу, блестящему фотохудожнику, работы которого сегодня украшают корпус № 7 отделения лесного хозяйства.

Данные о численности специалистов, выпущенных кафедрой лесного хозяйства, представлены в таблице. Объектами их профессиональной деятельности являются лесное и лесопарковое хозяйство, ландшафтное строительство и архитектура, воспроизводство, улучшение видового состава растительности, качества лесных и садово-парковых насаждений, повышение их продуктивности и декоративности; восстановление, сбережение генофонда, рациональное использование лесов, защита особо охраняемых природных территорий и объектов ландшафтного строительства. Учебные практики студенты проходят в учебно-опытном лесничестве, где имеются учебные классы и набор лесохозяйственных орудий и механизмов, национальном парке «Русский Север», а также в дендрологическом саду, где уже собрано более 150 видов деревьев и кустарников, выращивается декоративный посадочный материал. Производственную и преддипломную практики студенты проходят в лесхозах области и на перерабатывающих предприятиях лесного комплекса. За шесть лет кафедра выпустила 331 инженера лесного хозяйства.

#### Выпуск инженеров лесного хозяйства

Год	Форма обучения		Всего
	очная	заочная	
2002	18	1	19(1)
2003	22	23	45(2)
2004	30	15	45(6)
2005	50	30	80(5)
2006	40	33	73(2)
2007	41	28	69(3)
Итого	201	130	331(19)

Примечание. В скобках указаны дипломы с отличием.

При кафедре лесного хозяйства с момента ее основания действует кружок научного студенческого общества, который возглавляет старший преподаватель Ж.В. Ногина. В 2008 г. опубликован сборник лучших студенческих докладов «Ростки науки».

Хочется выразить надежду, что и в ВГМХА специальность «Лесное хозяйство» получит самостоятельность и дальнейшее развитие до отдельного факультета, что пойдет на пользу и академии, и нашему лесному региону в целом.

В заключение выражаем слова благодарности тем, кто причастен к созданию специальности «Лесное хозяйство» и кафедры, содействовал их развитию и укреплению. Поздравляем всех выпускников отделения лесного хозяйства, студентов и преподавателей с 10-летним юбилеем, желаем здоровья и новых творческих успехов!

***И.В. Евдокимов***

Вологодская государственная  
молочнохозяйственная академия

*I.V. Evdokimov*

Vologda State Dairy Academy

**Higher Forest Education of Vologda Area - 10 Years**

---

---