

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

2

2009

ИЗДАТЕЛЬ – АРХАНГЕЛЬСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ  
ТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ

Главный редактор – д-р хим. наук, проф. **О.М. Соколов**

Заместители главного редактора:

д-р техн. наук, проф. **А.Л. Невзоров**, д-р экон. наук, проф. **Е.С. Романов**

ЧЛЕНЫ РЕДКОЛЛЕГИИ:

д-р хим. наук, проф. **А.М. Айзенштадт**, д-р геогр. наук, проф. **А.С. Алексеев**, д-р техн. наук, проф. **Е.Д. Гельфанд**, д-р техн. наук, проф. **А.А. Камусин**, д-р экон. наук, проф., акад. РАСХН **Н.И. Кожухов**, д-р техн. наук, проф. **В.И. Комаров**, д-р техн. наук, проф. **В.С. Куров**, канд. техн. наук, проф. **Н.В. Лившиц**, д-р с.-х. наук, проф. **Р.Н. Матвеева**, д-р техн. наук, проф. **В.И. Мелехов**, д-р с.-х. наук, проф. **М.Д. Мерзленко**, д-р биол. наук, проф. **Е.Г. Мозолевская**, д-р техн. наук, проф. **Д.Г. Мясичев**, д-р с.-х. наук, проф. **Е.Н. Наквасина**, канд. с.-х. наук, доц. **О.А. Неволин**, д-р техн. наук, проф. **А.Н. Обливин**, д-р техн. наук, проф. **А.В. Питухин**, д-р хим. наук, проф. **Д.А. Пономарев**, д-р с.-х. наук, проф. **Е.М. Романов**, д-р с.-х. наук, проф. **В.П. Рябчук**, д-р техн. наук, проф. **Э.Н. Сабуров**, д-р биол. наук, проф. **Е.Н. Самошкин**, д-р техн. наук, проф. **В.Г. Санаев**, д-р биол. наук, проф. **А.В. Селиховкин**, д-р техн. наук, проф. **В.В. Сергеевичев**, д-р техн. наук, проф. **В.А. Суслов**, д-р техн. наук, проф. **Ф.Х. Хакимова**, д-р техн. наук, проф. **В.Я. Харитонов**, д-р с.-х. наук, проф. **А.И. Чернодубов**, д-р с.-х. наук, проф. **Г.А. Чибисов**, д-р техн. наук, 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» № 2

Редакторы Н.П. Бойкова, Л.С. Окулова  
Компьютерная верстка О.В. Деревцовой  
Перевод Н.Т. Подражанской  
Графическое оформление О.А. Томиловой

---

Сдан в набор 05.03.2009. Подписан в печать 06.04.2009. Заказ № 93  
Форм. бум. 70×108 1/16. Гарнитура Таймс. Усл. печ. л. 12,775. Усл. кр.-отт. 12,775.  
Уч.-изд. л. 17,259. 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

---

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



## СОДЕРЖАНИЕ

## ЛЕСНОЕ ХОЗЯЙСТВО

- Э.А. Курбанов. Моделирование бюджета углерода лесных насаждений на примере сосняков Поволжья..... 7
- Н.А. Бабич, И.С. Нечаева. Сорная растительность в лесных питомниках..... 15
- Н.В. Дюбанова. Низовые пожары как фактор, лимитирующий распространение можжевельника обыкновенного в Национальном парке «Припышминские боры»..... 18
- М.М. Устинов, М.В. Устинов. Товарная структура выбираемой при рубках ухода части древостоев ели в Брянской области..... 23
- Д.Е. Румянцев, П.Г. Мельник. Влияние экологических факторов на формирование технических свойств древесины ели в условиях Тверской области.... 28
- А.С. Пестовский. Особенности роста сморчка обыкновенного на объектах лесосошения и рубок..... 34
- Л.В. Абрамова. Анализ учета лесных ресурсов Архангельской области..... 39

## ЛЕСОЭКСПЛУАТАЦИЯ

- Ю.А. Ширнин, В.И. Чернякевич. Напряжения и деформации грунтового основания железобетонных плит лесовозных дорог..... 41
- В.Я. Харитонов. Инерционные характеристики плотов, останавливаемых якорями..... 47
- В.А. Грязин. Энергоемкость как фактор производительности валочно-трелевочных машин..... 54
- С.И. Морозов, А.А. Попов. Методы определения параметров материалов при соударении двух тел..... 59
- Е.А. Тарасов. Исследование эффективности рекуперативных элементов ходовой части трактора с помощью имитационной динамической модели..... 62

## МЕХАНИЧЕСКАЯ ОБРАБОТКА ДРЕВЕСИНЫ

## И ДРЕВЕСИНОВЕДЕНИЕ

- В.И. Малыгин, П.В. Перфильев. Методы оптимизации и оценка качества дереворежущих фрез при стандовом и математическом моделировании. IV. Аналитические методы оценки качества дереворежущих фрез по напряженно-деформированному состоянию..... 68
- В.Ф. Дунаев, В.В. Дунаева. Влияние сучков на сортный выход пилопродукции..... 79
- Ю.М. Юрин, В.И. Малыгин. К расчету напряжений при наплавке питателей целлюлозно-бумажного производства..... 85
- Л.В. Алексеева. Коэффициент использования лесопильного потока малой мощности на базе однопильного ленточнопильного станка..... 92
- С.П. Агеев. Энергетическая характеристика электропривода механизма резания лесопильной рамы..... 96
- А.Е. Алексеев, О.И. Бедердинова. Математическая модель определения производительности лесопильного потока на базе однопильного круглопильного станка..... 101

*ХИМИЧЕСКАЯ ПЕРЕРАБОТКА ДРЕВЕСИНЫ*

- В.И. Комаров, Е.С. Носкова, Е.В. Дьякова.* Использование теоретических аспектов нелинейной механики разрушения для анализа вязкоупругого поведения структуры бумаги и картона при приложении растягивающей нагрузки..... 104
- А.Ф. Троянская, А.В. Вельямидова.* Современное состояние донных осадков бассейна реки Онеги по загрязнению хлорорганическими соединениями..... 111
- К.С. Болотова, Е.В. Новожилов, Д.Г. Чухчин, О.М. Соколов.* Обезвоживание осадков сточных вод целлюлозно-бумажного производства методом прессования..... 120
- Ю.В. Шевелев.* Высокая производительность поверки криостата КР-80..... 127

*КРАТКИЕ СООБЩЕНИЯ И ОБМЕН ОПЫТОМ*

- И.В. Левицкая, Е.Н. Самошкин.* Жизнеспособность пыльцы спиреи иволистной и японской из различных экологических условий..... 131
- С.А. Корчагов, С.Е. Грибов.* Качество древесины ели в культурах, созданных по разным технологиям..... 134
- А.А. Захарова.* Предварительные результаты интродукции видов рода *Abies* в Центральной России..... 137
- В.И. Малыгин, В.А. Стенин.* Математическое моделирование теплопроводности при резании древесины..... 140



## CONTENTS

## FORESTRY

<i>E.A. Kurbanov.</i> Carbon Budget Simulation in Forest Stands Based on Example of Povolzhje Pine Forests.....	7
<i>N.A. Babich, I.S. Nechaeva.</i> Weed Vegetation in Forest Nurseries.....	15
<i>N.V. Dyubanova.</i> Ground Fires as Factor Limiting Spread of Common Juniper in National Park «Pripyshmin Forests».....	18
<i>M.M. Ustinov, M.V. Ustinov.</i> Commodity Value in Cut Part of Spruce Stands under Selective Felling in Bryansk Region .....	23
<i>D.E. Rumyantsev, P.G. Melnik.</i> Influence of Ecological Factors on Forming Technical Properties of Spruce Wood in Tver Region.....	28
<i>A.S. Pestovsky.</i> Peculiarities of Common Morel Growth on Forest Melioration and Logging Objects.....	34
<i>L.V. Abramova.</i> Analysis of Forest Resources Inventory in the Arkhangelsk Region.	39

## WOODEXPLOITATION

<i>Yu.A. Shirnin, V.I. Chernyakevich.</i> Soil Foundation Stress and Deformation of Reinforced Concrete Slabs in Forest Roads.....	41
<i>V.Ya. Kharitonov.</i> Inertial Characteristics of Rafts Stopped by Anchors.....	47
<i>V.A. Gryazin.</i> Energy Intensity as Factor of Felling-Skidding Machine Productivity.	54
<i>S.I. Morozov, A.A. Popov.</i> Methods of Determining Parameters of Materials at Two Bodies Collision.....	59
<i>E.A. Tarasov.</i> Investigation of Recuperative Elements Efficiency of Tractor's Undercarriage by Simulation Dynamic Model.....	62

## MECHANICAL TECHNOLOGY OF WOOD AND WOODSCIENCE

<i>V.I. Malygin, P.V. Perfiljev.</i> Optimization Methods and Quality Assessment of Wood-milling Cutters under Bench and Mathematical Simulation. IV. Analytical Methods of Quality Assessment of Wood-milling Cutters according to Deformation Mode.....	68
<i>V.F. Dunaev, V.V. Dunaeva.</i> Knots Influence on Sorted Output of Sawn Timber.....	79
<i>Yu.M. Yurin, V.I. Malygin.</i> To Computation of Voltages in Overlaying of Feeders in Pulp-and-paper Production.....	85
<i>L.V. Alexeeva.</i> Utilization Factor of Low-capacity Timber Flow Based on Single-blade Band-saw Machine.....	92
<i>S.P. Ageev.</i> Energy Characteristic of Electric Drive for Cutting Mechanism of Saw Frame.....	96
<i>A.E. Alekseev, O.I. Bederdinova.</i> Mathematical Model of Determining Productivity of Timber Flow Based on Single-blade Radial Saw Machine.....	101

## CHEMICAL TECHNOLOGY OF WOOD

<i>V.I. Komarov, E.S. Noskova, E.V. Djakova.</i> Theoretical Aspects Use of Non-linear Destruction Mechanics for Analysis of Viscoelastic Behavior of Paper and Cardboard Structure when Applying Tensile Load.....	104
<i>A.F. Troyanskaya, A.V. Veliamidova.</i> Current State of Bottom Sediments of the Onega River Basin on Pollution with Chlorinated Organic Compounds.....	111

---

---

<i>K.S. Bolotova, E.V. Novozhilov, D.G. Chukhchin, O.M. Sokolov.</i> Dewatering of Waste Water Sedimentation in Pulp-and-paper Production by Compression Method.....	120
<i>Yu.V. Shevelev.</i> High Calibration Productivity of Cryostat KP-80.....	127

*SUMMARIES AND EXCHANGE OF TEACHING*

<i>I.V. Levitskaya, E.N. Samoshkin.</i> Viability of <i>Spiraea Salicifolia</i> 's and <i>Spiraea Japonica</i> 's Pollen in Different Ecological Conditions.....	131
<i>S.A. Korchagov, S.E. Gribov.</i> Quality of Spruce Wood in Cultures Created according to Different Technologies	134
<i>A.A. Zakharova.</i> Preliminary Results of Introducing <i>Abies</i> Genus Species in Central Russia.....	137
<i>V.I. Malygin, V.A. Stenin.</i> Mathematic Simulation of Heat Conductivity in Wood Cutting.....	140

---

---



УДК 630\*161.32

**Э.А. Курбанов**

Марийский государственный технический университет

Курбанов Эльдар Аликрамович родился в 1965 г., окончил в 1989 г. Марийский политехнический институт, доктор сельскохозяйственных наук, профессор кафедры лесоводства Марийского государственного технического университета, руководитель центра устойчивого управления лесами. Имеет более 60 печатных работ по проблемам «Лес и глобальное потепление», устойчивого управления лесами, дистанционных методов в изучении лесов.  
Тел.: (8362) 68-68-73



## МОДЕЛИРОВАНИЕ БЮДЖЕТА УГЛЕРОДА ЛЕСНЫХ НАСАЖДЕНИЙ НА ПРИМЕРЕ СОСНЯКОВ ПОВОЛЖЬЯ\*

Предложена модель оценки основных потоков углерода в различных пулах соснового насаждения Поволжья, позволяющая учесть влияние различных факторов на бюджет углерода лесной экосистемы. Показана важность выделения среднего значения накопления, определяющего устойчивость депонирующей функции лесов.

*Ключевые слова:* Киотский протокол, лесные экосистемы, бюджет углерода, сосна, парниковые газы.

Согласно международным соглашениям страны-участницы Киотского протокола в отчетах должны представить данные о реальном снижении эмиссии парниковых газов на своей территории, а применительно к России удерживать выбросы на уровне 1990 г. В этом процессе не последнюю роль играют национальные запасы углерода, сосредоточенные в лесных насаждениях [15]. Поэтому оценка лесного пула углерода представляется особенно актуальной для выполнения обязательств по протоколу.

За последние годы российские ученые провели много исследований по оценке депонирования углерода лесными насаждениями [1, 3, 8, 9, 17], в основном ограничиваясь определением его запасов в лесных экосистемах без учета перехода в другие пулы на разных этапах роста насаждения и депонирования углерода в продуктах из древесины в процессе их эксплуатации. Опыт зарубежных исследователей свидетельствует о более прогрессивных

---

\* Работа выполнена в рамках Федеральной целевой научно-технической программы «Исследования и разработки по приоритетным направлениям развития науки и техники», грант № 2006-РП-19.0/001/342.

подходах в оценках, отражающих все процессы стока и потери углерода между его основными пулами в процессе роста насаждения и последующего использования в качестве древесного материала [7, 13, 14, 16, 22, 25, 26].

Цель нашей работы – обсудить возможность комплексной оценки углерода в лесных экосистемах России, моделируя бюджет углерода на примере сосновых насаждений Поволжья, включая все его значительные пулы, что позволит повысить точность проводимых оценок.

Бюджет углерода лесного насаждения или одного его компонента является величиной, характеризующей систему или ее компонент (за определенное время) следующим образом: 1) сток, если поток в насаждение или его компонент выше потока из насаждения или его компонента [4] (чистое депонирование позитивно); 2) исток, если этот поток ниже (чистое депонирование отрицательно); 3) равновесное состояние, если потоки равны, т. е. лес является ни стоком, ни истоком углерода (чистое нулевое депонирование).

На уровне лесного насаждения потоки и запасы углерода определяют для всех компонентов. Общая модель бюджета углерода предполагает остаточное его содержание в экосистеме после удаления потоков обратно в атмосферу в процессе авто- и гетеротрофного дыхания, рубок главного и промежуточного пользования, лесных пожаров, сжигания и разложения продуктов из древесины (рис. 1). В бюджете учтены все компоненты насаждения: крона и ствол главного яруса, подрост, подлесок, живой напочвенный покров и древесный детрит.

Запасы углерода в биомассе лесных насаждений разных типов продуктивности представляют собой валовую первичную продукцию экосистемы (GPP). Для получения чистой первичной продуктивности из валовой первичной вычитают углерод, выделившийся в процессе автотрофного

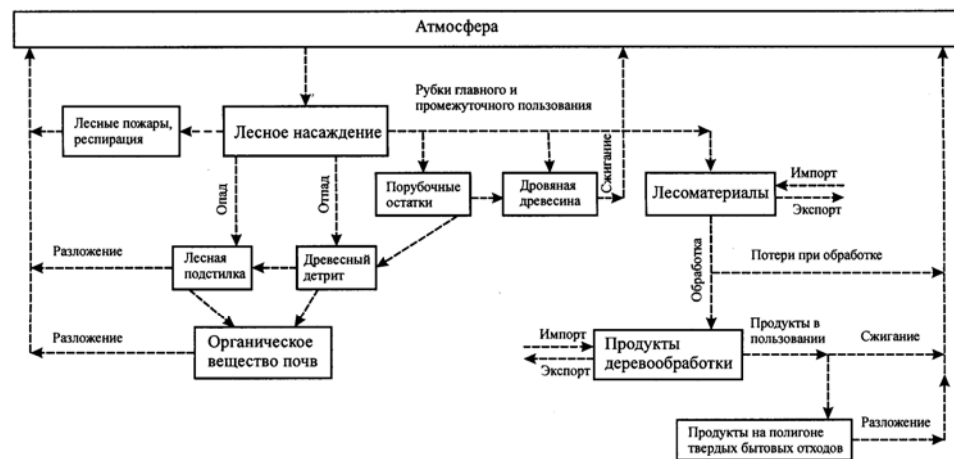


Рис. 1. Основные компоненты бюджета углерода лесного насаждения. Стрелками указан переход углерода в различные пулы и его реализация обратно в атмосферу



дыхания древостоя в процессе его роста, а также древесину от промежуточного пользования, которая согласно правилам рубок в чистых сосновых насаждениях составляет: для осветлений и прочисток 10...15, для прореживаний 15...20, для проходных рубок 15...20 %. При осветлениях и прочистках вырубленную древесину, как правило, оставляют в лесу на перегнивание, пополняя запасы древесного детрита. Во время рубок прореживания, которые проводят в насаждениях 20–40-летнего возраста, часть древесины также оставляют, остальную используют в качестве древесного топлива. Древесина от проходных рубок служит сырьем для производства продуктов и лесоматериалов, а частично древесным топливом. В модели бюджета углерода использованы проценты вырубki лесного насаждения во время промежуточного пользования и соответствующие им проценты эмиссии углерода обратно в атмосферу.

Эмиссия углерода от автотрофного дыхания сосновых древостоев принята на основании материалов предыдущих исследований [11, 18, 20, 24], в среднем этот поток составляет 33 % от валовой первичной продуктивности соснового насаждения. Поток от гетеротрофного дыхания (разложения) принят за 40 % от запасов древесного детрита [5, 12, 16, 18]. Бюджет углерода лесного насаждения на определенном этапе его роста определяется как разность между валовой первичной продуктивностью (GPP) соснового насаждения и автотрофным дыханием, а также разложением древесного детрита экосистемы (табл. 1).

На продуктивность лесных насаждений значительное влияние могут оказывать вредные насекомые и болезни. Однако в отличие от влияния лесных пожаров углерод древесины, подверженной болезням и вредителям, продолжает длительное время оставаться в насаждении. Его эмиссия обратно в атмосферу рассмотрена в виде гетеротрофного дыхания (разложения) древесного детрита.

Таблица 1

Схема определения бюджета углерода в лесных насаждениях

Углерод в древостое	Потоки углерода в древесном детрите	Баланс углерода лесной экосистемы
Валовая первичная продуктивность (GPP) – рубки промежуточного пользования = углерод в древостое – автотрофное дыхание древостоя = Чистая первичная продуктивность – Древесный детрит = Чистая первичная продуктивность древостоя (NPP)	Биомасса детрита – разложение (гетеротрофное дыхание)          = Чистая продуктивность древесного детрита (NPD)	Углерод в органическом веществе почв + поток углерода в лесное насаждение (GPP) – поток углерода при автотрофном дыхании – разложение детрита          = Чистая продуктивность лесной экосистемы (NEP)

В общий бюджет углерода включены постэкосистемные углеродные потоки в древесных продуктах из сосны (на примере Республики Марий Эл). В качестве основного пула рассматривали долгосрочные продукты (здания, пиловочник, мебель) из сосны. В конечном итоге выявлено значение продуктов деревообработки в сохранении депонированного атмосферного углерода и их вклад в общий углеродный бюджет лесов региона [6].

Содержание углерода в насаждении или его компоненте варьирует со временем. Поэтому для определения характера долгосрочного поведения насаждения целесообразно вычислять изменения запасов углерода на длительный период роста древостоя. Нами предложено использовать эквilibrium (среднее равновесное) депонирования углерода, который представляет собой средний поток углерода в компоненте экосистемы в течение нескольких оборотов рубки [10] (каждый 81 год). В общую схему моделирования включены пулы углерода в древостое, почвах и древесном детрите, продуктах из древесины сосны. На рис. 2 среднее равновесное значение депонированного углерода показано в виде пунктирной линии. Данный показатель наглядно демонстрирует способность лесного насаждения устойчиво депонировать атмосферный углерод, если нет неблагоприятных условий (болезни, пожары, антропогенные факторы).

Бюджет углерода на уровне соснового насаждения в Поволжье максимален в спелых и перестойных насаждениях (табл. 2). К этому времени наблюдается увеличение депонирования углерода не только древостоем, но также живым напочвенным покровом, древесным детритом [19] и почвами. Основные изменения в течение роста сосняков происходят в запасах надземной фитомассы. Углерод органического вещества почв также накапливается, но с меньшей скоростью. Об этом также свидетельствуют исследования других ученых [2, 21].

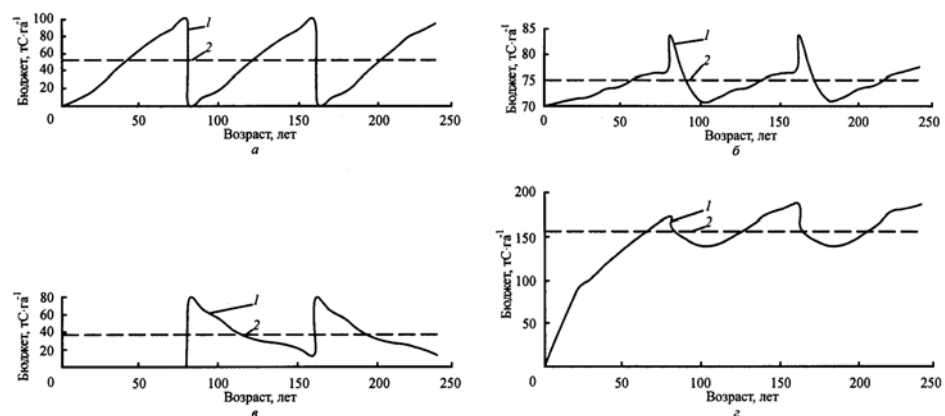


Рис. 2. Динамика углерода в различных пулах соснового насаждения I класса бонитета в течение трех оборотов рубки: *а* – древостой, NPP; *б* – детрит, NPD + углерод почв; *в* – продукты, депонирование; *г* – итого по всем пулам; *1* – всего; *2* – среднее за весь период

Таблица 2

**Бюджет углерода в сосновых насаждениях различных классов бонитета и возраста, т С·га<sup>-1</sup>**

Бюджет углерода	Класс бонитета				
	I	II	III	IV	V
40 лет (молодняки)					
NEP	47	37	30	22	16
NPD	3	3	2	1	1
Углерод почвы	71	62	59	58	58
Общий	121	102	91	81	75
60 лет (средневозрастные)					
NEP	71	57	44	34	25
NPD	7	6	5	3	3
Углерод почвы	72	63	60	59	59
Общий	150	126	109	96	87
80 лет (приспевающие)					
NEP	90	73	56	44	34
NPD	9	8	7	5	4
Углерод почвы	73	64	61	60	60
Общий	172	145	124	109	98
100 лет (спелые)					
NEP	99	87	66	52	42
NPD	11	10	8	6	5
Углерод почвы	74	65	63	61	61
Общий	184	162	137	119	108
140 лет (перестойные)					
NEP	114	98	77	60	53
NPD	16	13	12	9	8
Углерод почвы	75	68	65	63	63
Общий	205	179	154	132	124

Депонирование углерода (NPP) сосновым насаждением I класса бонитета с момента начала его роста до возраста рубки достигает 96 т С·га<sup>-1</sup>. После сплошной вырубki древостоя запасы углерода резко снижаются, а на лесосеке остается 3 т С·га<sup>-1</sup> в виде лесной подстилки и подлеска (рис. 2, а). Затем в результате лесовозобновления сосновое насаждение продолжает накапливать углерод до предыдущего уровня и очередной рубки. В целом наблюдается максимум к возрасту рубки и последующий относительно долгий период существования продуктов из древесины, подлежащих эксплуатации.

Во время сплошной рубки часть сосновой древесины в виде порубочных остатков остается на лесосеке, пополняя запасы древесного детрита. На графике это видно по резко возросшим запасам древесного детрита

и углерода почв (рис. 2, б). В течение последующих 10 лет в процессе разложения порубочных остатков происходит снижение запасов углерода в данном пуле. С ростом древостоя и его отпадом детрит повторно продолжает аккумулироваться, и кривая растет до следующего возраста рубки. Продолжительность нахождения углерода в этих пулах в значительной степени зависит от скорости накопления биомассы и дальнейшего ее разложения. Древесный детрит разлагается с различной скоростью и трансформируется в пул почвы, в котором этот процесс замедляется. Основной неопределенностью в данном случае остается скорость разложения фракций лесной подстилки, древесного детрита и почв.

Вырубленная древесина (GPP) трансформируется в продукты, которые продолжают удерживать углерод (рис. 2, в), этот пул максимален на момент вырубки древостоя. Через год после вырубки древостоя (81 год в общем периоде моделирования) он составляет 76 т С с 1 га соснового насаждения. В течение 100 лет эксплуатации в долговременных продуктах остается до 10 % депонированного углерода от его первоначального значения [23]. Сумма всех пулов за весь период показывает, что если сосновое насаждение продолжает расти на месте вырубленного, то общая кривая (рис. 2, г) депонирования находится в пределах 140...180 т С·га<sup>-1</sup>. Значительный вклад в общее накопление углерода вносят лесные почвы, которые депонируют его дольше, чем сам древостой.

Таким образом, при исследованиях депонирования углерода сосновыми насаждениями рекомендуется использовать следующие критерии: среднее (эквilibrium) равновесное депонирование насаждением на три оборота различных рубок главного пользования древостоем, почвами и детритом, продуктами из древесины; бюджет углерода на определенный период роста насаждения. Для соснового древостоя I класса бонитета запасы депонированного углерода в течение трех оборотов рубки достигают среднего равновесного значения 51, древесного детрита и почв – 75, продуктов из древесины – 37, в целом по всему насаждению – 155 т С·га<sup>-1</sup> или соответственно 31,46 и 23 % по основным пулам. Таким образом, главным пулом депонированного углерода являются почвы с древесным детритом, далее следуют сосновый древостой и продукты из древесины. Для сравнения можно привести подобные критерии для 150-летних сосняков Финляндии [16], где чистое депонирование углерода по пулам составляет: в древостое 44...50, в детрите 12...21, в почве 18...35, в продуктах из древесины 18...29, общее 101...127 т С·га<sup>-1</sup>, чистый средний прирост углерода 0,6...1,0 т С·га<sup>-1</sup>·год<sup>-1</sup>. Наши показатели сравнимы также с материалами M.G.R. Cannell и R.C. Dewar [10], изучавшими депонирование углерода в лесных насаждениях Великобритании. По их данным, процентное соотношение среднего равновесного депонирования елью Ситка на 300 лет составляет: почвой и детритом – 50, древостоем – 34, продуктами из древесины – 16 %.

Полученные результаты свидетельствуют о необходимости интегрированного подхода к оценке депонирования углерода лесами и лесным

сектором в целом, что также способствует оценке общего цикла углерода в атмосфере. Предложенная модель обладает рядом преимуществ, так как позволяет выделить и включить в общую оценку различные факторы, влияющие на бюджет углерода лесной экосистемы, выявить основные его потоки и наметить мероприятия по долгосрочному депонированию. В дальнейшем она может быть адаптирована к различным сценариям ведения лесного хозяйства.

Важным аспектом исследований является выделение среднего (эквивалибриума) значения накопления углерода, которое определяет устойчивость депонирующей функции лесов. Такой подход позволит получать углеродные кредиты в начале проектов Киотского протокола, что важно для лесного хозяйства в связи с продолжительным процессом выращивания леса. Скорость накопления углерода в молодых насаждениях будет выше, чем в спелых и перестойных. Эквивалибриум депонирования позволит выравнять это различие.

Несмотря на важность комплексного подхода при оценке бюджета углерода лесного насаждения, существует ряд факторов, влияющих на точность его определения. Это отсутствие достоверных данных о площади лесных пожаров, различных нарушениях, нелегальных рубках, сложно определяемой биомассе корней. Большую неопределенность вызывает также вопрос об использовании продуктов из древесины и их терминальной утилизации на полигонах твердых бытовых отходов. Все эти вопросы должны быть приняты во внимание при дальнейшей оценке бюджетов углерода в лесном хозяйстве на уровне отдельных регионов.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Ведрова, Э.Ф.* Круговорот углерода в молодняках основных лесообразующих пород Сибири [Текст] / Э.Ф. Ведрова, Л.В. Спиридонова, В.Д. Стаканов // Лесоведение. – 2000. – № 3. – С. 40–48.
2. *Газизуллин, А.Х.* Почвенно-экологические условия формирования лесов Среднего Поволжья [Текст] / А.Х. Газизуллин. – Казань: РИЦ «Школа», 2005. – 496 с.
3. Динамика пулов и потоков углерода на территории лесного фонда России / Д.Г. Замолотчиков [и др.] // Экология. – 2005. – № 5. – С. 323–333.
4. *Курбанов, Э.А.* Бюджет углерода сосновых экосистем Волго-Вятского района России [Текст] / Э.А. Курбанов. – Йошкар-Ола: МарГТУ, 2002. – 300 с.
5. *Курбанов, Э.А.* Древесный детрит в сосновых насаждениях Среднего Заволжья [Текст] / Э.А. Курбанов, О.Н. Кранкина // Лесн. журн. – 2001. – № 4. – С. 27–32. – (Изв. высш. учеб. заведений).
6. *Курбанов, Э.А.* Углерод в продуктах из древесины Республики Марий Эл [Текст] / Э.А. Курбанов // Лесн. журн. – 2003. – № 6. – С. 16–24. – (Изв. высш. учеб. заведений).
7. Опыт агрегированной оценки основных показателей биопродукционного процесса и углеродного бюджета наземных экосистем России. 2. Нетто-первичная продукция экосистем [Текст] / А.З. Швиденко [и др.] // Экология. – 2001. – № 2. – С. 83–90.
8. *Усольцев, В.А.* Фитомасса лесов северной Евразии: нормативы и элементы географии [Текст] / В.А. Усольцев. – Екатеринбург: УрО РАН, 2002. – 761 с.

9. Экологические проблемы поглощения углекислого газа посредством лесовосстановления и лесоразведения в России [Текст] / А.С. Исаев [и др.]; под ред. А.В. Яблокова. – М.: Центр экологической политики России, 1995. – 155 с.
10. *Cannell, M.G.R.* The carbon sink provided by plantation forests and their products in Britain [Text] / M.G.R. Cannell, R.C. Dewar // *Forestry*. – 1995. – Vol. 68, N 1. – P. 35–48.
11. *Farquhar, G.D.* A biochemical model of photosynthetic CO<sub>2</sub> assimilation in leaves of C3 species [Text] / G.D. Farquhar, S. Von Caemmerer, J.A. Berry // *Planta*. – 1980. – N 149. – P. 79–90.
12. *Grace, J.* Methodologies for estimating the forest carbon budget for Europe [Text] / J. Grace, F. Veroustraete, T. Karjalainen // *Forest ecosystem modeling, upscaling and remote sensing*. – The Netherlands, 2000. – P. 109–122.
13. *Haripriya, G.S.* Carbon budget of the Indian forest ecosystem [Text] / G.S. Haripriya // *Climatic change*. – 2003. – N 56. – P. 291–319.
14. *Harmon, M.E.* Modeling carbon stores in Oregon and Washington forest products: 1900-1992 [Text] / M.E. Harmon, J.M. Harmon, W.K. Ferrell // *Climatic change*. – 1996. – N 33. – P. 521–550.
15. IPCC: Climate change 2001: The Scientific basis. Contribution of working group I to the third assessment report of the Intergovernmental panel of Climate Change [Text] / J.T. Houghton [et al.] // Cambridge University Press. – Cambridge: United Kingdom and NY, USA, 2001. – 881 p.
16. *Karjalainen, T.* Dynamics of the carbon flow through forest ecosystems and the potential of carbon sequestration in forests and wood in Finland [Text] / T. Karjalainen: Academic Dissertation. – University of Joensuu: Faculty of forestry, 1996. – 80 p.
17. *Krankina, O.N.* Carbon storage and sequestration in the Russian forest sector [Text] / O.N. Krankina, M.E. Harmon, J.K. Winjum // *Ambio*. – 1996. – Vol. 25, N 4. – P. 284–288.
18. *Krankina, O.N.* Dynamics of the dead woods carbon pool in north-western Russian boreal forests [Text] / O.N. Krankina, M.E. Harmon // *Water, air and soil pollution*. – 1995. – Vol. 82. – P. 227–238.
19. *Kurbanov, E.A.* Woody detritus in temperate pine forests of Western Russia [Text] / E.A. Kurbanov, O.N. Krankina // *World Resources Review*. – 2000. – Vol. 12, N 4. – P. 741–754.
20. *Lindroth, A.* Long-term measurements of boreal forest carbon balance reveal large temperature sensitivity [Text] / A. Lindroth, A. Grelle, A. Moren // *Global change biology*. – 1998. – N 4. – P. 443–450.
21. *Liski, J.* Density of organic carbon in soil at coniferous forest sites in southern Finland [Text] / J. Liski, C.J. Westman // *Biogeochemistry*. – 1995. – N 29. – P. 183–197.
22. *Molly K.W.* Life cycle inventories of roundwood production in northern Wisconsin: Inputs into an industrial forest carbon budget [Text] / K.W. Molly, T.G. Stith, E. Douglas // *Forest Ecology and Management*. – 2005. – N 219. – P. 13–28.
23. *Row, C.* Tracing the flow of carbon through U.S. forest product sector [Text] / C. Row, R. Phelps // Presentation at the 19<sup>th</sup> World Congress: IUFRO, 1991. – 13 p.
24. Strategies for measuring and modeling carbon dioxide and water vapour fluxes over terrestrial ecosystems [Text] / D. Baldocchi [et al.] // *Global change biology*. – 1996. – N 3. – P. 159–168.
25. The carbon budget of the Canadian forest sector: Phase I. for Canada [Text] / W.A. Kurz [et al.]. – Edmonton, 1994. – 93 p.

---

26. The carbon pool in a British semi-natural woodland [Text] / G.L. Patenaude [et al.] // Forestry (Oxford University Press). – 2003. – Vol. 76/1. – P. 109–119.

Поступила 28.11.06

*E.A. Kurbanov*  
Mari El State Technical University

**Carbon Budget Simulation in Forest Stands Based on Example of Povolzhje Pine Forests**

The estimation model is offered for main carbon flows in different pools of Povolzhje pine stands allowing to take into account different factors' influence on carbon budget of forest ecosystem. The importance of mapping a mean value of carbon storage determining the stability of forest depositing function is shown.

Keywords: Kyoto protocol, forest ecosystems, carbon budget, pine, greenhouse gases.

---

**Н.А. Бабич, И.С. Нечаева**

Архангельский государственный технический университет

Бабич Николай Алексеевич родился в 1947 г., окончил в 1971 г. Архангельский государственный лесотехнический институт, доктор сельскохозяйственных наук, профессор кафедры лесных культур и ландшафтного строительства Архангельского государственного технического университета. Имеет более 200 печатных работ в области таежного искусственного лесовосстановления.

E-mail: [les@agtu.ru](mailto:les@agtu.ru)



Нечаева Ирина Сергеевна родилась в 1984 г., окончила в 2006 г. лесохозяйственный факультет Архангельского государственного технического университета, в 2007 г. Институт информационных технологий АГТУ, аспирант кафедры лесных культур и ландшафтного строительства АГТУ. Имеет 3 печатные работы по изучению сорной растительности лесных питомников.

E-mail: [les@agtu.ru](mailto:les@agtu.ru)



## СОРНАЯ РАСТИТЕЛЬНОСТЬ В ЛЕСНЫХ ПИТОМНИКАХ

Изучен флористический состав сорных растений в лесных питомниках Архангельской области, что позволяет совершенствовать систему применения гербицидов и служит теоретической основой разработки рекомендаций по уходу за сеянцами и саженцами.

*Ключевые слова:* геоботаническое исследование, флора, сорная растительность, биологические особенности сорняков.

В настоящее время слабо изученными остаются сорно-полевые растительные сообщества лесных питомников Архангельской области. Основным современным источником сведений о флоре всей территории региона является работа В.М. Шмидта [3]. По его данным, из 143 сорных видов флоры Архангельской области в питомниках произрастает 62 вида, или около 45 %.

Целью наших исследований явилось уточнение флористического состава и изучение биологических особенностей сорных растений. Синтаксономический спектр сорного агрофитоценоза определяют методом классического эколого-флористического анализа согласно общепринятой методике геоботанического исследования [1, 4]. Наши работы проведены на продуцирующей (посевное отделение, школьное отделение) и вспомогательной (хозяйственный, прикопочный участки, компостник, обочины дорог и др.) площадях Няндомского, Каргопольского, Плесецкого, Коношского и Устьянского постоянных лесных питомников. Установлено, что флора сорной растительности питомников Архангельской области насчитывает 109 видов сосудистых растений, относящихся к 86 родам и 29 семействам. Преобладают травянистые растения (101 вид, или 92,7 %), из них многолетние травы 73 видов (72,3 %), однолетние и двулетние 28 видов (27,7 %). Кустарники и кустарнички представлены 8 видами (7,3 %).

Более половины видов способны существовать в условиях нескольких типов местообитаний, что часто затрудняет отнесение их к определен-



ной экологической группе. Один и тот же вид зачастую характерен для двух-трех таких групп, поэтому приводимые ниже соотношения в сумме неизбежно превышают 100 %. Наибольшее число видов являются луговыми,

#### Дифференциация видов сорных растений по биологическим группам

Биогруппа сорных растений	Питомники				
	Няндомский (20,0)	Каргопольский (11,0)	Плесецкий (22,0)	Коношский (11,4)	Устьянский (12,0)
Ярвые однолетники	7	8	5	5	4
Зимующие и озимые	4	5	5	5	3
Двулетники	–	4	2	2	1
Корневищные многолетники	13	15	13	17	8
Стержнекорневые и ползучие	8	11	9	7	7
Корнеотпрысковые	7	7	6	8	7
Многолетники, размножающиеся надземными побегами	4	4	2	5	4
С мочковатой корневой системой	4	9	7	11	7
Прочие биогруппы	4	7	4	6	1
Отношение малолетние / многолетние	0,3	0,3	0,3	0,2	0,2

Примечание. В скобках указана площадь территории, га.

лесными и болотными растениями. В сложении различных луговых сообществ участвуют 67 видов (61,5 % состава флоры питомников), однако типично луговыми являются лишь 20 (18,4 %), остальные 47 (43,1 %) следует считать факультативными, хотя они вполне обычны на лугах. В лесных растительных сообществах произрастают в общей сложности 66 видов (60,6 %), но только 9 из них (8,3 %) могут быть признаны типично лесными, а 57 (52,3 %) встречаются и в других условиях. Болотные растения насчитывают 20 видов (18,4 %).

Разнообразие биологических и экологических особенностей сорняков и их высокая жизнеспособность – результат длительной борьбы за существование, в процессе которой они приобрели защитные приспособления, позволяющие выживать в условиях интенсивного возделывания почвы и успешно конкурировать с культивируемыми растениями. Сходство сорных растений по этим биологическим особенностям, как и идентичность их реакции на агротехнические мероприятия, дали основание Л.И. Казакевичу, А.И. Мальцеву и А.В. Фисюнову (по [2]) объединить их в агробиологические группы представленные в таблице. Как видим, в рассматриваемых питомниках в основном преобладают корневищные многолетники, на втором

месте стержнекорневые и ползучие растения, на третьем корнеотпрысковые многолетники.

Ценоотическое разнообразие сорно-полевого компонента лесных питомников, соотношение малолетних и многолетних сорняков, а также их встречаемость на объектах являются теоретической основой при выборе комплекса мероприятий по борьбе с травянистой растительностью.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Гнатюк, Е.П.* Методы исследования ценофлор (на примере растительных сообществ вырубок Карелии) [Текст]: учеб.-методич. пособие / Е.П. Гнатюк, А.М. Крышень. – Петрозаводск, 2005. – 68 с.
2. *Третьяков, Н.Н.* Основы агрономии [Текст]: учеб. пособие / Н.Н. Третьяков [и др.] – М.: Профобриздат, 2002. – 360 с.
3. *Шмидт, В.М.* Флора Архангельской области [Текст] / В.М. Шмидт. – СПб.: СПб. ун-т, 2005. – 346 с.
4. *Ярошенко, П.Д.* Геоботаника [Текст] / П.Д. Ярошенко. – М.: Просвещение, 1969. – 200 с.

Поступила 19.12.07

*N.A. Babich, I.S. Nechaeva*  
Arkhangelsk State Technical University

#### **Weed Vegetation in Forest Nurseries**

The floristic composition of weed in forest nurseries of the Arkhangelsk Region is studied allowing to improve the system of herbicides use and serve as a theoretical basis for developing recommendations on seedlings care.

Keywords: geobotanical research, flora, weed vegetation, biological peculiarities of weed.

УДК 630\*43:632.187.1:582.477

**Н.В. Дюбанова**

Национальный парк «Припышминские боры»

Дюбанова Наталья Владимировна родилась в 1976 г., окончила в 2000 г. Тюменский государственный университет, старший научный сотрудник Национального парка «Припышминские боры». Область научных исследований – лесоведение.

E-mail: [nauka93@mail.ru](mailto:nauka93@mail.ru)



### **НИЗОВЫЕ ПОЖАРЫ КАК ФАКТОР, ЛИМИТИРУЮЩИЙ РАСПРОСТРАНЕНИЕ МОЖЖЕВЕЛЬНИКА ОБЫКНОВЕННОГО В НАЦИОНАЛЬНОМ ПАРКЕ «ПРИПЫШМИНСКИЕ БОРЫ»**

Приведены данные о влиянии низовых пожаров на распространение можжевельника в условиях предлесостепных сосново-березовых лесов Зауралья на территории Национального парка «Припышминские боры». Даны характеристики горельников. Представлена возобновительная динамика.

*Ключевые слова:* лесные пожары, можжевельник, зарастание горельников.

Известна средообразующая роль лесных пожаров. Их влияние на структуру биогеоценозов и условия произрастания в сосняках-зеленомошниках Припышминского лесного массива, расположенного на юго-востоке Свердловской области в подзоне предлесостепных сосново-березовых лесов Зауралья [2], изучали на примере сосны обыкновенной [7]. Пожары влияют как на древостой, так и на все остальные компоненты биогеоценоза, при любой интенсивности уничтожают лишайниковый, гипново-моховой покров и надземные части травяно-кустарничкового яруса, способствуя вегетативному размножению и росту популяций относительно пожароустойчивых луговых и лесных трав, а также пирогенных политриховых мхов, бокальчатых и трубчатых кладоний [1, 4, 5, 8]. Предыдущими исследованиями установлена ключевая роль пирогенного фактора в возобновлении сосны обыкновенной (*Pinus sylvestris* L.).

Цель нашей работы – выяснить влияние низовых лесных пожаров на последующее возобновление можжевельника обыкновенного (*Juniperus communis* L.), произрастающего в Национальном парке «Припышминские боры», в типе леса сосняк бруснично-черничниковый [3].

Точки роста у можжевельника образуются в надземной части. Кора очень тонкая, легко отслаивается и горит, камбиальные слои залегают близко к поверхности. Как у всех хвойных, в хвое и других надземных органах растения много смолистых и воскоподобных веществ, а также эфирных масел, термолит которых происходит при более низких температурах, чем у древесины, и которые горят с большей теплоотдачей. Эти особенности химического состава растения в совокупности с низко расположенной кроной, поверхностной корневой системой, где нет спящих почек, определяют слабую устойчивость к пожарам и затрудняют последующее вегетативное возобновление.

Результаты нашей работы наглядно показывают, что пожары влияют на распространение можжевельника очень сильно, более того, они оказываются главным лимитирующим антропогенным фактором. На модельной площади (50 га) обнаружено восемь гарей разной давности общей площадью 9 га, на трех из них обилие можжевельника 1...5 %. По классификации С.Н. Санникова [6], это гари под пологом леса. Можжевельник сохраняется на ранневесенних гаях при минимально просохшей подстилке, что обуславливает крайне низкую интенсивность горения.

Характеристика гарей на обследованных площадях приведена в таблице. Степень прогорания лесной подстилки определить практически невозможно, так как возраст некоторых гарей достигает 15 лет. Площади № 4 и 7 пройдены огнем в 1991 г., это самые старые из обнаруженных. За 15 лет на них не произошло ни семенного, ни вегетативного возобновления можжевельника.

Отсутствие семенного возобновления никоим образом не доказывает отрицательной роли пожаров. Причину можно видеть в том, что можжевельник практически не плодоносит под пологом леса. Крайне слабо плодоносящие экземпляры встречаются при сомкнутости верхнего яруса не более 50 %. Не исключена возможность заноса орнитохорным путем, но на исследованных гаях это не обнаружено.

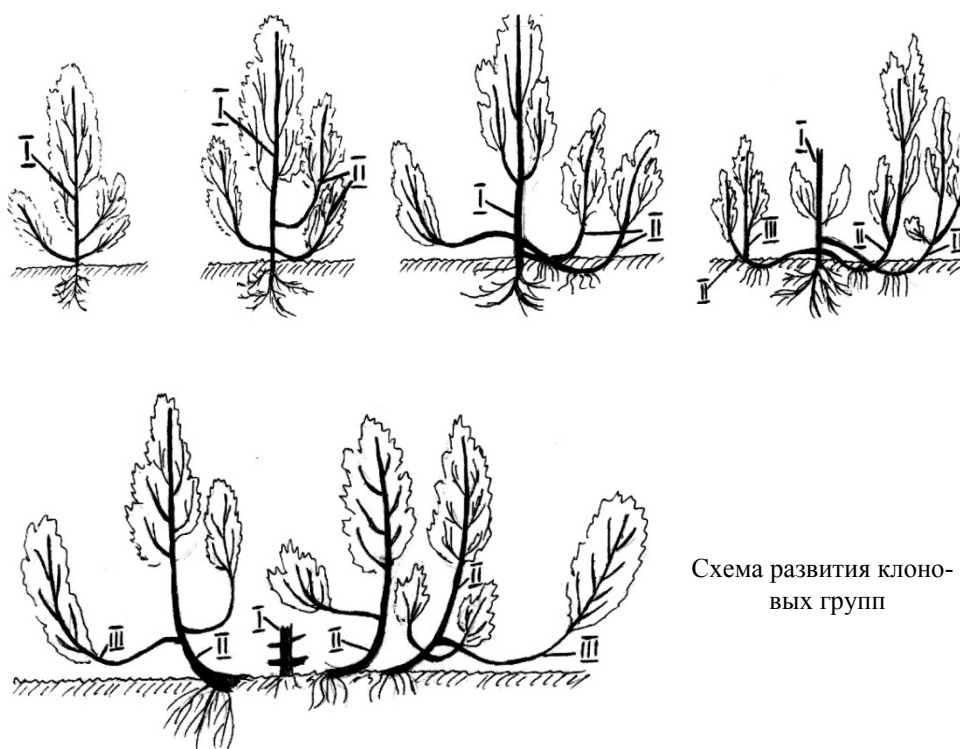


Схема развития клоновых групп





Вегетативное возобновление происходит крайне медленно и сводится к укоренению боковых ветвей. Формирование и дальнейшее их укоренение происходит в возрасте стволов предыдущего порядка около 40 лет. Вновь укоренившиеся ветви-стволы удалены от предыдущих на расстояние 40...70 см, максимально до 1,5 м, что является предельной скоростью разрастания клоновых групп (см. рисунок). Корневой поросли можжевельник не образует.

Приведенные факты говорят в пользу того, что семенное возобновление в условиях Припышминского лесного массива носит случайный, крайне нерегулярный характер и имеет значение при первичных сукцессиях: единичные экземпляры достоверно семенного происхождения обнаружены на зарастающих сельскохозяйственных пахотных землях. А их значительная удаленность от плодоносящих экземпляров говорит в пользу орнитохорного характера распространения семян.

Итак, влияние пожаров на естественное возобновление разных компонентов биогеоценозов неодинаково: на сосну – положительное, на можжевельник – прямо противоположное.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Колесников, Б.П. Влияние низового пожара на структуру древостоя и возобновление древесных пород в сосняках черничном и бруснично-черничном [Текст] / Б.П. Колесников, Н.С. Санникова, С.Н. Санников // Горение и пожары в лесу. – Красноярск: Ин-т леса и древесины СО АН СССР, 1973. – С. 301–321.
2. Колесников, Б.П. Естественно-историческое районирование лесов на примере Урала [Текст] / Б.П. Колесников // Вопросы лесоведения и лесоводства: докл. на V Всемирн. лесн. конгрессе. – М.: Изд-во АН СССР, 1960. – С. 51–65.
3. Колесников, Б.П. Типы южнотаежных лесов среднего течения р. Тавды и Тавда-Куминского междуречья [Текст] / Б.П. Колесников // Южнотаежные леса Западно-Сибирской равнины (бассейны рек Тавды и Конды): тр. ИЭРиЖ УНЦ АН СССР. – Свердловск, 1972. – Вып. 83. – С. 66–95.
4. Корчагин, А.А. Влияние пожаров на лесную растительность и восстановление ее после пожара на Европейском Севере [Текст] / А.А. Корчагин // Тр. БИН МН СССР. Геоботаника. – 1954. – Т. 9. – С. 75–149.
5. Пушкина, Н.М. Естественно возобновление растительности на лесных гарях [Текст] / Н.М. Пушкина // Тр. Лапланд. госзаповедника. – 1960. – Вып. 4. – С. 5–125.
6. Санников, С.Н. Рекомендации по содействию естественному возобновлению главных пород на гарях в лесах Западной Сибири [Текст] / С.Н. Санников, В.А. Подшивалов, Д.С. Санников. – Екатеринбург, 2000. – 32 с.
7. Санников, С.Н. Экология естественного возобновления сосны под пологом леса [Текст] / С.Н. Санников, Н.С. Санникова. – М.: Наука, 1985. – 149 с.
8. Смирнов, А.В. Изменение компонентов лесной растительности юга Средней Сибири под воздействием антропогенных факторов [Текст]: автореф. дис. ... д-ра биол. наук / А.В. Смирнов. – Красноярск, 1970. – 48 с.

Поступила 07.09.07

---

*N.V. Dyubanova*

National Park «Pripyshmin Forests»

**Ground fires as Factor Limiting Spread of Common Juniper in National Park  
«Pripyshmin Forests»**

Data are provided on the influence of ground fires on juniper spread in the conditions of pre-forest-steppe pine-and-birch forests of trans-Ural region on the territory of National park «Pripyshmin Forests». Characteristics of burnt wood are given. Reproduction dynamics is presented.

Keywords: forest fires, juniper, overgrowing of burnt wood.

---



## Характеристика гарей в обследованных насаждениях

№ гарей	Состав и возраст древостоя	Год пожара	Сила пожара				Преобладающие виды подлеска и напочвенного покрова	Состояние и особенности распространения можжевельника
			Высота нагара, м	Высота расположения лесных подсушин, м	Размер подсушин, см	Процент деревьев с подсушинами в древостое		
1	9С1Б, 40...60 лет	1998	2,5	–	–	–	Перловник поникший ( <i>Melica nutans</i> L.), вейник наземный ( <i>Calamagrostis epigeios</i> Roth.), черника ( <i>Vaccinium myrtillus</i> L.), брусника ( <i>V. vitis-idaea</i> L.), неоттианта клубочковая ( <i>Neottianthe cucullata</i> Schlechter)	Единично на непрогоревших участках
2		24.05.04	1,5	–	–	–	Земляника лесная ( <i>Fragaria vesca</i> L.), плеуроциум Шребера ( <i>Pleurozium schreberi</i> (Brid.) Mitt.)	Погиб весь, но не выгорел полностью
3		1998	4,0	До 1,1	10...20× ×60...110	9	Подлесок не сохранился. В напочвенном покрове: зимолюбка зонтичная ( <i>Chimaphila umbellata</i> (L.) W. Barton.), брусника ( <i>Vaccinium vitis-idaea</i> L.), ортилия однобокая ( <i>Orthilia secunda</i> (L.) House.), ожика волосистая ( <i>Luzula pilosa</i> (L.) Willd.), плеуроциум Шребера ( <i>Pleurozium schreberi</i> (Brid.) Mitt.)	Отсутствует, за границами пожара проективное покрытие можжевельника 20 %
4		1991	4,0 (сверху по нагару уже выросли лишайники)	0,9	10...15× ×60...100	7	Подлесок послепожарный: береза повислая ( <i>Betula pendula</i> Roth.), черемуха обыкновенная ( <i>Padus avium</i> Mill.), яблоня ягодная ( <i>Malus baccata</i> (L.) Borkh.). В напочвенном покрове: вейник наземный ( <i>Calamagrostis epigeios</i> (L.) Roth.), плеуроциум Шребера ( <i>Pleurozium schreberi</i> (Brid.) Mitt.), птилиум гребенчатый ( <i>Ptilium crista-castrensis</i> (Hedw.) De Not.)	Единичные кусты можжевельника высотой до 1 м

Окончание таблицы

№ гари	Состав и возраст древостоя	Год пожара	Сила пожара				Преобладающие виды подлеска и напочвенного покрова	Состояние и особенности распространения можжевельника
			Высота нагара, м	Высота расположения лесных подсушин, м	Размер подсушин, см	Процент деревьев с подсушинами в древостое		
5		1997	1,5	–	–	–	В напочвенном покрове: вейник наземный ( <i>Calamagrostis epigeios</i> (L.) Roth.), черника ( <i>Vaccinium myrtillus</i> L.), брусника ( <i>Vaccinium vitis-idaea</i> L.), плеуроциум Шребера ( <i>Pleurozium schreberi</i> (Brid.) Mitt.), птилиум гребенчатый ( <i>Ptilium crista-castrensis</i> (Hedw.) De Not.).	Сохранился единично на границе гари, кусты высотой до 1,5 м
6		2000	1	–	–	–	В подлеске сохранились яблоня ягодная ( <i>Malus baccata</i> (L.) Borkh.), рябина обыкновенная ( <i>Sorbus aucuparia</i> L.). В напочвенном покрове: черника ( <i>Vaccinium myrtillus</i> L.), брусника ( <i>Vaccinium vitis-idaea</i> L.), плеуроциум Шребера ( <i>Pleurozium schreberi</i> (Brid.) Mitt.). Отмечен вид, не характерный для местной флоры – ландыш майский ( <i>Convallaria majalis</i> L.)	Сохранились кусты по-рослевого происхождения с проективным покрытием 10 %
7	10С+Б, 60...70 лет	1991	4	0,8...1,1	10...20× ×50...110	9	В подлеске яблоня ягодная ( <i>Malus baccata</i> Borkh.), малина обыкновенная ( <i>Rubus idaeus</i> L.), береза повислая ( <i>Betula pendula</i> Roth.), рябина обыкновенная ( <i>Sorbus aucuparia</i> L.). В напочвенном покрове: вейник наземный ( <i>Calamagrostis epigeios</i> (L.) Roth.), черника ( <i>Vaccinium myrtillus</i> L.), брусника ( <i>Vaccinium vitis-idaea</i> L.), плеуроциум Шребера ( <i>Pleurozium schreberi</i> (Brid.) Mitt.).	Отсутствует
8		1992	4	0,9...1,1	10...20× ×60...110		В напочвенном покрове: вейник наземный ( <i>Calamagrostis epigeios</i> (L.) Roth.), черника ( <i>Vaccinium myrtillus</i> L.), брусника ( <i>Vaccinium vitis-idaea</i> L.), плеуроциум Шребера ( <i>Pleurozium schreberi</i> (Brid.) Mitt.).	«



## Окончание таблицы

№ гари	Состав и возраст древостоя	Год пожара	Сила пожара				Преобладающие виды подлеска и напочвенного покрова	Состояние и особенности распространения можжевельника
			Высота нагара, м	Высота расположения лесных подсушин, м	Размер подсушин, см	Процент деревьев с подсушинами в древостое		
5	9С1Б, 40...60 лет	1997	1,5	–	–	–	В напочвенном покрове: вейник наземный ( <i>Calamagrostis epigeios</i> (L.) Roth.), черника ( <i>Vaccinium myrtillus</i> L.), брусника ( <i>V. vitis-idaea</i> L.), плеуроциум Шребера ( <i>Pleurozium schreberi</i> (Brid.) Mitt.), птилиум гребенчатый ( <i>Ptilium crista-castrensis</i> (Hedw.) De Not.)	Сохранился единично на границе гари, кусты высотой до 1,5 м
6		2000	1,0	–	–	–	В подлеске сохранились яблоня ягодная ( <i>Malus baccata</i> (L.) Borkh.), рябина обыкновенная ( <i>Sorbus aucuparia</i> L.). В напочвенном покрове: черника ( <i>Vaccinium myrtillus</i> L.), брусника ( <i>V. vitis-idaea</i> L.), плеуроциум Шребера ( <i>Pleurozium schreberi</i> (Brid.) Mitt.). Отмечен вид, не характерный для местной флоры – ландыш майский ( <i>Convallaria majalis</i> L.)	Сохранились кусты порослевого происхождения с проективным покрытием 10 %
7	10С+Б, 60...70 лет	1991	4,0	0,8...1,1	10...20 × 50...110	9	В подлеске яблоня ягодная ( <i>Malus baccata</i> (L.) Borkh.), малина обыкновенная ( <i>Rubus idaeus</i> L.), береза повислая ( <i>Betula pendula</i> Roth.), рябина обыкновенная ( <i>Sorbus aucuparia</i> L.). В напочвенном покрове: вейник наземный ( <i>Calamagrostis epigeios</i> (L.) Roth.), черника ( <i>Vaccinium myrtillus</i> L.), брусника ( <i>V. vitis-idaea</i> L.), плеуроциум Шребера ( <i>Pleurozium schreberi</i> (Brid.) Mitt.)	Отсутствует
8		1992	4,0	0,9...1,1	10...20 × 60...110	7	В напочвенном покрове: вейник наземный ( <i>Calamagrostis epigeios</i> (L.) Roth.), черника ( <i>Vaccinium myrtillus</i> L.), брусника ( <i>V. vitis-idaea</i> L.), плеуроциум Шребера ( <i>Pleurozium schreberi</i> (Brid.) Mitt.)	«



**М.М. Устинов, М.В. Устинов**

Брянская государственная инженерно-технологическая академия

Устинов Максим Михайлович родился в 1984 г., окончил в 2006 г. Брянскую государственную инженерно-технологическую академию, аспирант БГИТА. Имеет 7 печатных работ по исследованиям товарной структуры выбираемой при рубках ухода части древостоев.

E-mail: max32br@rambler.ru



Устинов Михаил Васильевич родился в 1956 г., окончил Брянский технологический институт, кандидат сельскохозяйственных наук, доцент Брянской государственной инженерно-технологической академии. Имеет свыше 50 печатных работ в области таксации, лесоустройства и информационных технологий.

E-mail: max32br@rambler.ru

**ТОВАРНАЯ СТРУКТУРА ВЫБИРАЕМОЙ ПРИ РУБКАХ УХОДА ЧАСТИ ДРЕВОСТОЕВ ЕЛИ В БРЯНСКОЙ ОБЛАСТИ**

Представлены результаты исследований строения, формы и товарной структуры стволов ели, выбираемых при рубках ухода за лесом в древостоях II класса бонитета. Показано, что выход древесины в ступенях толщины по категориям крупности и сортам не соответствует данным товарных таблиц Н.П. Анучина. Отражена необходимость изучения и разработки нормативной базы для оценки выбираемой части древостоев.

*Ключевые слова:* строение древостоя, форма ствола, объем, выбираемая часть, товарность.

Разработка товарных и сортиментных таблиц для оценки древесины от рубок ухода обусловлена требованиями к ним [12] и современными рыночными условиями. Изучению товарности древесины посвящено достаточно много работ известных авторов [2, 4, 5 и др.]. При составлении товарных таблиц выбираемой части нами использованы методы, изложенные в работах [1, 3, 10 и др.].

Таблица 1

**Оценка различий в строении по  $d$  всего древостоя и выбираемой частей**

№ пробной площади	$\chi^2_{\text{факт}}$	$\chi^2_{\text{табл}}$	$P, \%$
1	23,5	22,4	95,0
2	35,5	25,0	95,0
3	23,2	22,4	95,0
4	48,1	34,5	99,9
5	281,4	34,5	99,9
6	17,9	16,9	95,0
15	451,5	43,8	99,9

Были заложены 24 пробные площади (ПП) в чистых ельниках кис-

личных, черничных и липняковых, типичных для района исследований, с полнотой более 0,8, требующих рубок ухода. Работы проводили по ОСТ 56-69-83 [14]. Дополнительно выполняли пересчет отобранных в рубку деревьев. При отборе деревьев и определении интенсивности рубки руководствовались «Правилами ухода за лесами», утвержденными приказом МПР РФ от 16.07.07 № 185. На пробах отбирали по 20...25 модельных деревьев ели из назначенных в рубку. Сортиментация и товаризация произведена по действующим нормативам [6–8, 13]. При обработке материалов использованы общеизвестные методы и разработанный нами комплекс программ. Всего исследовано 153 модельных дерева из насаждений II класса бонитета.

Строение выбираемых частей древостоев по диаметру ( $d$ ) описывается кривой распределения Грамма – Шарлье. Оно достоверно отличается от строения древостоев в целом на каждой ПП [9]:  $\chi^2_{\text{факт}} > \chi^2_{\text{табл}}$  (табл. 1).

У стволов выбираемых частей изменчивость коэффициента формы ( $q_2$ ) достигает 16,2 % (табл. 2). С увеличением  $d$  средние значения  $q_2$  уменьшаются, что соответствует данной закономерности для древостоев в целом.

При установлении закономерности  $q_2$  использованы значения высоты ( $h$ ) по ступеням толщины, полученные по разработанной нами модели:

$$h = -0,002 + 1,383d - 0,031d^2.$$

Таблица 2

Изменчивость  $q_2$  стволов выбираемой части древостоев

$d$ , см	$n$ , шт.	Показатели $q_2$		$\sigma$	$C$ , %	$P$ , %	$t_{\text{факт}}$	Уравнение $hq_2(h)$
		средний фактический	средний теоретический					
6	19	0,724	0,781	0,127	16,2	7,1	18,52	$hq_2 = 0,32419h + 2,87072$
8	40	0,791	0,760	0,052	6,8	2,4	80,11	$hq_2 = 0,13882h + 6,42942$
10	32	0,737	0,756	0,091	12,0	4,3	39,13	$hq_2 = 0,27647h + 4,86655$
12	39	0,747	0,748	0,053	7,1	2,3	75,74	$hq_2 = 0,26754h + 5,92720$
14	23	0,738	0,745	0,035	4,7	1,5	77,36	$hq_2 = 0,12611h + 8,13528$

С увеличением  $d$  видовое число ( $f$ ) четко не изменяется. При этом  $hf$  выбираемых стволов зависит от высоты прямолинейно. Сравнительная оценка  $f$  стволов ели выбираемой части невозможна, так как нет аналогичных таблиц других авторов.

На основании моделей формообразующих ствола разработаны объемные таблицы для выбираемой части ельников II класса бонитета (табл. 3).

Полученные нами значения объемов ствола ( $V$ ) по всем ступеням толщины на 7,0...19,5 % ниже, чем в таблицах В.К. Захарова [11] для ели III разряда высот (как наиболее близкого). Это несоответствие вызвано, по-видимому, спецификой отбора деревьев в рубку (к нежелательным, подлежащим рубке деревьям мы относили: мешающие росту, неудовлетворительного состояния, качества ствола и кроны и т. п.), размерами и формой их стволов.

На основании распределения модельных деревьев по категориям

крупности и сортам составлены товарные таблицы. При этом объем деловой древесины по категориям крупности ( $j$ ) и сортам ( $i$ ), сырья для технологической переработки ( $V_{\text{тех}}$ ), дров ( $V_{\text{др}}$ ) и отходов ( $V_{\text{отх}}$ ) рассчитывали по формулам [16]

$$V_{kji} = \frac{10^{-4} \pi}{4} \int_{h_k^{\text{н}}}^{h_k^{\text{в}}} [d^{\text{б.к}}(n)]^2 dh;$$

$$V_{\text{др}} = \frac{10^{-4} \pi}{4} \int_{h^{\text{н}}}^{h^{\text{в}}} [d^{\text{б.к}}(h)]^2 dh;$$

$$V_{\text{отх}} = V_{\text{ст}}^{\text{в.к}} - \sum_{i=1}^k V_k + V_{\text{др}},$$

где  $h_k^{\text{в}}$ ,  $h_k^{\text{н}}$  – значения высот, ограничивающие верхнее и нижнее сечения

$k$ -го сортимента,  $k = 1, 2, \dots, n$ ;

$j$  – индекс категории крупности,  $j = 1, 2, 3, 4$ ;

$i$  – индекс сорта,  $i = 1, 2, 3$ ;

$d^{\text{б.к}}$  – диаметр верхнего отреза сортимента без коры, см;

$n$  – число сортиментов, шт;

$V_{\text{ст}}^{\text{в.к}}$  – объем ствола в коре, м<sup>3</sup>;

$V_k$  – объем  $k$ -го сортимента, м<sup>3</sup>.

Таблица 3

Объем стволов выбираемой части древостоев (фрагмент)

Ступень толщины, см	Высота, м										
	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
6	0,0101	0,0102	0,0104	0,0106	0,0108	–	–	–	–	–	–
8	–	–	0,0235	0,0238	0,0241	0,0244	0,0247	–	–	–	–
10	–	–	–	–	0,0427	0,0432	0,0440	0,0454	0,0463	–	–
12	–	–	–	–	–	0,0705	0,0725	0,0744	0,0763	0,0783	–
14	–	–	–	–	–	–	0,1089	0,1095	0,1101	0,1107	0,1114

Таблица 4

Товарная структура выбираемых стволов ели (фрагмент)

$d$ , см	$h$ , м	Деловая древесина по категориям крупности и сортам						Технологи- ческое сырье	Дрова	Отходы	Всего	Объем ствола, м <sup>3</sup>	
		средняя-2			мелкая								
		1	2	Итого	1	2	Итого						
Вариант 1 (%)													
8	9,9	–	–	–	66,7	–	66,7	66,7	18,2	6,1	9,1	100,0	0,033
10	10,6	–	–	–	77,8	–	77,8	77,8	11,1	4,8	6,3	100,0	0,044
12	12,4	5,4	–	5,4	76,1	–	76,1	81,5	9,8	3,3	5,4	100,0	0,092
Вариант 2 (м <sup>3</sup> )													
8	9,9	–	–	–	0,022	–	0,022	0,022	0,006	0,002	0,003	0,033	0,033



10	10,6	–	–	–	0,034	–	0,034	0,034	0,005	0,002	0,003	0,044	0,044
12	12,4	0,005	–	0,005	0,070	–	0,070	0,075	0,009	0,003	0,005	0,092	0,092

Товарную структуру ствола в относительных величинах ( $P$ ) вычисляли по формулам

$$P_{ji} = \frac{V_{ji}}{V_{\text{в.к}}^{\text{ст}}} 100; \quad P_{\text{тех}} = \frac{V_{\text{тех}}}{V_{\text{в.к}}^{\text{ст}}} 100;$$

$$P_{\text{др}} = \frac{V_{\text{др}}}{V_{\text{в.к}}^{\text{ст}}} 100; \quad P_{\text{отх}} = 100 - \left( \sum_{j=1, i=1}^{4,3} P_{ji} + P_{\text{тех}} + P_{\text{др}} \right).$$

Алгоритм расчета предусматривает средний выход отдельных сортиментов в пределах ступеней толщины. По этому показателю установлен общий выход сортиментов в зависимости от  $d$ . Нами разработаны товарные таблицы для выбираемой при рубках ухода части древостоя в ельниках II класса бонитета (табл. 4).

Полученные нами показатели не совпадают с данными Н.П. Анучина [2]. Так, по таблицам Н.П. Анучина ниже выход деловой древесины, а также средние объемы стволов по ступеням толщины (на 14,5...29,6 %), но выше выход дров и отходов по всем ступеням.

Превышение средних объемов хлыстов по ступеням толщины и выхода деловой древесины в наших таблицах связано с различиями  $q_2$  и  $f$  стволов выбираемой части и древостоя в целом. Увеличение выхода деловой древесины возможно также за счет снижения требований к ней в действующем ГОСТ 9463–88 [8]. К аналогичному выводу пришел в своей работе С.С. Цай [15].

Таким образом, проведенные исследования указывают на необходимость дальнейшего изучения и разработки нормативной базы для количественной и качественной оценки выбираемой части древостоев при рубках ухода.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Антанайтис, В.В. Современное направление лесоустройства [Текст] / В.В. Антанайтис. – М.: Лесн. пром-сть, 1977. – 280 с.
2. Анучин, Н.П. Сортиментные и товарные таблицы [Текст]: справочник / Н.П. Анучин. – Изд. 7-е, перераб. и доп. – М.: Лесн. пром-сть, 1981. – 535 с.
3. Богачев, А.В. Методы таксации лесного и лесосечного фонда [Текст] / А.В. Богачев, С.Н. Свалов // Лесоведение и лесоводство: сб. науч. тр. – М.: ВИНТИ, 1978. – Т. 2. – С. 7 – 109.
4. Верхунов, П.М. Закономерности строения разновозрастных сосняков [Текст] / П.М. Верхунов. – Новосибирск: Наука, 1976. – 256 с.
5. Горский, П.В. Руководство для составления таблиц [Текст] / П.В. Горский. – М.: Гослесбумиздат, 1962. – 93 с.
6. ГОСТ 2140–81. Пороки древесины. Классификация, термины и определения, способы измерения [Текст]. – Введ. 01.01.1982. – М.: Изд-во стандартов, 1982. – 112 с.
7. ГОСТ 3243–88. Дрова. Технические условия [Текст]. – Взамен ГОСТ 3243–46; введ. 21.12.1988. – М.: Изд-во стандартов, 1989. – 6 с.

8. ГОСТ 9463–88. Лесоматериалы круглые хвойных пород. Технические условия [Текст]. – Взамен ГОСТ 9463–72; введ. 01.01.1988. – М.: Изд-во стандартов, 1988. – 13 с.

9. *Лакин, Г.Ф.* Биометрия [Текст]: учеб. пособие для биологич. спец. вузов / Г.Ф. Лакин. – Изд. 3-е, перераб. и доп. – М.: Высш. шк., 1980. – 293 с.

10. *Лебков, В.Ф.* Теория строения древостоев и ее роль в оценке продуктивности лесов [Текст] / В.Ф. Лебков // Вопросы лесоведения. Т. 2. – Красноярск, 1973. – С. 90–94.

11. Лесотаксационный справочник [Текст] / Б.И. Грошев [и др.]. – Изд. 2-е., перераб. – М.: Лесн. пром-сть, 1980. – 288 с.

12. Общесоюзные нормативы для таксации лесов [Текст] / В.В. Загребев [и др.]. – М.: Колос, 1992. – 495 с.

13. ОСТ 13–234–87. Сырье древесное для технологической переработки [Текст]. – Введ. 01.01.1987, – М.: Изд-во стандартов, 1987. – 11 с.

14. ОСТ 56–69–83. Пробные площади лесоустроительные. Метод закладки [Текст]. – М.: ЦБНТИлесхоз, 1984. – 50 с.

15. *Цай, С.С.* Использование модели образующей древесных стволов для таксации леса [Текст] / С.С. Цай // Лесная наука на рубеже XXI века / отв. ред. В.Ф. Багинский. – Гомель, 1997. – 486 с.

16. *Черных, В.Л.* Информационные технологии в лесном хозяйстве [Текст]: учеб. пособие / В.Л. Черных, В.В. Сысеев. – Йошкар-Ола: МарГТУ, 2000. – 378 с.

Поступила 06.11.08

*M.M. Ustinov, M.V. Ustinov*  
Bryansk State Engineering Academy

### **Commodity Value in Cut Part of Spruce Stands under Selective Felling in Bryansk Region**

The research results for structure, form and market value of spruce stems cut under selective felling in the stands of the II quality class are provided. It is shown that wood yield in the diameter classes according to size and sorts doesn't correspond to the marketability tables by N.P. Anuchin. The conclusion is drawn about the necessity of studying and developing the regulative base for assessment of the cut part of stands.

Keywords: stand structure, stem form, volume, cut part, marketability.

---

УДК 630\*18:[630\*812:674.032.475.542]

*Д.Е. Румянцев, П.Г. Мельник*

Московский государственный университет леса

Румянцев Денис Евгеньевич родился в 1978 г., окончил в 2001 г. Московский государственный университет леса, кандидат биологических наук, доцент кафедры ботаники и физиологии растений МГУЛ. Имеет 40 научных работ в области лесной дендрохронологии.

E-mail: landgraph@list.ru



Мельник Петр Григорьевич родился в 1970 г., окончил в 1992 г. Московский лесотехнический институт, кандидат сельскохозяйственных наук, доцент Московского государственного университета леса, секретарь Совета УМО по образованию в области лесного дела. Имеет около 100 печатных работ в области лесоведения, лесоводства, лесных культур, лесного образования и истории лесного дела.

E-mail: landgraph@list.ru



### **ВЛИЯНИЕ ЭКОЛОГИЧЕСКИХ ФАКТОРОВ НА ФОРМИРОВАНИЕ ТЕХНИЧЕСКИХ СВОЙСТВ ДРЕВЕСИНЫ ЕЛИ В УСЛОВИЯХ ТВЕРСКОЙ ОБЛАСТИ**

На базе постоянных пробных площадей, расположенных в Центральном-лесном государственном природном биосферном заповеднике (Тверская область), исследовано влияние эдафического (тип леса) и климатического (погодные условия в год формирования годичного кольца) факторов на долю поздней древесины в годичном кольце ели.

*Ключевые слова:* ель европейская, типы ельников, поздняя древесина, качество древесины, варьирование доли поздней древесины.

Надежным индикатором технических свойств древесины хвойных пород является доля поздней древесины в годичном кольце [1, 7, 12, 13, 15]. Этот признак характеризуется широкой фенотипической пластичностью – на разном экологическом фоне один и тот же генотип может формировать годичные кольца с разной долей поздней древесины. Выявление экологического фона, обеспечивающего формирование годичных колец с высокой долей поздней древесины, – важный этап для дальнейшего обсуждения возможностей управления данным признаком в соответствии с хозяйственными нуждами. Хотя этой проблеме посвящено немало исследований, целостной концепции, объясняющей физиологический механизм изменчивости доли поздней древесины в годичном кольце хвойных, на наш взгляд еще не существует.

В данной работе сделана попытка выявить экологический фон, способствующий формированию у деревьев ели европейской годичных колец с высокой долей поздней древесины в условиях Тверской области, а именно в Центральном-лесном государственном природном биосферном заповеднике (ЦЛГПБЗ), используя для этого дендроклиматохронологическую информацию.

ЦЛГПБЗ расположен на территории Тверской области, в юго-западной части Валдайской возвышенности в пределах главного Каспийско-Балтийского водораздела Русской равнины (56°26'...39°с.ш., 32°29'...33°01' в.д.). Доминирующее положение в структуре растительного покрова занимают еловые леса, представленные целостным, относительно ненарушенным массивом (47 %) [11], который удобен в качестве объекта для изучения различных аспектов экологии еловых лесов Русской равнины.

Анализируя связь доли поздней древесины с экологическим фоном, логично сначала рассмотреть изменчивость данного признака по типам леса. Данный подход традиционен при анализе влияния экологических условий на технические свойства древесины [6, 8]. Согласно типологии В.Н. Сукачева [2, 10], еловые леса подразделяют на пять групп. Наиболее важной с точки зрения ведения лесного хозяйства является группа ельников-зеленомошников и сложных ельников, насаждения которых имеют высокий бонитет, удобны для вывозки древесины и проведения лесокультурных работ.

Работы по сбору полевого материала проводили на трех постоянных пробных площадях (ПП 10, 12, 19). В анализ были включены типы леса, формирующиеся в разных почвенно-гидрологических условиях [2, 10]: из группы зеленомошных – ельники черничный и кисличный, из группы сложных ельников – липовый. Ельник кисличный – центральный тип, на почвах увлажненных формируется ельник черничный, на плодородных – ельник липовый. На всех пробных площадях древостои ели имеют приблизительно одинаковый возраст (см. таблицу).

**Характеристика пробных площадей**

Номер площади	Состав древостоя	Под-рост	Под-лесок	Основные виды живого напочвенного покрова*	Тип леса	Возраст**, лет
ПП 10	8Е1Б1Ос	Ель	Рябина	Кислица, черника, линнея северная, плевроциум Шребера, зеленчук желтый, щитовник мужской	Ельник кисличный	180
ПП 12	8Е2Ос, второй ярус: 8Лп1Кл	Ель	Лещина, черемуха, рябина	Кислица, ветреница дубравная, седмичник европейский, будра плющевидная, майник двулистный, ожика волосистая, плаун колючий, хвощ лесной	Ельник липовый	169
ПП 19	8Е2Ос+ С,Б	Ель, обильный	Рябина	Черника, брусника, плевроциум Шребера	Ельник черничный	174

\* В порядке убывания встречаемости.

\*\* Наиболее старого учетного дерева по числу слоев в керне на высоте 1,3 м.

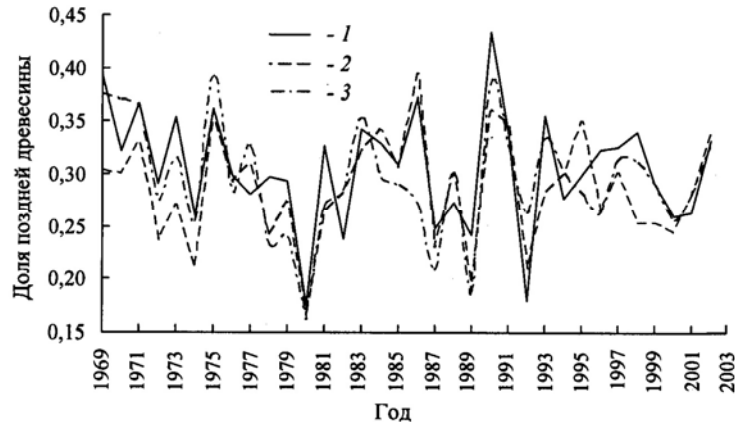


Рис. 1. Изменение доли поздней древесины в годичном кольце у деревьев ели европейской из разных типов леса: 1 – ельник липовый; 2 – черничный; 3 – кисличный

На каждой пробной площади производили отбор кернов, по одному с каждого из 15-ти учетных деревьев. Керны отбирали на произвольно взятом радиусе с деревьев I–III классов роста по Крафту, динамика прироста которых точнее отражает влияние климатических факторов. Ширину годичного кольца и слоя поздней древесины измеряли на приборе МБС-10 (точность – до 0,05 мм). Для перекрестной датировки с целью выявить ошибки измерений использовали пакет программ GROWLINE [4]. Образцы, показавшие низкую синхронность (менее 60 %), с обобщенной хронологией по пробной площади исключены из анализа. Общий объем выборки составил 43 индивидуальных хронологии. Для анализа колебаний доли поздней древесины ограничились периодом 1969–2002 гг. Хронологии, отражающие динамику по годам доли поздней древесины в годичном кольце у деревьев из разных типов леса, приведены на рис. 1.

Из рис. 1 видно, что в рассматриваемых типах леса по доле поздней древесины ель отличается незначительно. В среднем за 1969–2002 гг. доля поздней древесины в годичном кольце в ельнике липовом составляет 31 %, в черничнике и кисличнике – по 29 %. Однако от года к году этот показатель варьирует сильно: 18...44 % – в ельнике липовом, 16...40 % – в черничном, 17...39 % – в кисличном. Таким образом, в данных типах леса совпадают как средняя доля поздней древесины, так и пределы изменения доли поздней древесины в годичном кольце. Закономерности варьирования от года к году также сходны во всех типах леса, коэффициент корреляции между временными рядами по доле поздней древесины составляет 0,71...0,75.

На основе расчета коэффициентов корреляции между временными рядами по доле поздней древесины в годичном кольце ели и рядами метеопараметров (среднемесячные температуры, месячная сумма осадков) анализировали влияние климатического режима разных лет на долю поздней древесины. Если число значений во временном ряду составляет 34, то число

степеней свободы соответствует 32, при уровне доверительной вероятности 0,01 достоверными могут считаться значения коэффициента корреляции от 0,44, при уровне доверительной вероятности 0,05 – от 0,34 [3].

Даже при уровне доверительной вероятности 0,05 не было обнаружено достоверных значений коэффициентов корреляции между рядами доли поздней древесины и рядами метеопараметров. Что касается метеопараметров, то при уровне доверительной вероятности 0,05 достоверны значения коэффициентов корреляции между хронологиями и рядами по осадкам января (ельник черничный: коэффициент корреляции 0,34), августа (ельник липовый: –0,32; черничный: –0,38; кисличный: –0,47), сентября (ельник липовый: 0,39) и температуре мая (ельник липовый: 0,39; черничный: 0,41) и сентября (ельник липовый: –0,37).

Таким образом, на долю поздней древесины в годичном кольце ели во всех типах леса влияют только метеоусловия в конце вегетационного сезона, когда и формируется поздняя древесина. Данный вывод не является тривиальным. Например, Эклунд [14] установил, что изменчивость поздней древесины от году к году соответствует изменчивости ранней древесины и зависит от температур июня и конца мая. Поэтому полученные нами результаты о влиянии метеоусловий мая на долю поздней древесины в ельниках сложном и черничном не следует рассматривать как артефакт.

Выявленные с помощью корреляционного анализа закономерности варьирования доли поздней древесины в годичном кольце проверяли, руководствуясь методологией дендроклиматического анализа Н.В. Ловелиуса [5]. Рассчитав обобщенную хронологию по доле годичного кольца для всех типов леса, проводили затем сортировку, отобрав по пять крайних значений ранжированного ряда: годы с высокой (34...39 %) долей поздней древесины (1969, 1971, 1975, 1986, 1990 гг.) и с низкой (17...24 %) долей поздней древесины (1974, 1980, 1987, 1989, 1992 гг.). Достоверность отличий двух выделенных групп по значениям метеопараметров оценивали по критерию Стьюдента (менее 2,31). Достоверные отличия были выявлены между суммами осадков за август ( $T_{\phi} = 2,32$ ) и среднемесячными температурами мая ( $T_{\phi} = 2,51$ ). Таким образом, климатический режим лет, когда формировались кольца с высокой долей поздней древесины, достоверно отличался от режима, когда формировались кольца с низкой долей поздней древесины, по значениям таких метеопараметров, как сумма осадков за август и среднемесячная температура мая.

Формированию годичных колец с высокой долей поздней древесины препятствовало повышенное количество осадков в августе и пониженные температуры мая.

Более подробное рассмотрение структуры изменчивости метеопараметров в двух выделенных группах показало, что в 1974 г. количество осадков в августе было небольшим (49,0 мм при среднемноголетней норме 76,0 мм), а невысокая доля поздней древесины в годичном кольце, по-видимому, обусловлена холодным маем (среднемесячная температура 7,6 °С при среднемноголетней 10,8 °С). В 1992 г. количество осадков в августе

(59,0 мм) было близко к среднемуголетнему, среднемесячная температура мая полностью совпала со своим среднемуголетним значением (10,8 °С). Следовательно, низкая доля поздней древесины в годичном кольце зависела не от указанных выше факторов, а была связана с экстремально засушливым режимом года (сумма осадков за июнь 16,0 мм при среднемуголетней 79,0 мм; за июль – 21,0 мм при норме 97,4 мм). Этот вывод в целом согласуется с наблюдениями М.Д. Мерзленко [9] по анатомической структуре годичного кольца сосны: в некоторых типах условий местопроизрастания им отмечено снижение доли поздней древесины для засушливого 1972 г. по сравнению с 1971 и 1973 гг. Особенно выраженным оно было в древостое, произрастающем в условиях В<sub>2</sub>. Здесь доля поздней древесины снизилась до 17,0 % против 27,6 % в 1971 г. и до 30,6 % в 1973 г. В типе условий С<sub>3</sub> данный эффект не проявился: доля поздней древесины в годичных кольцах 1971–1973 гг. составила соответственно 36,1; 38,1; 37,1 %. Как видно из рис. 1, на нашем объекте (ель) также наблюдалось выраженное снижение доли поздней древесины в годичном кольце для засушливого 1972 г. во всех рассматриваемых типах леса. Следовательно, засухи оказывают влияние на долю поздней древесины в годичном кольце хвойных.

Анализируя ценность того или иного типа леса с точки зрения возможности получения там древесины с высокими техническими свойствами, необходимо учесть и возможные отличия в скорости роста древостоев. Отличия по среднему радиальному приросту неугнетенных деревьев из разных типов леса характеризует рис. 2.

Как и следовало ожидать исходя из данных о бонитетах насаждений в рассматриваемых типах леса [2, 10], ельник липовый характеризуется наибольшим радиальным приростом, ельник кисличный несколько превосходит черничный. В среднем за 1969–2002 гг. ширина годичного кольца в ельнике липовом, кисличном и черничном составляет 1,78; 1,38; 1,08 мм.

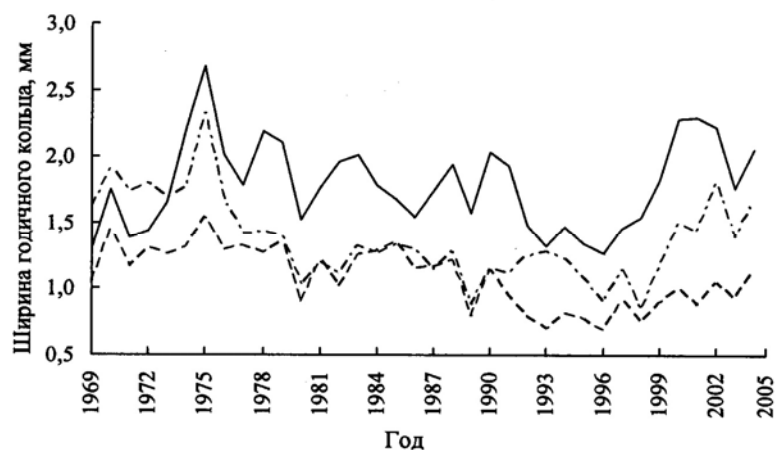


Рис. 2. Изменение средней ширины годичного кольца у деревьев ели европейской из разных типов леса (см. обозначения рис. 1)

Следовательно, наиболее быстрорастущими и в связи с этим наиболее ценными признаны древостой ельника липового.

Итак, для ели в Тверской области отмечено:

1) в ельниках кисличном, черничном, липовом скорость роста по диаметру различна, а доля поздней древесины одинакова; предпочтителен ельник липовый как быстрорастущий;

2) формирование древесины с малой долей поздней древесины в годичном кольце может быть обусловлено низкими температурами в начале вегетационного сезона и обильными осадками в конце; не исключено влияние засушливых условий в середине сезона.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Вихров, В.Е.* Исследование строения и технических свойств древесины в связи с типами леса [Текст] / В.Е. Вихров // Вопросы лесоведения и лесоводства. – М.: АН СССР, 1954. – С. 317–325.
2. Дендрология с основами геоботаники [Текст] / под ред. В.Н. Сукачева. – Л.: Гослесбумиздат, 1934. – 612 с.
3. *Лакин, Г.Ф.* Биометрия [Текст] / Г.Ф. Лакин. – М.: Высш. шк., 1973. – 343 с.
4. *Липаткин, В.А.* Перекрестная датировка дендрохронологических рядов с помощью ПЭВМ [Текст] / В.А. Липаткин, С.Ю. Мазитов // Экология, мониторинг и рациональное природопользование: науч. тр. – М.: МГУЛ, 1997. – Вып. 288(1). – С. 103–110.
5. *Ловелиус, Н.В.* Дендроиндикация [Текст] / Н.В. Ловелиус. – СПб.: Петровская академия наук, 2000. – 313 с.
6. *Мелехов, И.С.* Значение типов леса и лесорастительных условий в изучении строения древесины и ее физико-механических свойств [Текст] / И.С. Мелехов // Тр. Ин-та леса. – М.: Л., 1949. – Т.4, №6. – С. 11–20.
7. *Мелехов, И.С.* Лесоведение [Текст] / И.С. Мелехов. – М.: МГУЛ, 2002. – 258 с.
8. *Мелехова, Т.А.* Формирование годичного слоя сосны в связи с лесорастительными условиями [Текст] / Т.А. Мелехова // Тр. АЛТИ. – Архангельск, 1954. – Т. 54. – С. 123–138.
9. *Мерзленко, М.М.* Влияние засухи на строение годичного кольца сосны в культурах [Текст] / М.М. Мерзленко // Лесоведение. – 1977 – №4. – С. 29–32.
10. *Рысин, Л.П.* Еловые леса России [Текст] / Л.П. Рысин, Л.И. Савельева. – М.: Наука, 2002. – 334 с.
11. Сукцессионные процессы в заповедниках России: проблемы сохранения биологического разнообразия [Текст] / под ред. О.В. Смирновой, Е.С. Шапошниковой. – СПб.: РБО, 1999. – 459 с.
12. *Уголев, Б.Н.* Древесиноведение и лесное товароведение [Текст] / Б.Н. Уголев. – М.: Академия, 2004. – 272 с.
13. *Щекалев, Р.В.* Радиальный прирост и качество древесины сосны обыкновенной в условиях атмосферного загрязнения [Текст] / Р.В. Щекалев, С.Н. Тарханов. – Екатеринбург: УрО РАН, 2006. – 127 с.
14. *Eklund, B.* Om granens årsrings variationer inom mellersta Norrland och deras samband [Text] / B. Eklund // Statens Skogsforskningsinstitut. – 1957. – Band 47, N 1. – 63 p.



---

15. *Olesen, P.O.* The interrelation between basic density and ring width of Norway spruce [Text] / P.O. Olesen // Det Forstlige Forsøgsvæsen I Danmark. – 1976. – Dind XXXIV. – P. 341–359.

Поступила 05.04.07

*D.E. Rumyantsev, P.G. Melnik*  
Moscow State Forest University

**Influence of Ecological Factors on Forming Technical Properties of Spruce Timber in Tver Region**

The influence of edaphic (forest type) and climatic (weather conditions in the year of annual ring formation) factors on the share of latewood in the spruce annual ring were investigated based on permanent trial plots located in the Central Forest State Nature Biosphere Reserve (Tver region).

Keywords: common spruce, spruce forest types, late wood, wood quality, latewood share variation.

---

**А.С. Пестовский**

Вологодская государственная молочнохозяйственная академия

Пестовский Александр Сергеевич родился в 1984 г., окончил в 2006 г. Вологодскую государственную молочнохозяйственную академию, аспирант кафедры лесного хозяйства ВГМХА. Имеет 6 печатных работ в области гидролесомелиорации.  
E-mail: calina@inarnet.ru

**ОСОБЕННОСТИ РОСТА СМОРЧКА ОБЫКНОВЕННОГО НА ОБЪЕКТАХ ЛЕСООСУШЕНИЯ И РУБОК**

Рассмотрены особенности роста сморчка обыкновенного на объектах лесосушения и рубок в южной подзоне тайги Европейского Севера. Выявлено положительное влияние мелиорации и выборочных рубок на плодоношение и урожайность гриба.

*Ключевые слова:* сморчок обыкновенный, гидролесомелиоративная система, древостой, урожайность.

В Вологодской области (южная подзона тайги) гидролесомелиоративный фонд достигает 3,4 млн га [6]. Лесосушительная мелиорация позволяет повысить продуктивность лесов на почвах низинного и переходного типов заболачивания от IV–Va до I–III классов бонитета. Ее эффективность резко повышается, если выполняются мероприятия по омоложению и улучшению породного состава древостоя путем выборочных рубок [3]. Сушение и выборочные рубки оказывают влияние на трансформацию лесорастительных условий и недревесную продукцию леса, в том числе видовое разнообразие и урожайность грибов.

Свыше 250 видов дикорастущих грибов признаны съедобными, из них только 58 разрешены к заготовкам [7]. Научные данные о развитии и плодоношении макромицетов относятся, прежде всего, к лесорастительным условиям на минеральных почвах и практически не распространяются на гидролесомелиоративные системы.

Наши исследования побочного пользования, выполненные в 2007 и 2008 гг., позволили получить материалы о росте сморчка обыкновенного (*Morchella esculenta* (L.) Pers.). На стационарных объектах Вологодской региональной лаборатории Северного НИИ лесного хозяйства в Кадниковском лесхозе Вологодской области были заложены серии пробных площадей (*a* – приканальная полоса, *b* – центральная часть межканального пространства) в соответствии с ГОСТ 16486.6–80, ОСТ 56-69–83, рекомендациями В.Г. Рубцова и А.А. Книзе [5]. Пробы расположены в естественных без осушения (27к), осушаемых и пройденных рубками (серии 10 и 14; 15к) сосняках сфагновой группы типов леса, наиболее представленной (42 %) в гидролесомелиоративном фонде. Таксационная характеристика древостоев дана в табл. 1.

Учеты проводили на площади не менее 0,01 га с периодичностью 5...7 дн. Наблюдения за появлением, развитием и урожайностью макромицетов осуществляли по методике, опубликованной в работе С.С. Веремьевой и А.Ф. Черкасова [2]. Кроме этого, на каждом объекте фиксировали ряд экологических показателей, а именно водный и температурный режимы почв. Режим почвенно-грунтовых вод (ПГВ) устанавливали по методике Н.А. Дружинина [3], устраивая смотровые скважины и внося поправки на нулевую отметку поверхности почвы. Для оценки температурного режима окружающей среды и почв применяли прашевой термометр и термометры Савинова.

Исследования в осушаемых (серии проб 10,14; 15к), пройденных рубками (серии 10,14) и естественных без осушения (проба 27к) сосняках показали, что начало плодоношения весенних грибов незначительно варьирует по годам (табл. 2). В 2007 г. первые грибы появились 2 мая, а в 2008 г. 30 апреля, когда при средней многолетней норме 2,8 °С температура в апреле достигла 3,5 °С. Заметное влияние оказывают и другие показатели, связанные с климатическими переменными. Невысокая влажность почвы в апреле была обусловлена малоснежной зимой и ранним сходом снега (в конце третьей декады марта). Значительная часть осадков выпала лишь в конце первой декады мая, что и послужило толчком к образованию плодовых тел.

В 2008 г. грибная волна сморчков пришлась на конец апреля при среднесуточной температуре 10,4 °С, однако массовое плодоношение началось лишь после выпадения атмосферных осадков в конце первой декады мая. До этого в почве, по визуальной оценке в сравнении с контрольным объектом без осушения, содержалось мало влаги, так как зима, как и в 2007 г., была малоснежной, снег сошел в начале первой декады апреля.

Таблица 2

Год наблюдений	Дата плодоношения грибов			
	первых	массового		последних
		Начало	Конец	
2007	02.05	07.05	03.06	09.06
2008	30.04	04.05	12.06	21.06

Таблица 3

№ пробной площади	Расстояние от канала, м	Май			Июнь		
		$T$ , °C	УГВ, см	$У$ , кг/га	$T$ , °C	УГВ, см	$У$ , кг/га
10а	10...30	10,3	65	2,4	11,6	72	2,9
10б	60...80		45	3,9		53	4,1
14а	10...30	10,3	66	2,6	11	72	2,9
14б	60...80		53	3,6		55	3,0
15к	10...30	8,3	30	2,6	12	38	3,3
27к	–	–	11	–	–	16	–

Примечание.  $T$  – температура почв; УГВ – уровень грунтовых вод;  $У$  – урожайность грибов.

Плодовые тела сморчков отмечены лишь в насаждениях на гидролесомелиоративных системах, в том числе пройденных рубками. В естественных без осушения сосняках (проба 27к) грибы не обнаружены.

В плодоношении сморчков наблюдается определенная стабильность (табл. 3). Плодоношение наблюдается ежегодно и зависит главным образом от температурных условий и осадков в апреле – мае. Исходя из вида лесохозяйственного мероприятия и местоположения по межканальному пространству, появление грибов и их плодоношение неравномерное. На серии проб 10 и 15 плодовые тела встречаются как в приканальной полосе (2,4...3,6 кг/га), так и в межканальном пространстве (в центре 3,0...4,1 кг/га). На контрольном участке с осушением (проба 15к) сморчки обыкновенные плодоносили лишь в приканальной полосе (2,6...3,3 кг/га). По сравнению с литературными данными [1] для минеральных почв (до 30...35 кг/га) такой урожай представляет интерес только для любительского сбора.

Независимо от вида лесохозяйственной деятельности (только осушение или осушение и выборочные рубки) получены примерно равные значения урожайности грибов. Короткий период наблюдений и данные об уровне ПГВ еще не дают основания для выявления связи между этими показателями.

Таким образом, результаты 2-летних наблюдений позволяют сделать следующие выводы.

1. Гидролесомелиоративные системы являются новой средой расселения сморчка обыкновенного, так как на неосушенных торфяных почвах этот вид гриба не встречается.

2. На появление и плодоношение гриба влияют погодные условия и связанные с ними прогреваемость и влажность почв.

3. Первые грибы появляются в начале мая. Их развитие в осушаемых и пройденных рубками сосняках на торфяных почвах переходного типа заболачивания завершается к началу второй декады июня.

4. Урожайность грибов на гидролесомелиоративных системах ниже, чем на минеральных почвах, и колеблется в пределах 2...4 кг/га.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Веремьева, С.С.* Влияние рубок ухода в южно-таежных лесах на урожай съедобных грибов [Текст] / С.С. Веремьева, А.Ф. Черкасов // Растит. ресурсы. – 1985. – Т. 21, вып. 4. – С. 418–425.

2. *Веремьева, С.С.* К методике определения урожая некоторых съедобных грибов [Текст] / С.С. Веремьева, А.Ф. Черкасов // Там же. – 1986. – Т. 22, вып. 4. – С. 542–549.

3. *Дружинин, Н.А.* Лесоводственно-экологическое обоснование ведения лесного хозяйства в осушаемых лесах [Текст]: автореф. дис. ... д-ра с.-х. наук. – СПб.: СПбНИИЛХ, 2006. – 68с.

4. *Корхонен, М.* 100 грибов [Текст] / М. Корхонен. – М., 1982. – 167 с.

5. Рубцов, В.Г. Закладка и обработка пробных площадей в осушенных насаждениях [Текст]: метод. рекомендации / В.Г. Рубцов, А.А. Кнize. – Л.: ЛенНИИЛХ, 1977. – 44 с.

6. Сабо, Е.Д. Справочник гидролесомелиоратора [Текст] / Е.Д. Сабо, Ю.Н. Иванов, Д.А. Шатилло. – М.: Лесн. пром-сть, 1981. – 200 с.

7. Санитарные правила по заготовке, переработке и продаже грибов [Текст]: СП 2.3.4.009–93. – М., 1993. – 50 с.

8. Томилин, Б.Н. Факторы внешней среды, влияющие на распространение грибов в растительных сообществах [Текст] / Б.Н. Томилин // Ботан. журн. – 1964. – Т. 49, № 2. – С. 281–298.

Поступила 17.11.08

*A.S. Pestovsky*  
Vologda State Dairy Academy

#### **Peculiarities of Common Morel Growth on Forest Melioration and Logging Objects**

The peculiarities of common morel growth on forest melioration and logging objects is considered for the southern taiga subzone of the European North. The positive influence of melioration and selective felling on fructification and crop-producing ability of the mushroom is revealed.

Keywords: common morel, hydro forest-melioration system, stand, crop-producing ability.

---

Таблица 1

№ пробной площади	Время обследования	Средние				Густота, шт./га	Полнота		Класс бонитета	Запас, м <sup>3</sup> /га	Интенсивность рубки, %	
		Состав	A, лет	D, см	H, м		абсолютная, м <sup>2</sup> /га	относительная			по числу стволов	по запасу
10а	До рубки	10С, ед. Е, Б	105	14,7	14,5	1770	29,6	1,00	V	216	–	–
	В год убки	10С, ед. Е	90	17,9	15,5	630	15,9	0,51	IV	117	64	46
	Через 18 лет	10С, ед. Е	120	24,0	18,0	595	26,8	0,81	IV	219	–	–
10б	В год рубки	10С, ед. Е	90	15,1	14,5	1125	20,2	0,68	IV	146	35	32
	Через 18 лет	10С, ед. Е	110	19,6	18,0	1035	30,8	0,93	IV	252	–	–
14а	До рубки	10С, ед. Е, Б	105	15,8	15,0	1735	33,9	1,09	V	246	–	–
	В год рубки	10С, ед. Е, Б	95	14,6	14,5	1640	27,7	0,90	IV	193	6	22
	Через 16 лет	10С, ед. Е, Б	110	17,4	16,5	1355	32,3	0,99	IV	248	–	–
14б	До рубки	10С+Б, ед. Е	105	18,4	15,5	1025	25,4	0,82	V	200	–	–
	В год рубки	10С, ед. Е, Б	85	16,2	15,0	745	15,2	0,50	IV	110	27	45
	Через 16 лет	10С, ед. Е, Б	110	18,8	17,5	675	18,7	0,57	IV	151	–	–
15к	В год рубки	10С, ед. Е, Б	105	15,1	14,5	1660	29,8	0,97	IV	207	–	–
	Через 18 лет	10С, ед. Е, Б	125	17,3	17,0	1360	32,1	0,98	IV	251	–	–
27к	До рубки	9С1Б	120	17,4	15,0	1510	25,7	0,88	V	171	–	–

УДК 630\*6:681.9

**Л.В. Абрамова**

Архангельский государственный технический университет

Абрамова Любовь Валерьевна родилась в 1973 г., окончила в 1996 г. Архангельский государственный технический университет, старший преподаватель кафедры информационных технологий АГТУ. Имеет 10 печатных работ в области исследования процессов лесного хозяйства.

E-mail: l.abramova@agtu.ru



### **АНАЛИЗ УЧЕТА ЛЕСНЫХ РЕСУРСОВ АРХАНГЕЛЬСКОЙ ОБЛАСТИ**

Показано, что в целях рационального использования лесных ресурсов необходимо упорядочить документооборот в департаменте лесного комплекса и лесничествах.

*Ключевые слова:* лесные ресурсы, департамент лесного комплекса, информационные потоки.

В рамках работы по рациональному использованию лесных ресурсов Архангельской области нами были исследованы информационные потоки департамента лесного комплекса\*, на которых строится основная работа. Эти потоки осуществляются по направлениям: организация лесопользования и учета лесного фонда, воспроизводства леса, охраны и защиты леса, администрирования платежей и контрольно-ревизионной работы [1, 2]. Все эти процессы взаимосвязаны и выполняются на разных уровнях управления, поэтому рациональное использование лесных ресурсов должно быть связано с применением информационных технологий, которые помогают облегчить понимание и взаимодействие всех подразделений.

На рисунке указаны внешние организации, с которыми департамент обменивается информацией, представляет отчеты и сам запрашивает отчетность. Выделены также существующие на сегодняшний день в департаменте базы данных (БД). Причем базы данных по таксации и «Учету лесного фонда» созданы с помощью уже устаревшего программного обеспечения. При составлении отчетов базы данных практически не используются, все данные формируются вручную. База данных по договорам разработана в формате Excel и также не имеет практического значения.

Рассмотрев более глубоко процессы и сопутствующие им информационные потоки, мы определили и систематизировали рабочий процесс отделов, выявили направления и содержание этих потоков.

Анализируя полученную информацию, можно сделать следующие выводы.

1. Работу департамента отличает сложность и трудоемкость информационных потоков.

---

\* Работа проводится совместно с Архангельской экспедицией «Севлеспроект» и департаментом лесного комплекса администрации Архангельской области.





Схема циркуляции информационных потоков при организации лесопользования и учета лесного фонда

2. В департаменте существуют две базы данных по учету лесного фонда и лесоустройства. Эти базы используются только для решения узких задач, к ним нет доступа работников, нуждающихся в информации из БД, невозможно получить оперативную информацию ни по одному из направлений работы отделов.

3. БД содержат устаревшую информацию, что соответственно снижает качество работы департамента и лесничеств.

4. Множество форм различных отчетов (около 50), получаемых и отправляемых лесничествам и Рослесхозу, представлены в виде таблиц Excel. Формы заполняются вручную, что приводит к ошибкам и недочетам, затрудняет и замедляет темпы работы.

Для рационального ведения лесного хозяйства необходимо автоматизировать работу сотрудников департамента и лесничеств, разработав БД, позволяющие генерировать отчетность. Создание автоматизированных рабочих мест поможет ускорить, расширить и повысить эффективность работ департамента.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Гурьев, А.Т. Функциональное моделирование процессов лесного комплекса [Текст]: учеб. пособие /А.Т. Гурьев, Л.В. Абрамова, Е.А. Кузнецова. – Архангельск: Изд-во АГТУ, 2003. – 122 с.
2. Функциональное моделирование лесного хозяйства [Текст] / А.Т. Гурьев, Л.В. Абрамова, С.В. Торхов, Д.В. Трубин // Лесн. журн. – 2004. – № 1. – С. 135–144. – (Изв. высш. учеб. заведений).

Поступила 13.03.08

*L.A. Abramova*  
Arkhangelsk State Technical University

#### Analysis of Forest Resources Inventory in the Arkhangelsk Region

It is shown that it is necessary to streamline the documents circulation in the department of forest complex and forestry enterprises for the rational use of forest resources.

Keywords: forestry, forest resources, department of forest complex, information flows, forestry enterprise, forest management, forest resources.



УДК 625.877:630\*383.4

**Ю.А. Ширнин, В.И. Чернякевич**

Марийский государственный технический университет

Ширнин Юрий Александрович родился в 1946 г., окончил в 1973 г. Марийский политехнический институт, доктор технических наук, профессор, заведующий кафедрой технологии и оборудования лесопромышленных производств Марийского государственного технического университета. Имеет более 230 печатных работ в области технологии и оборудования лесопромышленных производств.

E-mail: yushirnin@rambler.ru



Чернякевич Виктор Иосифович родился в 1947 г., окончил в 1971 г. Ленинградскую лесотехническую академию, кандидат технических наук, доцент кафедры сухопутного транспорта леса Марийского государственного технического университета. Имеет более 70 печатных работ в области сухопутного транспорта леса.

E-mail: kirsanov@marstu.mari.ru



## **НАПРЯЖЕНИЯ И ДЕФОРМАЦИИ ГРУНТОВОГО ОСНОВАНИЯ ЖЕЛЕЗОБЕТОННЫХ ПЛИТ ЛЕСОВОЗНЫХ ДОРОГ**

Рассмотрено распределение напряжений, возникающих в зоне контакта дорожной плиты с подстилающим ее грунтовым основанием. Предложена методика, позволяющая учесть влияние пластических деформаций грунта основания.

*Ключевые слова:* железобетонная плита, грунтовое основание, напряжения, деформации.

Основным назначением дорожной плиты является многократное снижение вертикальных нагрузок от колес на грунтовое основание и защита его от горизонтальных сил тяги, торможения и т. п. Сложность структуры многофазных дисперсных грунтов, а также ее изменение в процессе нагружения не позволяют отразить в расчетах дорожных одежд, в том числе и со сборным железобетонным покрытием, все физические свойства самих грунтов. Известно, что контактные напряжения под плитой, поперечные силы и изгибающие моменты, действующие на саму дорожную плиту, определяют на основе решений теории расчета конструкций, взаимодействующих с упругим основанием [2]. При этом подстилающее плиту грунтовое основание рассматривают как линейно-деформируемое полупространство, в котором нет пластических деформаций грунта.

Многолетний опыт эксплуатации лесовозных дорог со сборно-разборным покрытием и выполненные исследования показывают, что из-за слабости стыковых соединений плит в сочетании с переувлажненными малопрочными грунтами и многократными повторными нагрузками в подстилающей плите грунтового основании возникают не только упругие, но и пластические деформации грунта. Появление необратимых деформаций в основании существенно изменяет как характер распределения напряжений по длине плиты, так и их значение. Игнорирование этих обстоятельств может привести к неравномерным и необратимым просадкам плиты, ухудшению ее работы в дорожном покрытии, существенным образом сказаться на системе сил, действующих на плиту, и в дальнейшем на ее параметрах, например армировании.

Целью нашей работы является обоснование методики учета влияния пластических деформаций грунтового основания на распределение контактных давлений под плитой, а в дальнейшем и на напряженное состояние самой плиты.

Известно, что пластические деформации в грунтах возникают тогда, когда давления на грунт выше их критических значений. Критические давления на грунт можно, к примеру, определить по решению В.В. Соколовского [5], учитывая неоднородность грунта, многократность и повторность колесных нагрузок [3].

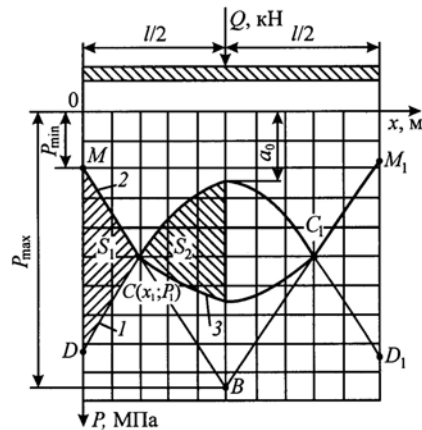
Исследования, выполненные М.И. Горбуновым-Посадовым [1], В.А. Флориным [6] и другими учеными, показывают, что контактные напряжения выше критических возникают под концевыми участками плиты. Невоспринятая часть напряжений перераспределяется в среднюю зону опорной поверхности, увеличивая контактные давления в центральной зоне основания, где образуется так называемое жесткое ядро.

Существуют методы построения эпюры контактных напряжений с учетом критических давлений в грунтовом основании, вызывающих пластические деформации грунта. Так, в методе, предложенном М.И. Горбуновым-Посадовым [1], в конечной эпюре наблюдается резкий, скачкообразный переход контактных напряжений в пограничной области раздела упругих и пластических деформаций грунта. Сам автор указывал на схематичность разработанного им метода, трудности в определении координат пограничной точки.

Согласно В.А. Флорину [6], контактные напряжения краевых зон, превышающие критические, необходимо распределить на внутреннюю часть основания не скачкообразно, а по параболическому закону. По высказыванию автора, такое параболическое очертание конечной эпюры подтверждается экспериментами.

Учитывая изложенное, рассмотрим методику построения конечной эпюры контактных напряжений для дорожной плиты, в грунтовом основании которой возникают критические давления, обуславливающие появление пластических деформаций грунта. Для этого необходимо:

Рис. 1. Эпюры контактных напряжений, построенные с учетом пластических деформаций грунта основания: 1 – по теории расчета конструкций, взаимодействующих с упругим основанием; 2 – предельная; 3 – в форме параболы по В.А. Флорину



1) построить эпюру контактных напряжений, рассматривая грунтовое основание как линейно-деформируемую среду, в которой нет пластических деформаций;

2) построить предельную эпюру контактных напряжений, определяемую прямыми линиями критических напряжений (прямыми среза) по решению В.В. Соколовского; прямые среза наложить на эпюру, полученную по теории расчета конструкций, взаимодействующих с упругим основанием;

3) соблюдая условие равновесия сил, что соответствует равенству площадей эпюры  $S_1 = S_2$ , определить параметры конечной эпюры, состоящей из прямых среза (участки  $MC$  и  $M_1C_1$ ) и параболы (участок  $CC_1$ ), построенной по рекомендациям В.А. Флорина (рис. 1).

Схема эпюры контактных напряжений, полученной при наличии пластических деформаций основания, показана на рис. 1.

Рассмотрим одиночную колесную нагрузку ( $Q$ ), расположенную в центре плиты. Такое положение нагрузки рекомендуется методикой [2] в качестве основного при расчете железобетонной плиты лесовозных дорог на положительный изгибающий момент. Согласно И.А. Симвулиди [4] уравнение эпюры контактных напряжений (рис. 1, кривая 1) записываем в следующем виде:

$$P_x = a_0 + \frac{4 a_2}{l^2} \left( x - \frac{l}{2} \right)^2, \quad (1)$$

где  $a_0, a_2$  – коэффициенты уравнения;

$l$  – длина плиты.

Согласно [6] уравнения прямых среза имеют вид

$$P_x = 2C_1 x + C_2, \quad (2)$$

где  $C_1, C_2$  – параметры прямой среза;

$x$  – текущая координата,  $0 \leq x \leq \frac{l}{2}$ .

Значения  $C_1$  и  $C_2$  определялись В.А. Флориным по решению С.И. Белзецкого, являющемуся, как отмечал М.И. Горбунов-Посадов, менее

точным по сравнению с решением В.В. Соколовского. Поэтому в разрабатываемом методе значения параметров  $C_1$  и  $C_2$  находим по решению В.В. Соколовского. Так, под концом плиты при  $x=0$  краевые критические напряжения минимальны и равны  $C_2$ , т. е.

$$P_{x=0} = C_2 = P_{\min}. \quad (3)$$

При  $x = \frac{l}{2}$  (середина плиты) предельные контактные напряжения максимальны:

$$P_{x=\frac{l}{2}} = 2C_1 \frac{l}{2} + C_2 = C_1 l + C_2 = P_{\max}. \quad (4)$$

Параметр  $C_1$ , определяющий тангенс угла наклона предельной прямой к оси  $x$ , определяем из решения В.В. Соколовского по формуле

$$C_1 = \overline{P}_1 \gamma, \quad (5)$$

где  $\overline{P}_1$  – приведенное значение тангенса угла наклона прямой линии среза, зависящего от угла внутреннего трения грунта;  
 $\gamma$  – объемная масса грунта.

Согласно рис. 1 предельная прямая  $BM$  проходит через точки  $M(0; P_{\min})$  и  $B(\frac{l}{2}; P_{\max})$ , тогда имеем

$$\frac{x-0}{\frac{l}{2}-0} = \frac{P_x - P_{\min}}{P_{\max} - P_{\min}}. \quad (6)$$

Определим координаты точки пересечения предельной прямой 2 и эпюры контактных напряжений по упругому решению 1. Так как точка пересечения  $C(x_1; P_1)$  является общей для уравнений (1) и (6), то

$$P_1 = a_0 + \frac{4a_2}{l^2} \left(x_1 - \frac{l}{2}\right)^2; \quad (7)$$

$$P_1 = (P_{\max} - P_{\min}) \frac{2x_1}{l} + P_{\min}. \quad (8)$$

Преобразуем уравнение (7):

$$P_1 = a_0 + \frac{4a_2}{l^2} \left(x_1 - \frac{l}{2}\right)^2 = a_0 + a_2 z^2, \quad (9)$$

где  $z = \frac{2x_1}{l} - 1$ ,

и уравнение (8):

$$P_1 = (P_{\max} - P_{\min}) \frac{2x_1}{l} + P_{\min} = (P_{\max} - P_{\min})z + P_{\max}. \quad (10)$$

Приравнявая уравнения (9) и (10), получаем

$$a_2 z^2 - (P_{\max} - P_{\min})z + (a_0 - P_{\max}) = 0. \quad (11)$$

Отсюда

$$z_{1,2} = \frac{(P_{\max} - P_{\min}) \pm \sqrt{(P_{\max} - P_{\min})^2 + 4a_2(a_0 - P_{\max})}}{2a_2} \quad (12)$$

или

$$\frac{2x_{1(1,2)}}{l} = 1 + \frac{P_{\max} - P_{\min} \pm \sqrt{D}}{2a_2}; \quad (13)$$

$$x_{1(1,2)} = \frac{l}{2} \left[ 1 + \frac{(P_{\max} - P_{\min}) \pm \sqrt{D}}{2a_2} \right]; \quad (14)$$

где

$$D = (P_{\max} - P_{\min})^2 + 4a_2(a_0 - P_{\max}). \quad (15)$$

Исследование корней уравнения (11) показывает, что при  $D > 0$  их значения являются действительными числами и предельная прямая 2 пересекает эпюру контактных напряжений  $l$  в двух точках. Если  $D = 0$ , то предельная прямая 2 имеет общую точку с кривой  $l$  – точку касания, а значения корней равны между собой. Если  $D < 0$ , то корни уравнения (11) являются комплексными числами, и в этом случае возможны два варианта взаимного расположения предельных прямых 2 и 2' с кривой  $l$ , как показано на рис. 2. Такое расположение представляет теоретический и практический интерес.

Вариант 1. Предельные прямые 2 располагаются выше кривой  $l$ . В таком случае должно выполняться условие  $P'_{\max} < a_0$ , что соответствует взаимодействию дорожной плиты с основанием, имеющим очень низкие прочностные свойства, практически полностью охваченным пластическими деформациями грунта. В результате развития последних по всей опорной поверхности плиты она будет ускоренно погружаться в грунт основания, что может вызвать нарушение целостности колесопроводов, разрушение самих плит и прекращение эксплуатации лесовозной дороги в целом.

В соответствии с теорией В.В. Соколовского просадка плиты в грунтовое основание вызовет увеличение боковой пригрузки от окружающего плиту грунта, что приведет к росту значения  $P'_{\max}$ . Плита будет погружаться в грунт до тех пор, пока площадь эпюры контактных напряжений, ограниченная предельными прямыми и осью ( $x$ ) не сравняется с площадью эпюры, полученной по упругому решению.

Рассмотренная ситуация является одной из самых неблагоприятных и вполне возможна на

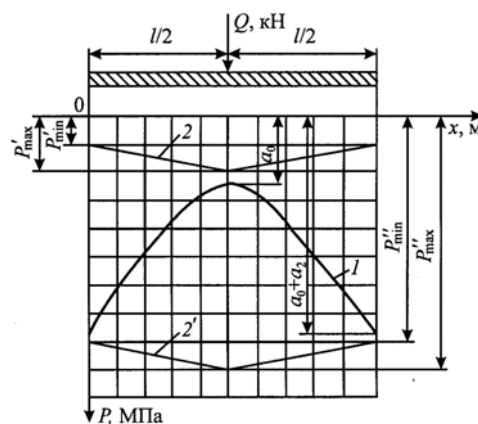


Рис. 2. Взаимное расположение кривой  $l$  и прямых среза 2 и 2' при  $D < 0$

лесовозных дорогах со сборным покрытием из железобетонных плит, взаимодействующих со слабым, переувлажненным грунтовым основанием.

Во избежание рассмотренного негативного явления необходимо либо уменьшить массу лесовозных автопоездов за счет снижения полезной нагрузки, либо повысить прочность грунтового основания, либо усовершенствовать конструкцию как стыкового соединения плит, так и покрытия в целом.

Вариант 2. Предельные прямые  $2'$  располагаются ниже эпюры контактных напряжений  $1$ . Для такого взаимного расположения должно выполняться условие ( $P''_{\min} \geq a_0 + a_2$ ). Этот вариант наиболее благоприятен для сборного покрытия, поскольку в подстилающем плиту грунтовым основании не возникнут пластические деформации, приводящие к снижению эксплуатационных качеств покрытия.

Научная и практическая значимость методики учета пластических деформаций грунтового основания заключается в том, что она дополняет и уточняет теоретические вопросы расчета плит и оснований сборного покрытия, позволяет наметить пути их совершенствования.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Горбунов-Посадов, М.И. Расчет конструкций на упругом основании [Текст] / М.И. Горбунов-Посадов. – М.: Гос. изд-во лит. по строительству и архитектуре, 1953. – 516 с.
2. Коновалов, С.В. Практическая методика расчета жестких дорожных покрытий с учетом повторности воздействия нагрузок [Текст] / С.В. Коновалов, М.С. Коганзон. – М.: Высш. шк., 1970. – 219 с.
3. Сборные покрытия автомобильных дорог [Текст]: уч. пособие для вузов / В.М. Могилевич [и др.]. – М., 1972. – 384 с.
4. Симвулиди, И.А. Расчет инженерных конструкций на упругом основании [Текст] / И.А. Симвулиди. – М.: Высш. шк., 1973. – 432 с.
5. Соколовский, В.В. Статика сыпучей среды [Текст] / В.В. Соколовский. – М.: ГОНТИ, 1954. – 276 с.
6. Флорин, В.А. Основы механики грунтов. Т.1 [Текст] / В.А. Флорин. – М.; Л.: Госстройиздат, 1959. – 372 с.

Поступила 14.06.07

*Yu.A. Shirnin, V.I. Chernyakevich*  
Mari El State Technical University

#### **Soil Foundation Stress and Deformation of Reinforced Concrete Slabs in Forest Roads**

Stress distribution of road slab in the contact zone with subsoil foundation is viewed. The technique is offered allowing to take into account the influence of plastic deformation in soil foundation.

Keywords: reinforced concrete slab, soil foundation, stress, deformation.

УДК 630\*378.33.5

**В.Я. Харитонов**

Архангельский государственный технический университет

Харитонов Виктор Яковлевич родился в 1929 г., окончил в 1952 г. Архангельский лесотехнический институт, доктор технических наук, профессор кафедры водного транспорта леса и гидравлики Архангельского государственного технического университета, академик РАЕН. Имеет более 200 печатных трудов в области водного транспорта леса, экологии водных объектов, гидродинамики.  
Тел.: (8182) 21-61-50



### **ИНЕРЦИОННЫЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ ПЛОТОВ, ОСТАНАВЛИВАЕМЫХ ЯКОРЯМИ\***

Предложен метод расчета инерционных характеристик плотов при управлении в пути и остановке их якорями с малыми размахом лап и массой. Приведен пример расчета пяти этапов остановки плота.

*Ключевые слова:* лесосплав, плот, якорь, тормозная сила, тормозной путь, скорость, продолжительность этапа.

Лесосплав как самый дешевый, а в ряде лесоизбыточных регионов единственно возможный вид лесотранспорта постепенно восстанавливает свою значимость в поставках сырья деревообрабатывающим и лесоперерабатывающим предприятиям. Реки, по которым ранее проводили молевой лесосплав, все более интенсивно используют для плотового лесосплава по новым технологиям. Так, Соломбальский ЦБК, применяя разработанную в АГТУ технологию сплава на базе единого транспортного пакета объемом 4...5 м<sup>3</sup> [2], увеличил объем зимней сплотки и буксировки плотов по р. Пинеге за последние пять лет в 4 раза.

Принцип единого транспортного пакета позволяет восстанавливать и развивать лесосплав не только по средним, но и по малым рекам в период весеннего половодья плотами небольших габаритов. При этом необходимо научно обосновать как конструкции лесотранспортных единиц, технологии их формирования, так и процессы, связанные с буксировкой плотов.

Предложен, в частности, способ торможения и остановки плотов с помощью оригинальных трубчатых якорей с малыми размахом лап и массой, но большим коэффициентом цепкости – тормозных, способных пропускать через себя грунт [4]. Для окончательной остановки плота используют якоря такой же конструкции, но с днищем – становые, у которых грунт заполняет весь внутренний объем трубы, увеличивая действующую массу якоря.

---

\* Работа выполнена по гранту № 3-05 администрации Архангельской области.



Представляет теоретический и практический интерес анализ инерционных характеристик плота, начиная со сброса тормозных якорей в расчетном створе и заканчивая остановкой плота после сброса станových якорей, т. е. за весь период активного торможения. Конечная цель анализа – определить потребность в тормозных и станových якорях, длину тормозного пути, продолжительность процесса остановки плота.

В известных методиках расчета [1, 3, 5] тормозную силу  $P$  рекомендуется принимать в широких пределах:

$$R < P < F_{\max}, \quad (1)$$

где  $R$  – суммарная сила влечения плота потоком  $R_0$ , ветром  $R_B$  и от уклона  $R_i$  свободной поверхности в расчетном створе реки;

$F_{\max}$  – максимально допустимая тормозная сила из условий продольной прочности такелажных креплений плота.

Приближение тормозной силы к правому пределу (1) ведет к завышению потребности в тормозных средствах. При  $P$ , близком к  $R$ , требуется меньше тормозных средств, но более длинный тормозной путь, что в большинстве случаев не является строгим ограничением. Поэтому если позволяет акватория, то экономически целесообразно в расчетах принимать  $P=1,1R$ .

В рассматриваемом случае торможения плота якорями силу влечения плота потоком определяют по формуле

$$R'_0 = r(v_p - v_y)^2, \quad (2)$$

где  $r$  – приведенное сопротивление воды движению плота при относительной скорости обтекания, равной единице;

$v_p$  – скорость течения в реке;

$v_y$  – скорость плота, при которой бросают станových якоря ( $v_y = 0,3 \dots 0,4$  м/с).

Требуемое число тормозных якорей

$$n_{y.t} = \frac{1,1(R'_0 + R_B + R_i)}{F_{y.t}}, \quad (3)$$

где  $F_{y.t}$  – держащая сила одного тормозного якоря в движении,

$$F_{y.t} = f_t m_t g, \quad (4)$$

$f_t$  – коэффициент цепкости тормозного якоря;

$m_t$  – его масса;

$g$  – ускорение свободного падения.

Требуемое число станových якорей

$$n_{y.c} = \frac{1,1(R_0 - R'_0 + R_B + R_i)}{F_{y.c}}, \quad (5)$$

где  $R_0 = r v_p^2$ ,

$F_{y.c}$  – держащая сила станového якоря,

$$F_{y.c} = f_c m_c g; \quad (7)$$

$f_c$  – коэффициент цепкости станového якоря;

$m_c$  – его масса.

Численные значения  $r$ ,  $R_b$ ,  $R_i$  определяют по известным зависимостям [1, 3, 5], которые здесь не приводятся. Коэффициенты цепкости  $f_t$  и  $f_c$  подлежат экспериментальному исследованию для соответствующих конструкций и массы якорей, а также характера грунта.

Процесс активного торможения плота якорями делится на пять этапов.

Первый этап начинается со сброски тормозных якорей и заканчивается вытяжкой их шеем. На этом этапе плот движется по инерции, скорость его уменьшается мало и может быть принята постоянной, равной технической скорости буксировки плота относительно берега:

$$v_T = v_p + v, \quad (8)$$

где  $v$  – скорость буксировки плота в спокойной воде,

$$v = \sqrt{\frac{F_T + R_i + R_b}{r\varphi_M \varphi_b \varphi_V}}; \quad (9)$$

$F_T$  – сила тяги на гаке буксировщика;

$\varphi_M$ ,  $\varphi_b$ ,  $\varphi_V$  – коэффициенты, учитывающие влияние на сопротивление движению плота соответственно мелководья, длины буксирного каната, волнения [5].

Длина пути плота за этап может быть принята равной длине шейки якоря:

$$S_1 = l_{шт}. \quad (10)$$

Продолжительность этапа

$$t_1 = \frac{S_1}{v_T}. \quad (11)$$

Второй этап начинается с запахиания якорей и заканчивается моментом, когда их держащая сила становится наибольшей (условно постоянной). На этом этапе плот тормозится переменной силой  $P_2$ , так как держащая сила якорей увеличивается от нуля до максимальной. Плот движется со скоростью, превышающей скорость течения, дифференциальное уравнение движения имеет вид

$$M_d \frac{dv}{dt} = -P_2 - r(v_T - v)^2 + R_b + R_i, \quad (12)$$

где  $M_d$  – действующая масса плота,

$$M_d = M(1 + n); \quad (13)$$

$M$  – масса плота,

$$M = 1,12\rho_b V_{пл}; \quad (14)$$

$\rho_b$  – плотность бревен;

$V_{пл}$  – объем плота;

1,12 – коэффициент, учитывающий кору;

$n$  – коэффициент нестационарности.

На этом этапе [1]

$$n = -0,137 + 0,443C + 27,16e^{-4,61C}, \quad (15)$$

где 
$$C = \frac{B}{\sqrt[3]{\frac{\rho_6}{\rho} LBT}}, \quad (16)$$

$\rho$  – плотность воды;

$L, B, T$  – соответственно длина, ширина, осадка плота;

$e$  – основание натуральных логарифмов.

Последнее слагаемое в формуле (15) можно не учитывать.

Уравнение (12) не решается, поскольку зависимость тормозной силы от времени не установлена и для разных якорей различна. Однако известна длина тормозного пути на этом этапе  $S_2$ , равная длине пути запахиивания якоря  $l_{3,т}$ , устанавливаемой опытом, т. е.

$$S_2 = l_{3,т}. \quad (17)$$

Этот путь сравнительно невелик, и без большой погрешности переменные величины в уравнении можно считать изменяющимися линейно. Тогда

$$M_d \bar{a} = -\bar{P}_2 - rv^2 + P_c, \quad (18)$$

где  $\bar{a}$  – осредненное ускорение торможения на втором этапе,

$$\bar{a} = \frac{v_2 - v_T}{t_2}, \quad (19)$$

$v_2$  – скорость плота в конце этапа;

$t_2$  – продолжительность этапа,

$$t_2 = \frac{2l_{3,т}}{v_T + v_2}, \quad (20)$$

тогда

$$\bar{a} = \frac{v_2^2 - v_T^2}{2l_{3,т}}; \quad (21)$$

$\bar{P}_2$  – осредненная тормозная сила за этап,

$$\bar{P}_2 = \frac{F_{я,т} n_{я,т}}{2}; \quad (22)$$

$\bar{v}$  – осредненная скорость обтекания плота водой за этап,

$$\bar{v} = \frac{v_T - v_p + v_2 - v_p}{2} = \frac{v_T + v_2 - 2v_p}{2}; \quad (23)$$

$$P_c = R_B + R_f. \quad (24)$$

Решая совместно уравнения (18) и (20) с использованием (21)–(24), получаем квадратное уравнение

$$\left(\frac{r}{4} + C\right)v_2^2 + \frac{rB}{2}v_2 + \left(\frac{r}{4}B^2 - Cv_T^2 - A\right) = 0, \quad (25)$$

где обозначено:

$$\left. \begin{aligned} A &= P_c - \frac{F_{я.т} n_{я.т}}{2}; \\ B &= v_t - 2v_p; \\ C &= \frac{M_d}{2l_{3,т}}. \end{aligned} \right\} \quad (26)$$

Решая уравнение (25), получаем скорость плота в конце второго этапа:

$$v_2 = \frac{-\frac{rB}{2} + \sqrt{\left(\frac{rB}{2}\right)^2 - 4\left(\frac{r}{4} + C\right)\left(\frac{r}{4}B^2 - Cv_t^2 - A\right)}}{2\left(\frac{r}{4} + C\right)}. \quad (27)$$

Продолжительность этого этапа определяют по формуле (20).

Третий этап – скорость плота уменьшается от  $v_2$  до скорости течения в реке  $v_p$ . Уравнение движения (12) справедливо, но вместо переменной тормозной силы  $P_2$  действует постоянная  $P_3$ :

$$P_3 = n_{я.т} F_{я.т}, \quad (28)$$

а вместо  $v_t$  в уравнении должна быть скорость  $v_2$ . Коэффициент  $n$  находят по той же формуле (15).

Этап теоретически достаточно изучен [5]. Его продолжительность

$$t_3 = K_3 \frac{M_d}{\sqrt{r(P_3 - P_c)}}; \quad (29)$$

тормозной путь

$$S_3 = v_p t_3 - \frac{M_d}{r} \ln \frac{\cos K_3}{\cos \left( K_3 - \frac{\sqrt{r(P_3 - P_c)}}{M_d} t_3 \right)}. \quad (30)$$

В формулах (29) и (30)

$$K_3 = \arctg \left( \sqrt{\frac{r}{P_3 - P_c}} (v_2 - v_p) \right). \quad (31)$$

Четвертый этап начинается при скорости плота  $v_p$  и заканчивается при скорости  $v_я$ , характер обтекания плота принципиально иной – скорость плота меньше скорости потока, и уравнение движения имеет вид

$$M_d \frac{dv}{dt} = -P_3 + r(v_p - v)^2 + P_c. \quad (32)$$

Его решение:

$$t = \frac{M_d}{r} \int_{v_я}^{v_p} \frac{dv}{av^2 + bv + c}, \quad (33)$$

где

$$a = -1; \quad b = 2v_p; \quad c = \frac{P_3 - P_c}{r} - v_p^2. \quad (34)$$

Дискриминант  $4ac - b^2 < 0$ , поэтому после преобразований получим

$$t_4 = \frac{M_d}{2\sqrt{(P_3 - P_c)r}} \ln \left| \frac{(v_p - v_y) \sqrt{\frac{P_3 - P_c}{r} + \frac{P_3 - P_c}{r}}}{(v_p - v_y) \sqrt{\frac{P_3 - P_c}{r} - \frac{P_3 - P_c}{r}}} \right|. \quad (35)$$

Тормозной путь на этапе определим из дифференциального уравнения

$$M_d v \frac{dv}{dS} = -P_3 + r(v_p - v)^2 + P_c \quad (36)$$

или

$$S = \frac{M_d}{ar} \int_{v_y}^{v_p} \frac{v dv}{v^2 + \frac{b}{a}v + \frac{c}{a}}. \quad (37)$$

Дискриминант  $\left(\frac{b}{a}\right)^2 - 4\frac{c}{a} > 0$ , поэтому после преобразований получим

$$S_4 = -\frac{M_d}{2r} \left( \ln \left| \frac{P_3 - P_c}{r(v_p - v_y)^2} \right| + \frac{2v_p}{\sqrt{\frac{P_3 - P_c}{r}}} \ln \left| \frac{v_p - v_y - \sqrt{\frac{P_3 - P_c}{r}}}{v_p - v_y + \sqrt{\frac{P_3 - P_c}{r}}} \right| \right). \quad (38)$$

Как показано в работе [1], при таком характере обтекания плота коэффициент  $n$  в формуле (13) зависит от его скорости и определяется по формуле

$$n = 1 + n_1 + n_2 v_T \sqrt{\frac{r}{P_3 - P_c}}, \quad (39)$$

где  $n_1 = 0,469C - 0,369$ ;

$n_2 = 0,564C - 0,648$ ;

$v_T$  – мгновенная скорость движения плота относительно берега.

В рассматриваемом случае целесообразно в расчете использовать осредненное значение коэффициента  $\bar{n}$ , вычисленное по осредненной скорости за этап:

$$\bar{v}_T = \frac{v_p + v_y}{2}. \quad (40)$$

Пятый этап, как и второй, начинается с запахиивания якорей (но уже станových) и заканчивается остановкой плота, когда суммарная держащая сила всех якорей достигает максимума. Чтобы уменьшить тормозной путь, целесообразно сбросить станových якоря в створе, расположенном на расстоянии  $S_1 + S_2 + S_3 + S_4 - l_{ш.с}$  от начального створа (здесь  $l_{ш.с}$  – длина шейки станových якорей), тогда якоря начнут запахииваться при скорости плота, равной  $v_y$ , и тормозной путь этапа составит:

$$S_5 = l_{ш.с}; \quad (41)$$

продолжительность

$$t_5 = \frac{2l_{3,c}}{v_{я}}. \quad (42)$$

В формулах (41) и (42)  $l_{3,c}$  – длина пути запахиивания станового якоря, устанавливаемая опытом.

Полный путь торможения плота

$$S = S_1 + S_2 + S_3 + S_4 + S_5,$$

а его продолжительность

$$t = t_1 + t_2 + t_3 + t_4 + t_5.$$

В качестве примера рассмотрим процесс остановки северодвинского сортиментного плота габаритами  $415 \times 80 \times 1,5$  м, массой  $M = 16\,100$  т при  $v_p = 1$  м/с,  $v_b = 5$  м/с,  $i = 0,0001$ ,  $h_p = 5$  м,  $v_r = 1,55$  м/с,  $r = 260$  кН·с<sup>2</sup>/м<sup>2</sup>,  $R_i = 18$  кН,  $R_b = 10$  кН,  $m_T = m_c = 100$  кг,  $f_T = 35$ ,  $f_c = 50$ .

По формулам (2) и (24)  $R'_0 = 127,4$  кН,  $P_c = 28$  кН; по формулам (4), (3), (5)  $F_{я,т} = 34,3$  кН,  $n_{я,т} = 5$  шт.,  $n_{я,с} = 4$  шт.

Первый этап. Длина шейки рекомендуется равной десяти глубинам в реке  $h_p = 5$  м, поэтому по зависимостям (10) и (11)  $S_1 = 50$  м,  $t_1 = 32$  с.

Второй этап. По формулам (15) и (13)  $n = 0,83$ ,  $M_d = 29\,400$  т; по (26)  $A = -70$  кН,  $B = -0,45$  м/с,  $C = 294$  т/м (при  $l_{3,т} = 50$  м); по (27) и (20)  $v_2 = 1,40$  м/с,  $t_2 = 34$  с,  $S_2 = l_{3,т} = 50$  м.

Третий этап. По формулам (28) и (31)  $P_3 = 171,5$  кН,  $K_3 = 0,493$ ; по (29) и (30)  $t_3 = 75$  с,  $S_3 = 89$  м.

Четвертый этап. По формулам (39) и (13)  $\bar{n} = 3,45$ ,  $M_d = 71\,480$  т; по (35) и (38)  $t_4 = 650$  с,  $S_4 = 467$  м.

Пятый этап. Приняв  $l_{3,c} = S_5 = 25$  м, по формуле (42) получим  $t_5 = 167$  с.

Полный путь торможения  $S = 681$  м, время торможения  $t = 958$  с  $\approx 16$  мин.

Анализ показывает, что расчет по формуле (39) приводит к увеличению массы плота в 4,5 раза, что физически трудно объяснимо, а тормозной путь и время на четвертом этапе сомнительно велики. Эту формулу целесообразно уточнить.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Митрофанов, А.А. Лесосплав. Новые технологии, научное и техническое обеспечение [Текст]: монография / А.А. Митрофанов. – Архангельск: Изд-во АГТУ, 2007. – 492 с.

2. Харитонов, В.Я. Новая технология плотового лесосплава на базе единого транспортного пакета на р.Пинеге [Текст] / В.Я. Харитонов, С.В. Посыпанов, Л.Н. Зунин // Наука – северному региону: сб. науч. тр. – Архангельск: Изд-во АГТУ, 2004. – Вып. 60. – С. 345–351.

3. Харитонов, В.Я. Остановка плотов на течении [Текст]: учеб. пособие / В.Я. Харитонов, В.А. Пустошный. – Архангельск: Изд-во АГТУ, 2001. – 42 с.

4. Харитонов, В.Я. Экологически щадящая технология остановки плотов якорями новой конструкции [Текст] / В.Я. Харитонов, А.А. Солодков // Охрана окружающей среды и рациональное использование природных ресурсов: сб. науч. тр. – Архангельск: Изд-во АГТУ, 2006. – Вып. 64. – С. 219–222.

5. Чекалкин, К.А. Гидродинамические основы проектирования агрегатов для остановки плотов [Текст]: учеб. пособие / К.А. Чекалин, Л.В. Мельников. – Л., 1987. – 64 с.

Поступила 18.10.07

*V.Ya. Kharitonov*  
Arkhangelsk State Technical University

#### **Inertial Characteristics of Rafts Stopped by Anchors**

Calculation method of raft inertial characteristics when controlling its movement and stopping it with low blade swing and mass is offered.

Keywords: timber floating, raft, anchor, braking force, braking distance, speed, stage life.

---

**В.А. Грязин**

Марийский государственный технический университет

Грязин Владимир Альбертович родился в 1976 г., окончил в 1998 г. Марийский государственный технический университет, кандидат технических наук, доцент кафедры транспортно-технологических машин МарГТУ. Имеет около 50 печатных работ по оценке эффективности специальных лесных машин и оборудования, определению энергетических показателей их работы.

E-mail: gryazin.vladimir@rambler.ru



### ЭНЕРГОЕМКОСТЬ КАК ФАКТОР ПРОИЗВОДИТЕЛЬНОСТИ ВАЛОЧНО-ТРЕЛЕВОЧНЫХ МАШИН

Приведены результаты определения энергоемкости 1 м<sup>3</sup> древесины, трелеваемой валочно-трелевочными машинами. Полученные данные характеризуют эффективность формирования комплекса лесозаготовительных машин.

*Ключевые слова:* лесозаготовки, валочно-трелевочные машины, энергоемкость, производительность.

Современный процесс лесозаготовок ведется, как правило, с применением комплексов механизированной техники, обеспечивающей наивысшую производительность. В нашей стране на лесозаготовках традиционно применяют валочно-трелевочные машины (ВТМ), простые по конструкции, надежные в эксплуатации и имеющие достаточно низкую стоимость. ВТМ – многооперационная машина, выполняющая валку деревьев, их сбор и формирование в пачку в пакетоформирующем устройстве (ПФУ), трелевку на погрузочный пункт и при необходимости выравнивание комлей.

При формировании оптимального комплекса лесозаготовительных машин основополагающим фактором их производительности является энергоемкость работы ВТМ. Конструктивные и эксплуатационные параметры, оказывающие наибольшее влияние на энергоемкость лесозаготовок с применением ВТМ, можно определить по сменной производительности ( $P_{см}$ , м<sup>3</sup>) с учетом производственных факторов и технологических параметров [3]:

$$P_{см} = \frac{(T_{см} - t_{п.з.})\varphi_1 V_{п.}}{\frac{10\,000 V_{п.}}{Q_{га} b v_{дв}} + (t_2 + \frac{V_x}{f\varphi_2 P_{пил}(H-1,3)} + t_4 + t_5) \frac{V_{п.}}{V_x} + \frac{S}{v_r} + \frac{S}{v_x} + t_6},$$

- где  $T_{см}$  – продолжительность рабочей смены, с;  
 $t_{п.з.}$  – время на выполнение подготовительно-заключительных операций, с;  
 $\varphi_1$  – коэффициент использования рабочего времени;  
 $V_{п.}$  – объем формируемой пачки деревьев, м<sup>3</sup>;  
 $V_x$  – средний объем хлыста, м<sup>3</sup>;  
 $Q_{га}$  – эксплуатационный запас древесины на 1 га, м<sup>3</sup>;  
 $b$  – ширина полосы леса, разрабатываемой ВТМ за один проход, м;  
 $v_{дв}$  – средняя скорость движения ВТМ, м/с;



- $t_2$  – время на подготовку дерева к спиливанию, с;  
 $f$  – видовое число ствола;  
 $\varphi_2$  – коэффициент использования срезающего механизма ВТМ;  
 $\Pi_{\text{пил}}$  – производительность чистого пиления срезающего механизма ВТМ, м<sup>2</sup>/с;  
 $H$  – средняя высота дерева в насаждении, м;  
 $t_4$  – время на сталкивание спиленного дерева, с;  
 $t_5$  – время на укладку спиленного дерева в ПФУ машины или на землю, с;  
 $S$  – среднее расстояние трелевки, м;  
 $v_r, v_x$  – средняя скорость движения ВТМ соответственно с грузом и без груза (холостой ход), м/с;  
 $t_6$  – время на сброску пачки с машины на погрузочном пункте, с.
- При поперечном пиление круглого леса [4]:

$$\Pi_{\text{пил}} = \frac{\pi d^2}{4t} = Hu = \frac{N_p}{kb_{\text{п}}},$$

где  $t$  – время пропила, с;

$H$  – средняя высота пропила,  $H \approx 0,8d$ , м;

$u$  – скорость подачи, м/с;

$N_p$  – мощность, необходимая на пиление, Вт;

$k$  – удельная работа резания, Дж/м<sup>3</sup>;

$b_{\text{п}}$  – ширина пропила, м.

Скорости движения ВТМ (км/ч) с грузом и без груза:

$$v_r = \frac{3600N_e \eta_{\text{тр}} \eta_{\text{г}}}{P_{\text{к}}(\text{гр})};$$

$$v_x = \frac{3600N_e \eta_{\text{тр}} \eta_{\text{г}}}{P_{\text{к}}(\text{х.х})},$$

где  $N_e$  – мощность двигателя, кВт;

$\eta_{\text{тр}}, \eta_{\text{г}}$  – КПД трансмиссии и гусеничного движителя;

$P_{\text{к}}(\text{гр}), P_{\text{к}}(\text{х.х})$  – касательная сила тяги с грузом и без груза (холостой ход), Н.

Касательная сила тяги с грузом и без груза [2]:

$$P_{\text{к}}(\text{гр}) = (G_{\text{тр}} + G_{\text{п}}K)(f_1 + i) + G_{\text{п}}(K - 1)(f_2 + i)$$

или

$$P_{\text{к}}(\text{гр}) = G_{\text{тр}}(f_1 \cos a + \sin a) + V_{\text{п}} \gamma g K f_1 \cos a + V_{\text{п}} \gamma g (K - 1)(f_2 \cos a + \sin a);$$

$$P_{\text{к}}(\text{х.х}) = G_{\text{тр}}(f_1 + i) = G_{\text{тр}}(f_1 \cos a + \sin a),$$

где  $G_{\text{тр}}$  – вес ВТМ, Н;

$G_{\text{п}}$  – вес формируемой пачки древесины, Н;

$K$  – коэффициент распределения веса трелюемой пачки;

$f_1, f_2$  – коэффициенты сопротивления движению и перемещению пачки;

$i$  – уклон, ‰;

$a$  – угол уклона волока, град;  
 $\gamma$  – плотность древесины, кг/м<sup>3</sup>;  
 $g$  – ускорение свободного падения, м/с<sup>2</sup>.

Энергонасыщенность ВТМ ( $\mathcal{E}_H$ , Вт/ч), характеризующая удельную мощность силовой установки, определяется как

$$\mathcal{E}_H = N_e / G_{тр}.$$

Эффективность затрат на трелевку 1 м<sup>3</sup> заготовленной древесины можно оценить по значению показателя энергоёмкости ( $\mathcal{E}$ , кВт·ч/м<sup>3</sup>):

$$\mathcal{E} = \frac{N_e}{P_{см}} T_{см} / 3600.$$

Для расчетов приняты следующие показатели:  $T_{см} = 28\ 800$  с (8 ч);  $Q_{га} = 200$  м<sup>3</sup>;  $v_{дв} = 1,8$  км/ч;  $t_{п.з} = 2500$  с;  $\varphi_1 = 0,75$ ;  $V_x = 0,15$  м<sup>3</sup>;  $\eta_{тр} = 0,85$ ;  $\eta_r = 0,95$ ;  $f_1 = 0,1$ ;  $f_2 = 0,3$ ;  $\varphi_2 = 0,7$ ;  $H = 20$  м;  $b = 4$  м;  $t_2 = 20$  с;  $t_4 = 9$  с;  $t_5 = 20$  с;  $t_6 = 60$  с;  $K = 0,65$ ;  $S = 300$  м;  $\gamma = 830$  кг/м<sup>3</sup>;  $b_n = 0,01$  м.

Технические характеристики валочно-трелевочных машин представлены в таблице [2].

Тип и марка ВТМ	База	$N_e$ , кВт	$v_{дв}$ , км/ч	$L^*$ , м		$G_{тр}$ , т	$V_{п}$ , м <sup>3</sup>
				max	min		
ЛП-17А	ТБ-1М	73,6	0,7...2,9	5	2,30	13,00	–
ЛП-49	ТТ-4	81,0	0,2...2,8	5	2,00	17,30	6...8
ВМ-4Б	«	95,5	0,6...2,8	–	–	18,35	–
ЛП-58	«	95,5	0,6...2,8	5	2,00	18,50	6,5
ЛП-58А	«	95,5	0,6...2,8	8	2,25	19,40	6,5
МЛ-65	Т-150К	121,1	0,6...8,6	5	2,00	16,50	5,0

\* Вылет стрелы манипулятора.

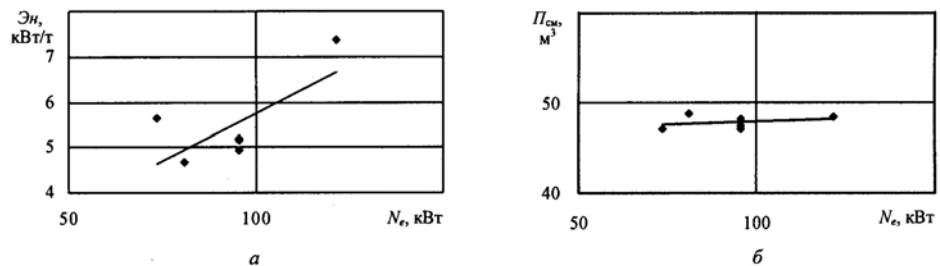


Рис. 1. Зависимость энергонасыщенности ВТМ (а) и сменной производительности (б) от мощности двигателя

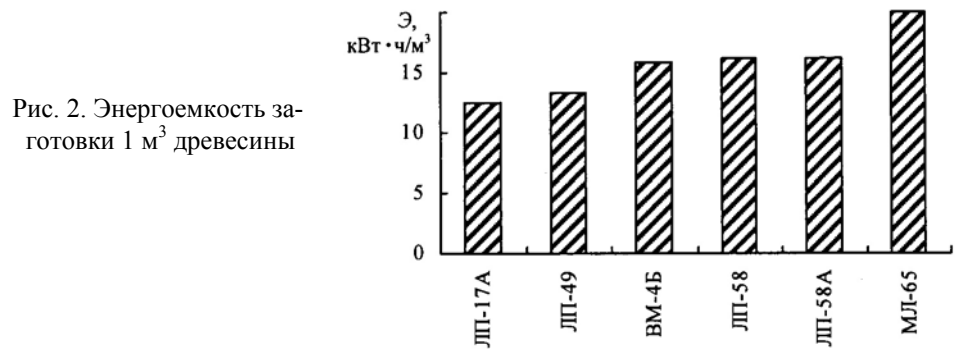


Рис. 2. Энергоёмкость заготовки 1 м<sup>3</sup> древесины

Изменение энергонасыщенности ВТМ от мощности двигателя представлено на рис. 1, *a*. Ее значение прямо пропорционально мощности двигателя, что указывает на относительное уменьшение веса исследуемой валочно-трелевочной техники. Сменная производительность ВТМ практически не зависит от мощности двигателя (рис. 1, *б*), что связано с незначительным изменением рабочих скоростей движения. Таким образом, как показывают проведенные исследования [1], при небольшом росте сменной производительности повышение мощности двигателя приводит к улучшению плавности работы ВТМ, снижению числа переключений передач и, как следствие, повышению надежности трансмиссии.

Энергоемкость заготовки 1 м<sup>3</sup> древесины исследуемыми ВТМ представлена на гистограмме (рис. 2). Как видим, для заданных условий менее затратной является заготовка ЛП-17А (энергоемкость 12,49 кВт·ч/м<sup>3</sup>). В свою очередь, МЛ-65, обладающая большими производительностью (на 5 %) и энергонасыщенностью (на 30 %), имеет наивысшую среди рассматриваемых ВТМ энергоемкость 20,04 кВт·ч/м<sup>3</sup>.

Зависимости энергоемкости от объема пачки и энергонасыщенности ВТМ представлены на рис. 3.

При использовании ВТМ на лесозаготовках с недостаточной по условиям эффективности работы плотностью древостоя уменьшается объем трелеваемой пачки и, как следствие, производительность машины в целом.

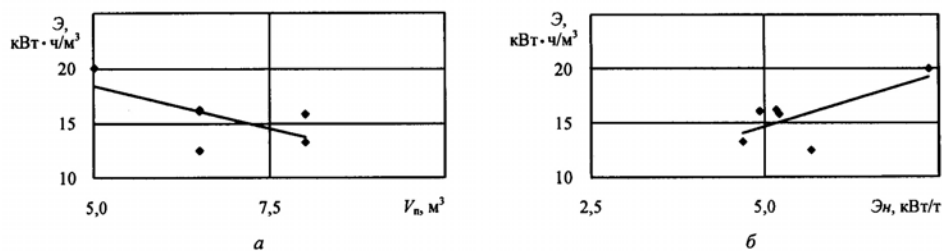


Рис. 3. Зависимость энергоемкости заготовки 1 м<sup>3</sup> древесины от объема трелеваемой пачки (*a*) и энергонасыщенности ВТМ (*б*)

Увеличение мощности двигателя в целях повышения скоростей движения и силы тяги в заданных условиях оказывается неэффективным.

Результаты обработки данных подтверждают предположение, что в современных условиях использование ВТМ с большой энергонасыщенностью приводит к увеличению затрат энергии, а следовательно, и стоимости заготовки 1 м<sup>3</sup> древесины. Дальнейшие исследования необходимо вести с учетом критерия энергоемкости, обобщающего все производственные затраты, отнесенные к единице продукции.

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Александров, В.А.* Механизация лесосечных работ в России [Текст] / В.А. Александров. – СПб.: СПбЛТА, 2000. – 208 с.
2. Лесные машины [Текст]: методич. указания к выполнению курсовой работы для студентов всех специальностей / А.И. Павлов, В.А. Грязин; сост. В.А. Грязин. – Йошкар-Ола: МарГТУ, 2006. – 64 с.
3. *Матвейко, А.П.* Технология и оборудование лесозаготовительного производства [Текст]: учеб. / А.П. Матвейко. – Мн.: Техноперспектива, 2006. – 447 с.
4. *Ширнин, Ю.А.* Технология и оборудование лесопромышленных производств. Ч. 1. Лесосечные работы [Текст]: учеб. пособие / Ю.А. Ширнин. – М.: МГУЛ, 2004. – 446 с.

Поступила 21.11.07

*V.A. Gryazin*  
Mari State Technical University

**Energy Intensity as Factor of Felling-Skidding Machine Productivity**

The results of determining the energy intensity of 1 m<sup>3</sup> of timber hauled by felling-skidding machines are provided. The data received characterize the efficiency of forest-harvesting complex formation.

Keywords: forest harvesting, energy intensity, productivity, felling-skidding machines.

---

УДК 539.383

**С.И. Морозов, А.А. Попов**

Архангельский государственный технический университет

Морозов Станислав Иванович родился в 1929 г., окончил в 1952 г. Ленинградскую лесотехническую академию, доктор технических наук, профессор кафедры строительной механики и сопротивления материалов Архангельского государственного технического университета, член-корреспондент РИА, заслуженный деятель науки и техники РФ. Имеет более 180 печатных работ в области изучения устойчивости температурно-напряженного рельсового пути, закрепления его от угона рельсов, удара тел, применения ЭВМ при решении задач механики.

Тел.: (8182) 28-75-25



Попов Андрей Анатольевич родился в 1981 г., окончил в 2003 г. Архангельский государственный технический университет, инженер-механик, аспирант кафедры строительной механики и сопротивления материалов АГТУ. Имеет 2 печатные работы по теории удара.

Тел.: (8182) 21-61-64



## **МЕТОДЫ ОПРЕДЕЛЕНИЯ ПАРАМЕТРОВ МАТЕРИАЛОВ ПРИ СОУДАРЕНИИ ДВУХ ТЕЛ**

Рассмотрена возможность существенного повышения точности опытов по контактному сжатию двух металлических тел за счет использования пары тел сферическое тело – пластинка.

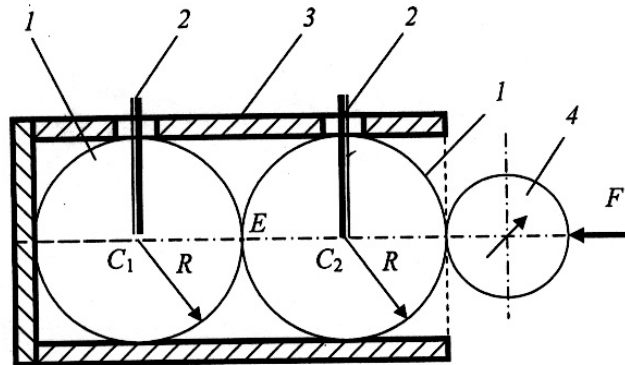
*Ключевые слова:* сжатие двух тел, универсальный микроскоп, динамометр, шар и пластинка, опытные зависимости.

Соударение тел – специфический вид их взаимодействия, который длится в течение небольшого промежутка времени (сотые и тысячные доли секунды), но импульсы этих сил (и количества движения тел) принимают конечные значения. В настоящее время существуют три основных способа решения задач удара: классический, контактный и волновой. Из них наиболее распространены два первых.

Классическая теория основана на применении общих методов решения задач динамики точки и материальной системы. Это дифференциальные уравнения поступательного и вращательного движений тел, общие теоремы динамики точки и материальной системы, принцип Даламбера и уравнение Лагранжа II рода [1].

В классической теории деформационные свойства тел характеризуют (по предложению И. Ньютона) косвенно с помощью эмпирического коэффициента восстановления  $\varepsilon$ , показывающего способность материалов соударяющихся тел восстанавливать свое первоначальное состояние после удара. От точности экспериментального определения коэффициента  $\varepsilon$  зависит точность вычисления кинематических величин процесса удара. Классическую теорию удобно применять для нахождения линейных и угловых скоростей тел после удара, но она не предназначена для выражения механических величин, характеризующих процесс удара.

Рис. 1. Схема сжатия для двух сферических тел: 1 – шарики; 2 – направляющие стержни; 3 – гильза; 4 – динамометр



В контактной теории удара, основы которой разработал Г. Герц (1881 г.), деформационные свойства тел оценивают с помощью силовой функции  $F = F(\alpha)$ . Она накладывает ограничения на деформацию тел, т. е. является динамической связью [2]. Силовая функция позволяет найти такие характеристики удара, как максимальная ударная сила  $F_m$ , максимальная деформация тел  $\alpha_m$  в зоне удара, полное время удара  $\tau_m$ . В контактной теории удара более сложно, чем в классической, определяют кинематические величины: скорость центра масс и угловые скорости тел после удара.

Значение силовой функции, согласно теории Г. Герца, находят экспериментально. Методику таких работ предложил Д.Н. Шостенко [3]. Она основана на прямом сжатии двух сферических тел при использовании ручного пресса и универсального измерительного микроскопа УИМ-21. При проведении опытов два сферических тела (рис. 1) подвергают сжатию, прикладывая к ним статическую силу  $F$ , которую измеряют с помощью динамометра. Затем с помощью микроскопов, входящих в комплект УИМ-21, измеряют деформацию шариков.

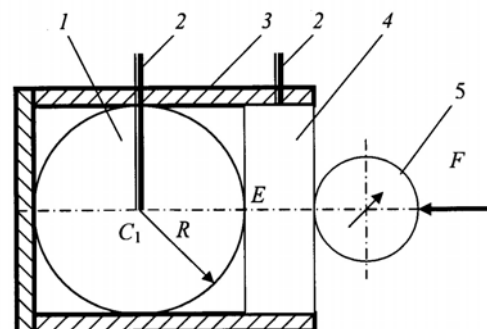
Зная пары значений  $F$  и  $\alpha$ , их аппроксимируют по методу наименьших квадратов и получают выражение для силовой функции

$$F = B\alpha^n,$$

где  $B$  – коэффициент пластичности;

$n$  – коэффициент нелинейности.

Рис. 2. Схема сжатия сферического тела и диска: 1 – шарик; 2 – направляющие стержни; 3 – гильза; 4 – диск; 5 – динамометр



Как показали опыты Д.Н. Шостенко, основная трудность в определении  $B$  и  $n$  заключается в обеспечении соосности сферических тел, а именно в том, чтобы точки  $C_1$ ,  $C_2$  и  $E$  лежали на одной прямой. Поскольку это обеспечить сложно, то на практике имеет место большой разброс значений  $B$  и  $n$ , т. е. эксперимент не является достоверным.

Для того чтобы избавиться от этого недостатка, А.А. Попов применил новую методику. Он предложил рассматривать сжатие шарика и диска (рис. 2). Требование к соосности тел здесь пропадает, так как точка  $E$  может занимать множество положений на площади диска.

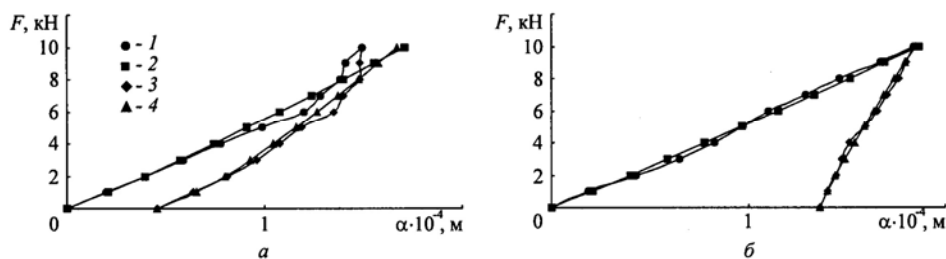


Рис. 3. График зависимости  $F(\alpha)$ :  $a$  – для шариков диаметром 12,005 и 15,075 мм;  $b$  – для шарика диаметром 19,045 мм и металлического диска (Ст 3); 1, 2 – нагрузка; 3, 4 – разгрузка; 1, 3 – экспериментальные; 2, 4 – теоретические кривые

Экспериментальные данные для двух способов проведения опытов приведены на рис. 3. Можно отметить, что зависимость  $F(\alpha)$ , полученная по методике Д.Н. Шостенко (рис. 3,  $a$ ), аппроксимируется менее точным выражением, чем по методике А.А. Попова (рис. 3,  $b$ ).

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Морозов, С.И. Соударение тел. Классическая теория удара. Ч.1. [Текст] / С.И. Морозов. – Архангельск: Изд-во АГТУ, 2001. – 252 с.
2. Морозов, С.И. Соударение тел. Классическая и универсальная теории удара [Текст] / С.И. Морозов, В.С. Морозов. – Архангельск: Изд-во АГТУ, 2007. – 123 с.
3. Шостенко, Д.Н. Экспериментальное определение силовой функции при контактном соударении двух тел [Текст] / Д.Н. Шостенко // Актуальные проблемы развития лесного комплекса: материалы Всерос. науч.-техн. конф. – Вологда: ВоГТУ, 2004. – 139 с.

Поступила 21.05.07

S.I. Morozov, A.A. Popov  
Arkhangelsk State Technical University

**Methods of Determining Parameters of Materials at Two Bodies Collision**

---

Possibility of sufficient accuracy growth of experiments on contact compression of two metallic bodies through using a couple of bodies - a spherical body and a plate- is considered.

Keywords: compression of two bodies, universal microscope, dynamometer, sphere and plate, experimental dependencies.

---



*Е.А. Тарасов*

Воронежская государственная лесотехническая академия

Тарасов Евгений Александрович родился в 1981 г., окончил в 2003 г. Воронежскую государственную лесотехническую академию, кандидат технических наук, ассистент кафедры производства, ремонта и эксплуатации машин ВГЛТА. Имеет 35 печатных работ в области исследований ресурсосберегающих технологий при производстве, ремонте и эксплуатации лесных машин.  
E-mail: bertolt@mail.ru



### **ИССЛЕДОВАНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ РЕКУПЕРАТИВНЫХ ЭЛЕМЕНТОВ ХОДОВОЙ ЧАСТИ ТРАКТОРА С ПОМОЩЬЮ ИМИТАЦИОННОЙ ДИНАМИЧЕСКОЙ МОДЕЛИ**

С помощью имитационной динамической модели лесного почвообрабатывающего агрегата изучена возможность оснащения кареток трактора ДТ-75М рекуперативными элементами. Показано, что отбор энергии в каждой каретке до 0,7 кВт не ухудшает спектры колебаний корпуса трактора.

*Ключевые слова:* агрегат, рекуперация, имитационная модель, возмущающая функция, амплитудно-частотные характеристики, коэффициент демпфирования.

Снижение потерь энергии на преодоление сил инерции и тяжести при вертикальных и горизонтальных перемещениях лесных почвообрабатывающих агрегатов – одно из перспективных и актуальных направлений повышения их эффективности. Наиболее целесообразным способом уменьшения потерь является рекуперация (возвращение) в энергетическую установку машины той части потенциальной и кинетической энергии, которая бесполезно рассеивается в окружающую среду при непроизводительных холостых перемещениях рабочих органов и машины в целом. В этой связи подвижные элементы ходовой части гусеничного трактора могут быть оснащены рекуперативными элементами [2], играющими роль демпфера и уменьшающими горизонтальные и вертикальные колебания корпуса трактора при движении по лесным объектам с большим количеством препятствий и неровностей поверхности.

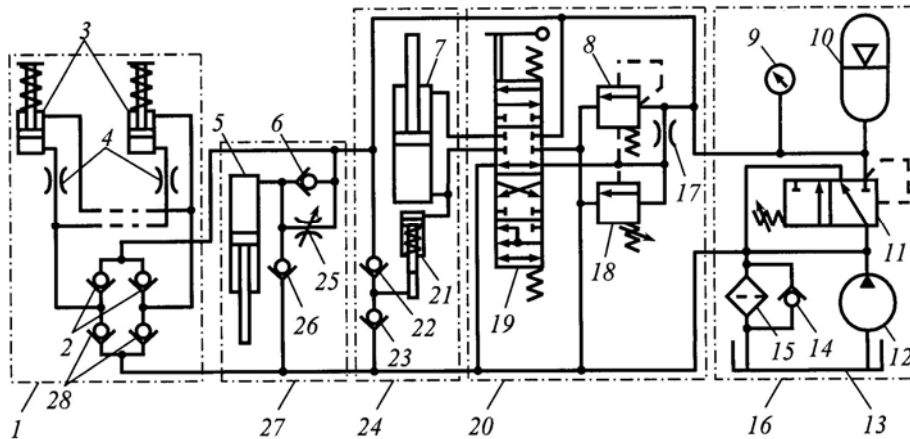


Рис. 1. Схема гидропривода почвообрабатывающего агрегата с рекуперативными элементами в нейтральном положении гидрораспределителя навесного механизма: 1, 24, 27 – системы рекуперации соответственно подвески трактора, навесного механизма и предохранителя почвообрабатывающего орудия; 2, 6, 14, 22, 23, 26, 28 – клапаны обратные; 3 – амортизаторы; 4, 17 – дроссели нерегулируемые; 5 – гидроцилиндр предохранителя рабочих органов навесного орудия; 7 – гидроцилиндр навесного механизма; 8 – клапан переливной; 9 – манометр; 10 – пневмогидроаккумулятор; 11 – клапан «ИЛИ»; 12 – насос; 13 – гидробак; 15 – фильтр; 16 – насосно-аккумуляторный узел; 18 – клапан предохранительный; 19, 20 – гидрораспределители; 21 – мультипликатор давления; 25 – дроссель регулируемый

В предложенной схеме гидропривода представлены три рекуперативных элемента: предохранительный механизм почвообрабатывающего орудия, навесной механизм и ходовая часть трактора. В гидропривод входит также секция стандартного гидрораспределителя и насосно-аккумуляторный узел. Принцип работы всех рекуперативных элементов основан на насосном эффекте, проявляемом при функционировании их гидроцилиндров с помощью системы дросселей и обратных клапанов (рис. 1) [2].

Первый рекуперативный элемент аккумулирует энергию при движении лесного почвообрабатывающего агрегата на объектах, когда трактор неизбежно испытывает значительные вертикальные нагрузки и перемещения. Последние поглощаются упругой системой ходовой части трактора и, в частности, его амортизаторами. В этом случае аккумулирование рабочей жидкости в пневмогидравлическом аккумуляторе осуществляется с помощью амортизаторов, дросселей и обратных нормально закрытых клапанов.

Второй рекуперативный элемент аккумулирует энергию, затрачиваемую трактором на преодоление рабочими органами почвообрабатывающего орудия непорезаемых препятствий (пни, валуны, крупные корни и т. п.). При этом стойка с рабочими органами отклоняется вверх относительно рамы орудия, а поршень гидроцилиндра предохранительного механизма вытесняет рабочую жидкость в пневмогидравлический аккумулятор.

После преодоления препятствия поршень гидроцилиндра возвращается в исходное состояние под воздействием ранее запасенной энергии в пневмогидравлическом аккумуляторе, причем вытесненная ранее рабочая жидкость компенсируется в гидроцилиндре предохранительного механизма с помощью насоса (рис. 1).

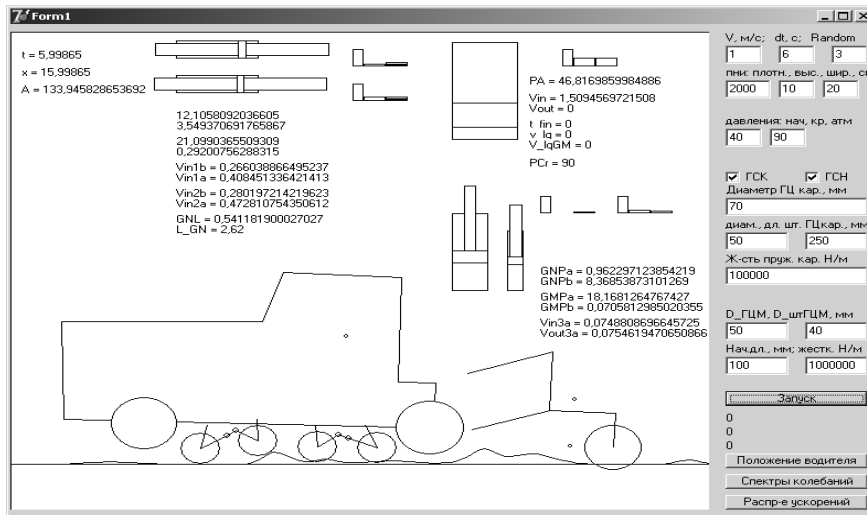
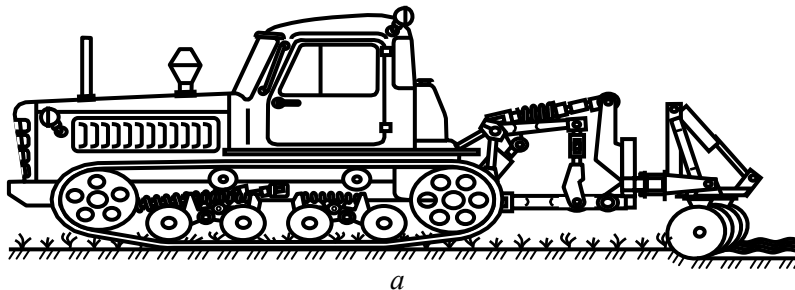
Третий рекуперативный элемент обеспечивает возвращение энергии в пневмогидравлический аккумулятор при демпфировании гидропривода навесного механизма, когда гидрораспределитель установлен в положения «нейтральное» или «опускание». Здесь роль насосного узла выполняет подпружиненный мультипликатор давления.

Все три рассмотренных рекуперативных элемента гидравлически связаны как с насосом, так и с пневмогидравлическим аккумулятором. Это обеспечивает надежную работу всего гидропривода лесного почвообрабатывающего агрегата, независимо от функционирования как совместного, так и каждого рекуперативного элемента автономно.

Для того чтобы в модели наиболее полно учесть все особенности работы агрегата, изучали трактор вместе с навешенным на него дисковым орудием (рис. 2).

Имитационная модель построена в соответствии с методикой [1]. Для составления системы из 34 дифференциальных уравнений на основе уравнений Лагранжа I рода с неопределенными множителями использован метод конечных элементов [3]. Агрегат рассматривали как совокупность семи плоских твердых тел, соединенных в некоторых контактных точках связями в виде шарниров, невесомых нерастяжимых тяг и пружин. Для численного интегрирования полученной системы уравнений использовали модифицированный метод Эйлера. Компьютерные эксперименты проводили с помощью специально составленной программы в среде Borland Delphi 7, на которую получено свидетельство об официальной регистрации программы для ЭВМ № 2006613263.

Внешние возмущения в системе задавали через силы, действующие со стороны почвы и препятствий на катки кареток, ведущий и направляющий катки и дисковый рабочий орган. Поскольку в рамках модели гусеница непосредственно не рассматривается, для генерации возмущающей функции  $q(x)$ , т. е. рельефа поверхности, был использован алгоритм, позволяющий получить достаточно плавную  $q(x)$ . В частности, функция  $q(x)$  являлась суперпозицией гауссовских пиков с параметрами  $x_i$  (положение препятствия),  $H_i$  (его высота) и  $\sigma_i$  (среднее квадратичное отклонение, задающее ширину препятствия). Гауссовские пики распределялись по длине контрольного участка случайным образом по равномерному закону. При этом параметры  $H_i$  и  $\sigma_i$  также выбирали случайным образом по равномерному закону в интервалах  $[0; 0,1]$  м для  $H_i$  и  $[0,05; 0,15]$  м для  $\sigma_i$ . Представленные в данной работе результаты соответствуют линейной плотности препятствий 1000 шт./км и скорости движения агрегата 2 м/с. При вычислении сил, действующих на тела агрегата со стороны поверхности, использована общепринятая вязкоупругая модель почвы [4].



б

Рис. 2. Исследуемый почвообрабатывающий агрегат на основе трактора ДТ-75М (а) и представление агрегата в модели (б)

Предлагаемые рекуперативные элементы должны быть расположены в каретках трактора и работать параллельно с ее серийными пружинами. Поэтому в модели рекуперативный элемент представлен в виде дополнительного демпфера серийных амортизаторов. Основной задачей компьютерного исследования являлось изучение влияния коэффициента демпфирования рекуперативного элемента  $\theta$  на амплитудно-частотную характеристику (АЧХ) колебаний корпуса трактора. Для этого проводили компьютерные эксперименты с  $\theta_1 = 300$  Н·с/м (коэффициент демпфирования серийного амортизатора) и  $\theta_2 = 8000$  Н·с/м (близкий к максимально возможному, при котором прекращается упругая реакция каретки на неровности поверхности).

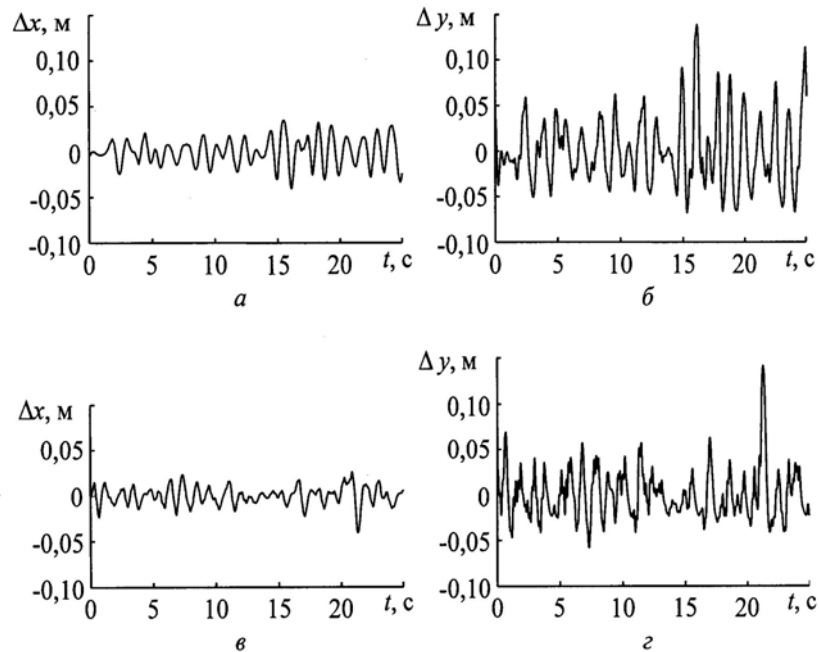


Рис. 3. Горизонтальные (*а, в*) и вертикальные (*б, г*) отклонения корпуса трактора ДТ-75М при коэффициентах демпфирования  $\theta_1 = 300 \text{ Н}\cdot\text{с}/\text{м}$  (*а, б*) и  $\theta_2 = 8000 \text{ Н}\cdot\text{с}/\text{м}$  (*в, г*)

Для достижения приемлемого статистического качества результатов в процессе компьютерного эксперимента агрегат перемещали на расстояние 1000 м. При этом фиксировали относительные горизонтальное  $\Delta x(t)$  и вертикальное  $\Delta y(t)$  отклонения точки расположения тракториста (рис. 3). Соответствующие АЧХ  $A_x(f)$  и  $A_y(f)$  (рис. 4) получены с помощью преобразования Фурье-функций  $\Delta x(t)$  и  $\Delta y(t)$ .

Было обнаружено, что при большем демпфировании амплитуда отклонений  $\Delta x(t)$  и  $\Delta y(t)$  уменьшается (рис. 3). Анализ АЧХ показал, что при различных коэффициентах демпфирования форма функций  $A_x(f)$  и  $A_y(f)$  качественно не изменяется, однако при их увеличении уменьшается абсолютная величина функций.

Модель позволила подсчитать мощность, рассеиваемую в демпферах  $\theta$  в процессе движения агрегата. При использовании вместо демпферов рекуперативных элементов данная мощность может быть возвращена обратно в энергетическую систему трактора. При  $\theta_1 = 300 \text{ Н}\cdot\text{с}/\text{м}$  рассеиваемая одним демпфером мощность составляет около 0,18 кВт, при  $\theta_2 = 8000 \text{ Н}\cdot\text{с}/\text{м}$  – около 0,70 кВт. Таким образом, при использовании рекуперативного элемента со значительным эффектом демпфирования возвращаемая с четырех кареток трактора мощность составляет около 2,8 кВт ( $\approx 4 \text{ л. с.}$ ) [5].

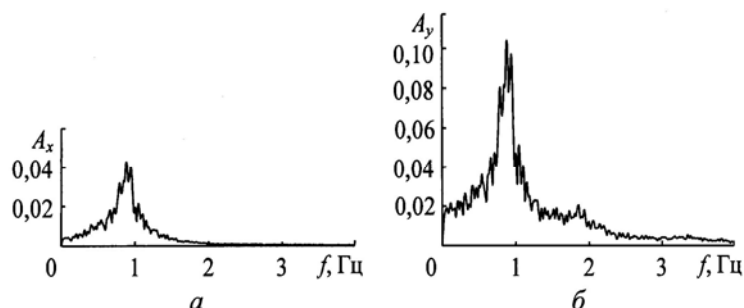


Рис. 4. Амплитудно-частотные характеристики горизонтальных (а) и вертикальных (б) отклонений корпуса трактора ДТ-75М при коэффициенте демпфирования  $\theta_1 = 300 \text{ Н}\cdot\text{с}/\text{м}$

Разработанная имитационная модель позволит в дальнейшем изучить возможность оснащения рекуперативными элементами другие части агрегата: навесной механизм трактора и предохранительное устройство почвообрабатывающего орудия.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Изучение, на основе математического моделирования, возможности оснащения почвообрабатывающего агрегата рекуперативным гидроприводом [Текст] / В.И. Посметьев, Е.А. Тарасов, В.В. Посметьев, А.В. Лиференко // Физико-математическое моделирование систем: сб. науч. тр. / Воронеж: Воронеж. гос. техн. ун-т, 2005. – Ч. 2. – С. 73–76.

2. *Посметьев, В.И.* Перспективные рекуперативные системы для гидроприводов лесных почвообрабатывающих агрегатов [Текст] / В.И. Посметьев, Е.А. Тарасов, В.С. Кухарев // Наука и образование на службе лесного комплекса: сб. науч. тр. / Воронеж: ВГЛТА, 2005. – Т. 2. – С. 132–136.

3. Расчет и проектирование строительных и дорожных машин на ЭВМ [Текст]: учеб. пособие / под ред. Е.Ю. Малиновского. – М.: Машиностроение, 1980. – 216 с.

4. *Синеоков, Г.Н.* Теория и расчет почвообрабатывающих машин [Текст]: учеб. для вузов / Г.Н. Синеоков, И.М. Панов. – М.: Машиностроение, 1977. – 328 с.

5. *Тарасов, Е.А.* Совершенствование параметров ходовой части, навесного механизма и предохранителя, обеспечивающих топливную экономичность лесохозяйственных агрегатов [Текст]: автореф. дис. ... канд. техн. наук: 05.21.01 / Е.А. Тарасов. – Воронеж, 2007. – 16 с.

Поступила 15.05.07

*E.A. Tarasov*

Voronezh State Forestry Engineering Academy

#### **Investigation of Recuperative Elements Efficiency of Tractor's Undercarriage by Simulation Dynamic Model**

The possibility of equipping carriages of tractor DT-75M with recuperative elements is studied with the help of simulation dynamic model of forest soil cultivating aggregate. It is demonstrated that power removal in each carriage up to 0.7 kW doesn't impair the vibration spectra of the tractor's body.

Keywords: aggregate, recuperation, simulation model, disturbing function, gain-frequency characteristics, damping factor.



## МЕХАНИЧЕСКАЯ ОБРАБОТКА ДРЕВЕСИНЫ И ДРЕВЕСИНОВЕДЕНИЕ

УКД 621.931

**В.И. Малыгин, П.В. Перфильев**

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

Малыгин Владимир Иванович родился в 1952 г., окончил в 1979 г. Университет Дружбы народов им. П. Лумумбы, доктор технических наук, профессор, действительный член АИН РФ, проректор по научной работе филиала «Севмашвтуз» С.-Петербургского государственного морского технического университета. Имеет более 170 научных работ в области математического моделирования физических процессов при резании.

E-mail: rector@sevmashvtuz.edu.ru



Перфильев Павел Валентинович родился в 1965 г., окончил в 1987 г. Севмашвтуз, главный конструктор РосМТК. Имеет более 10 научных работ в области систем автоматизированного проектирования.

E-mail: rector@sevmashvtuz.edu.ru



### МЕТОДЫ ОПТИМИЗАЦИИ И ОЦЕНКА КАЧЕСТВА ДЕРЕВОРЕЖУЩИХ ФРЕЗ ПРИ СТЕНДОВОМ И МАТЕМАТИЧЕСКОМ МОДЕЛИРОВАНИИ. IV. АНАЛИТИЧЕСКИЕ МЕТОДЫ ОЦЕНКИ КАЧЕСТВА ДЕРЕВОРЕЖУЩИХ ФРЕЗ ПО НАПРЯЖЕННО-ДЕФОРМИРОВАННОМУ СОСТОЯНИЮ

Выполнена оценка качества сборного режущего инструмента с помощью математического моделирования напряженно-деформированного состояния сборных дерево-режущих фрез.

*Ключевые слова:* сборный инструмент, дерево-режущие фрезы, напряженно-деформированное состояние, эксплуатационная точность, жесткость, податливость.

Рассмотренные ранее методы и технические средства диагностики и неразрушающего экспресс-контроля сборного инструмента на примере дерево-режущих фрез позволяют решать вопросы его качества в общем комплексе обеспечения надежности только по факту готового инструмента на стадиях изготовления (выходной контроль) и эксплуатации (входной контроль). Известно, что по факту выявленных недостатков разрабатываются рекомендации по проектированию инструмента, но в этом случае анализу подвергаются только инструменты, находящиеся в наличии, а не весь возможный спектр выбора оптимальной конструкции. Но такой путь не позволяет решать задачу оперативно. Отсутствие в настоящее время достаточно надежных методик расчета сборного инструмента привело к появлению

множества параллельно существующих конструкций, отличающихся друг от друга способом соединения элементов и отдельными конструктивными решениями.

Однако практика свидетельствует о необходимости выбора наиболее рациональных решений, обеспечивающих надежность и качество технологического процесса механической обработки древесины на стадии проектирования либо технологического процесса, либо самого инструмента. Отсутствие расчетных методик связано, прежде всего, с отсутствием в настоящее время однозначного ответа о количественной зависимости критериев работоспособности инструмента от различных физических факторов. Решение этого вопроса возможно лишь при условии комплексного подхода к созданию физических моделей, которые позволили бы дать такой ответ путем моделирования физических процессов при резании и своевременного изменения физико-механических характеристик инструментального материала, напряженно-деформированного состояния режущей пластины (ножа), параметров вибраций. Кроме того, этот путь мог бы дать ответ на вопрос о взаимосвязи отдельных физических факторов, что очень трудно выявить в реальных условиях резания. Наиболее реальным с практической точки зрения является путь итерации, т. е. постепенного повышения точности и достоверности прогноза по отношению к качеству инструмента в соответствии с предложенным алгоритмом [4]. Первой ступенью этого может быть создание расчетных методик на базе классических подходов. В частности существуют установленные зависимости качества сборного инструмента от его напряженно-деформированного состояния, что позволяет на первом этапе решать поставленную задачу методами сопротивления материалов [5].

Для оценки напряженно-деформированного состояния (НДС) режущих пластин (РП) предложена расчетная модель, в которой пластину принимают за балку, лежащую на упругом основании и нагруженную системой сил резания и крепления (рис. 1). Для упрощения расчетов приняты следующие допущения: режущая пластина является абсолютно жесткой; все деформации происходят за счет смещений в стыках; жесткость стыка постоянна. С учетом принятых допущений и условия линейной зависимости выразим реакции  $r$  упругого основания от смещения  $y$  в стыке:

$$r(y) = r_0 + ay.$$

Здесь  $a$  и  $r_0$  – постоянные, определяемые из условия равновесия тела на плоскости:

$$\Sigma z = 0; \quad \Sigma y = 0; \quad \Sigma M_A = 0,$$

где  $\Sigma z$  и  $\Sigma y$  – суммы проекций сил на соответствующие оси;

$\Sigma M_A$  – сумма моментов всех сил относительно точки А.

Рис. 1. Расчетная модель узла крепления РП сборной фрезы ( $Q_1$ ,  $Q_2$ ,  $q$ ,  $M_2$  – усилия воздействия на РП от элементов узла крепления)

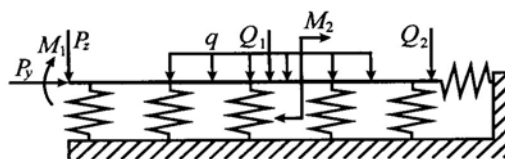
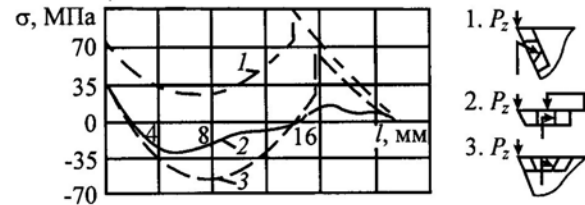




Рис. 2. Напряженно-деформированное состояние РП при различных вариантах его закрепления: 1 – тангенциальное, 2 – комбинированное, 3 – винтовое ( $l$  – длина РП)



Определим изгибающий момент в сечении  $y$ :

$$M(y) = M_1 - P_z y + 1/6 y^2 (3r_0 + ay) + M(Q), \quad (1)$$

где  $M_1$  – изгибающий момент при вершине режущей пластины;

$P_z$  – тангенциальная составляющая силы резания;

$M(Q)$  – изгибающий момент от сил крепления режущей пластины.

Формула (1) предполагает контакт режущей пластины с опорной поверхностью по всей ее длине. Если контакт осуществляется на части длины, то третья слагаемое уравнения принимает следующий вид:

$$M(Q) \begin{cases} \frac{1}{6} y^2 (3r_0 + ay), & \text{если } y < b; \\ \frac{1}{2} r_0 b (y - \frac{1}{3} b), & \text{если } y \geq b. \end{cases}$$

Рассчитаем напряжения в режущих пластинах по известной зависимости

$$\sigma(y) = \frac{M(y)}{W(y)}, \quad (2)$$

где  $W(y)$  – момент сопротивления сечения  $y$ .

Представленные на рис. 2 результаты расчетов для различных способов механического крепления режущих пластин свидетельствуют о значительной разнице НДС как по величине, так и по знаку. (Следует отметить, что наиболее неблагоприятными являются растягивающие напряжения.)

Несмотря на очевидную значимость результатов расчета и эксперимента, упрощенная методика не позволяет говорить о полной достоверности результатов в связи с принятыми ранее допущениями. В целях уточнения расчетов напряженно-деформированного состояния режущей пластины необходимо учитывать ее деформацию, которая будет зависеть от жесткости самой пластины. Условия внецентренного нагружения режущей пластины силой резания в районе ее вершины задают условия переменной жесткости в различных сечениях. Для определения напряжений в этом случае необходимо составить дифференциальное уравнение изгиба балки на упругом основании:

$$\left[ EJ \frac{d^2 f(y)}{dy^2} \right]'' = q_z + r(y), \quad (3)$$

где  $E$  – модуль упругости материала;

$J$  – момент инерции сечения;

$f(y)$  – деформация пластины;

$q_z$  – внешняя нагрузка;  
 $M_y$  – опорная реакция;  
 $r(y) = -kf(y)$ .

Решение уравнения (3) с использованием функций Крылова будет иметь следующий вид:

$$f(y) = f(0)Y_1(y) + f'(0)Y_2(y) + f''(0)Y_3(y) + f'''(0)Y_4(y) + Y^*(y). \quad (4)$$

Здесь  $Y_1(y), Y_2(y), Y_3(y), Y_4(y)$  – функции Крылова;

$f(0), f'(0), f''(0), f'''(0)$  – константы;

$Y^*(y)$  – частное решение уравнения (3), которое определяется характером внешних нагрузок,

$$Y^*(y) = \frac{1}{EJ} \sum \left\{ MY_3(y-d) + \sum Q_i Y_4(y-a_i) - \frac{q}{4\beta^4} [Y_1(y-c_1) - Y_1(y-c_2)] \right\}, \quad (5)$$

где  $M$  – изгибающий момент, приложенный в сечении с координатой  $d$ ;

$Q_i$  – сила крепления пластины, приложенная в точке с координатой  $a_i$ ;

$q$  – распределенная нагрузка, действующая на участке  $c_1 - c_2$ ;

$$4\beta^4 = \frac{k}{EJ}.$$

Изгибающий момент в рассматриваемом сечении

$$M(y) = \frac{f''(y)}{EJ}. \quad (6)$$

Величину  $f''(y)$  определяют двукратным дифференцированием уравнения (4):

$$f''(y) = -4\beta^4 f(0)Y_3(y) - 4\beta^4 f'(0)Y_4(y) + \frac{M_1}{EJ} Y_1(y) + \frac{P_z}{EJ} Y_2(y) + \frac{1}{EJ} \sum \left\{ MY_1(y-d) - \sum Q_i Y_2(y-a_i) + q[Y_3(y-c_1) - Y_3(y-c_2)] \right\}. \quad (7)$$

В формулах (5) и (7) буква «л» означает, что в эту часть входят только те слагаемые, которые располагаются левее рассматриваемого сечения (см. рис. 1).

Напряжения определяют по формуле (2), т. е. формулы (2), (4), (6) полностью описывают напряженно-деформированное состояние режущей пластины. Для определения поперечной силы в сечении необходимо продифференцировать по  $y$  выражение (6):

$$Q(y) = \frac{f'''(y)}{EJ}.$$

Константы  $f(0)$  и  $f'(0)$  находят из граничных условий, в качестве которых принимают поперечную силу и изгибающий момент на правом конце пластины (рис. 1):

$$\frac{f''(l)}{EJ} = M_{\text{прав}}; \quad \frac{f'''(l)}{EJ} = Q_{\text{прав}}.$$

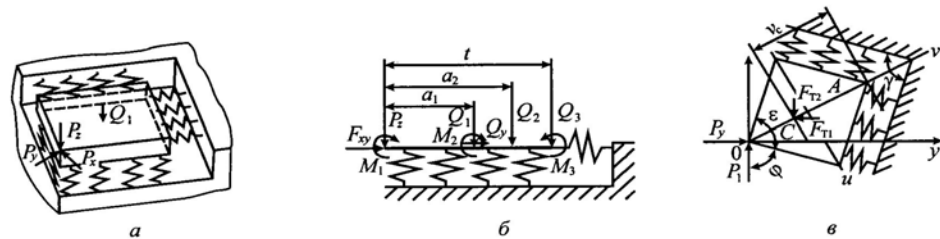


Рис. 3. Расчетная схема сборного режущего инструмента: *a* – общий вид; *б, в* – плоская расчетная схема вдоль оси *v* и в плане

Таким образом, правильно выбрать конструктивное решение сборного режущего инструмента можно по наименьшей величине напряжений в режущей пластине.

Для дереворежущего инструмента важным критерием оценки качества является точность. Если для цельных фрез геометрическая точность обеспечивается путем их заточки, то для сборных этого явно недостаточно по той причине, что в процессе работы под действием сил резания узел крепления режущей пластины (ножа) подвергается деформации за счет смещения элементов конструкции в стыках (это было показано при стендовых испытаниях узлов крепления фрез на статическую жесткость). Для оценки влияния этого фактора можно предложить на стадии проектирования инструмента использовать методику, основанную на расчетной схеме, представленной на рис. 3 [1].

В отличие от общепринятого направления координатных осей при определении НДС режущей пластины оси  $Ox$  и  $Oy$  расположены параллельно опорной поверхности сменной многогранной пластины (СМП), при этом ось  $Oy$  лежит в плоскости, параллельной оси фрезы  $v$  (рис. 4, *a*). Режущую пластину, установленную в гнезде корпуса инструмента, принимают за абсолютно твердое тело, опорную поверхность гнезда и его боковые грани – за упругие основания. Обычно в подобных задачах упругое основание считается винклеровским, т. е. реакция  $r$  такого основания пропорциональна смещению  $f$  пластины:  $r = -kf$ . В данном случае необходимо учитывать возможность раскрытия стыка между СМП и корпусом, поэтому реакцию упругого основания определим следующей зависимостью:

$$r_i = \begin{cases} 0 & \text{при } f_i > 0 \\ -kf_i & \text{при } f_i \leq 0, \end{cases}$$

где  $r_i$  и  $f_i$  – опорная реакция и смещение СМП в  $i$ -м направлении;  
 $k$  – коэффициент жесткости стыка.

Положительное направление смещения пластины соответствует раскрытию стыка между СМП и корпусом инструмента. Для упрощения расчетов были приняты следующие допущения:

- абсолютно жесткие СМП (если можно принять жесткость режущей пластины как минимум на порядок больше жесткости стыка);
- все деформации происходят в результате смещений в стыке;

незначительные углы поворота СМП;  
 постоянный коэффициент жесткости стыка.

Перечисленные допущения, естественно, уменьшают точность расчетов, но позволяют на основе простых зависимостей оценивать различные конструкции сборных режущих инструментов уже на стадии проектирования.

Известны различные методы классификации сборного режущего инструмента. При оценке динамической точности настройки, учитывая условия резания и соответственно характер нагружения режущей пластины, сборный режущий инструмент по оснащению удобно разбивать на две группы: 1 – с ножами, 2 – с многогранными пластинами правильной формы.

Расчетную схему для сборного режущего инструмента группы 1 (рис. 3, б) можно представить как частный случай комплексной расчетной схемы (см. рис. 3, а). Поэтому далее будем рассматривать только общий случай с режущей пластиной, находящейся в сложном НДС. Как известно, сложное напряженное состояние можно представить суммой нескольких более простых. В нашем случае НДС режущей пластины представим в виде суммы двух составляющих: первая получается в результате нагружения и смещения СМП в направлении оси  $Oz$  (рис. 3, б), вторая – при анализе деформаций и смещений СМП в плоскости самой режущей пластины (рис. 3, в). Необходимо отметить, что процесс нагружения режущей пластины следует разделить на две стадии:

I стадия соответствует закреплению СМП. На этой стадии нагружения режущей пластины силы резания отсутствуют, можно определить смещение ее вершины только под действием сил закрепления пластины (так называемое предварительное смещение пластины). Это смещение, равное смещению вершины СМП вследствие погрешностей изготовления пластины и гнезда корпуса, обычно учитывают при размерной настройке инструмента вне станка или устраняют путем заточки (для ножей).

II стадия нагружения соответствует непосредственно процессу резания. В этом случае на смещение вершины СМП оказывают влияние как силы закрепления, так и силы резания, причем смещения при размерной настройке инструмента вне станка уже не могут быть учтены.

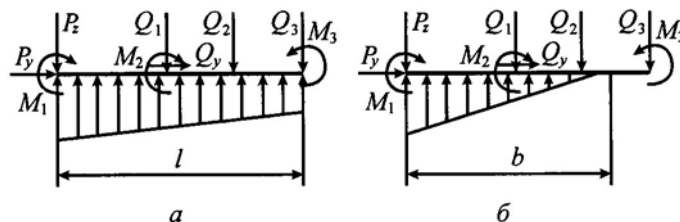


Рис. 4. Расчетные схемы для определения реакций на опорной поверхности СМП ( $b$  – длина пятого контакта РП с опорной поверхностью):  $a$  – при полном контакте СМП с опорной поверхностью;  $б$  – при неполном

Для определения смещения вершины режущей пластины необходимо из условий статического равновесия найти опорные реакции на поверхностях контакта СМП с корпусом. Более подробно эти вопросы рассмотрены в работах [2, 3, 5, 6].

Определим реакции  $r_1$  и  $r_2$  упругого основания в зависимости от формы контакта СМП с опорной поверхностью:

полный контакт (рис. 4, а):

$$r_1 = \frac{6[M_1 + M_2 - M_3] + \sum_{i=1}^3 Q_i(3a_i - l) - 2P_z l}{l^2};$$

$$r_2 = \frac{2\left(P_z + \sum_{i=1}^3 Q_i\right)}{l} - r_1;$$

неполный контакт (рис. 2, б):

$$r_1 = 0;$$

$$r_2 = \frac{2\left(P_z + \sum_{i=1}^3 Q_i\right)^2}{3\left(M_1 + M_2 - M_3 + \sum_{i=1}^3 Q_i a_i\right)};$$

$$b = \frac{3\left(M_1 + M_2 - M_3 + \sum_{i=1}^3 Q_i a_i\right)}{P_z + \sum_{i=1}^3 Q_i},$$

где  $M_1 = \left[ P_y \sin\left(\varphi - \frac{\varepsilon}{2}\right) + P_x \cos\left(\varphi + \frac{\varepsilon}{2}\right) \right] \frac{s}{2};$

$P_x, P_y, P_z$  – составляющие силы резания;

$\varphi$  – главный угол в плане;

$\varepsilon$  – угол при вершине СМП;

$M_2, M_3$  – сосредоточенные моменты, обусловленные эксцентричным приложением сил закрепления СМП относительно ее средней плоскости;

$Q_i$  – сила закрепления СМП;

$a_i$  – расстояние от точки приложения силы  $Q_i$  до вершины СМП;

$s$  – толщина СМП;

$l$  – длина СМП по диагонали.

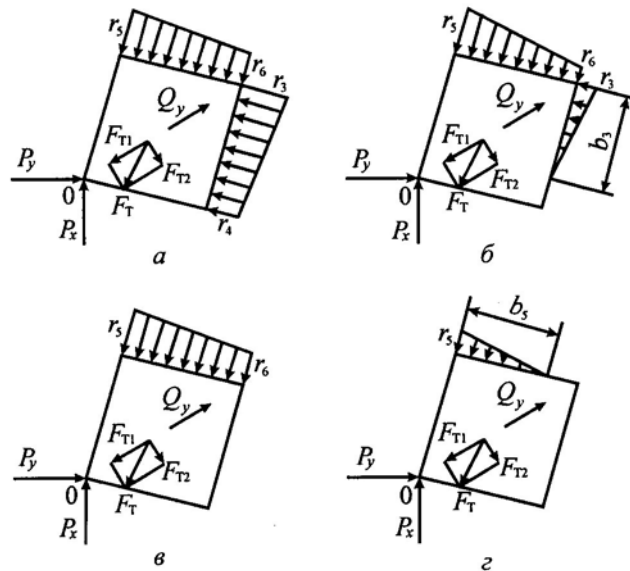
Определим опорные реакции  $r_3 - r_6$  на боковых сторонах гнезда корпуса в зависимости от формы контакта СМП с гнездом корпуса:

полный контакт СМП двумя боковыми гранями (рис. 5, а):

$$r_3 = -A + B/4 + C/2; r_4 = A/2 + B/4 - C/2;$$

$$r_5 = -A/2 + B/4 + C/2; r_6 = A + B/4 - C/2,$$

Рис. 5. Расчетные схемы для определения опорных реакций на боковых гранях СМП: *a* – полный контакт по двум граням; *б* – полный контакт по одной и неполный по другой грани; *в* – полный контакт по одной грани; *г* – неполный контакт по одной грани



$$\text{где } A = 2 \left[ P_x \sin \left( \varphi + \frac{\varepsilon}{2} \right) + P_y \cos \left( \varphi + \frac{\varepsilon}{2} \right) - F_T \right] \frac{1}{l_k \cos \gamma};$$

$F_T$  – результирующая сила трения между СМП и опорной поверхностью,

$$F_T = \left[ P_z + \sum_{i=1}^3 Q_i \right] f;$$

$f$  – коэффициент трения между СМП и корпусом;

$l_k$  – длина главной режущей кромки СМП;

$\gamma$  – угол между боковыми сторонами гнезда корпуса;

$$B = 2 \left[ -P_x \cos \left( \varphi + \frac{\varepsilon}{2} \right) + P_y \sin \left( \varphi + \frac{\varepsilon}{2} \right) + Q_y - F_T \right] \frac{1}{l_k \sin \gamma};$$

$Q_y$  – сила закрепления СМП;

$$C = 6 \left[ P_x l \sin \left( \varphi + \frac{\varepsilon}{2} \right) + P_y \cos \left( \varphi + \frac{\varepsilon}{2} \right) - F_T v_c \right] \frac{1}{l_k^2};$$

$v_c$  – наибольшее плечо действия силы трения (см. рис. 3, в);

полный контакт СМП одной боковой гранью и неполный контакт другой (рис. 5, б):

$$\begin{aligned} r_3 &= \frac{(B - A)l_k}{2b_3}; & r_4 &= 0; \\ r_5 &= C - \frac{(B + A)}{2} + \frac{(B - A)b_3}{2l_k}; \\ r_6 &= B + A - C - \frac{(B - A)b_3}{2l_k}; \end{aligned}$$

полный контакт СМП только одной боковой гранью (рис. 5, в):

$$\begin{aligned} r_3 &= 0; \quad r_4 = 0; \\ r_5 &= C_1 - B_1 - \frac{3(A_1 - B_1)v_c \cos \gamma}{l_k}; \\ r_6 &= -C_1 + 2B_1 + \frac{3(A_1 - B_1)v_c \cos \gamma}{l_k}, \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{где } A_1 &= 2 \left[ P_x \sin\left(\varphi + \frac{\varepsilon}{2}\right) + P_y \cos\left(\varphi + \frac{\varepsilon}{2}\right) \right] \frac{1}{l_k \cos \gamma}; \\ B_1 &= 2 \left[ -P_x \cos\left(\varphi + \frac{\varepsilon}{2}\right) + P_y \sin\left(\varphi + \frac{\varepsilon}{2}\right) + Q_y - F_T \right] \frac{1}{l_k \sin \gamma}; \\ C_1 &= 6 \left[ P_x l \sin\left(\varphi + \frac{\varepsilon}{2}\right) + P_y l \cos\left(\varphi + \frac{\varepsilon}{2}\right) \right] \frac{1}{l_k^2}. \end{aligned}$$

Под действием сил резания и закрепления вершина СМП перемещается некоторым образом в пространстве, причем полное ее перемещение может разложить на отдельные составляющие, показывающие перемещение вершины вдоль осей  $0x$ ,  $0y$  и  $0z$ . Для нахождения перемещения  $\Delta u$  вершины пластины в направлении силы резания  $P_y$  предварительно определим  $\Delta u$  в направлении вспомогательных осей  $0u$  и  $0v$ , одна из которых совпадает с диагональю СМП, а другая – перпендикулярна к ней (рис. 6). Перемещения  $\Delta u$  и  $\Delta v$  вершины СМП будут складываться из двух величин, обусловленных линейным смещением и поворотом СМП вокруг ее центра:

$$\begin{aligned} \Delta u &= \Delta u_1 + \Delta u_2; \\ \Delta v &= \Delta v_1 + \Delta v_2, \end{aligned}$$

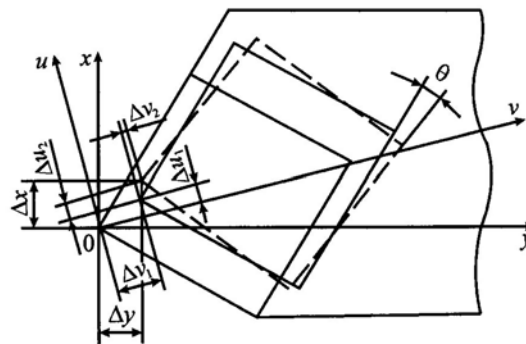


Рис. 6. Расчетная схема для определения смещения вершины СМП

$$\text{где } \Delta u_1 = \frac{r_6 \sin \gamma - r_4 \cos \gamma}{k}; \Delta v_1 = \frac{r_6 \cos \gamma + r_4 \sin \gamma}{k};$$

$$\Delta u_2 = \frac{(r_6 - r_5) \cos \gamma}{k};$$

$$\Delta v_2 = l_k \cos \frac{\gamma}{2} \left[ 1 - \sqrt{1 - \frac{r_6 - r_5}{kl_k}} \right].$$

Зная  $\Delta u$  и  $\Delta v$  вдоль вспомогательных осей, можно определить смещение пластины в направлении силы резания  $P_y$ :

$$\Delta y = \Delta v \sin \left( \varphi + \frac{\gamma}{2} \right) + \Delta u \cos \left( \varphi + \frac{\gamma}{2} \right).$$

Приведенные выше зависимости применимы для пластин правильной многогранной формы, опирающихся двумя боковыми гранями на боковые стенки гнезда корпуса. Для расчета НДС сборного инструмента разработана программа TOOL, блок-схема расчетной части которой представлена на рис. 7. Программа работает в режиме диалога, позволяет выполнять расчеты НДС СМП различной формы (квадрат, шестигранник, ромб и др.) На расчет одного варианта уходит примерно 1...2 мин с учетом ввода исходных данных. Результаты расчета могут быть выведены либо на экран монитора, либо непосредственно на печать, либо сохранены на диске с указанием имени пользователя.

На рис. 8 представлены результаты расчетов трех различных узлов крепления СМП размером 14×14×2 см. Определено смещение вершины режущей пластины по направлению силы резания  $P_y$  при изменении силы закрепления СМП от 1 до 3 кН. Как видно из результатов расчета, способ крепления СМП оказывает определенное влияние на динамическую точность настройки сборного инструмента. Также можно оценить и влияние формы режущей пластины на величину смещения, однако

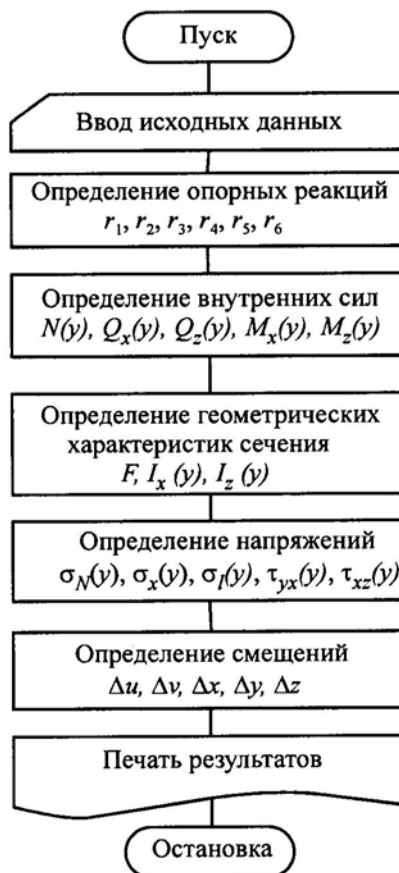
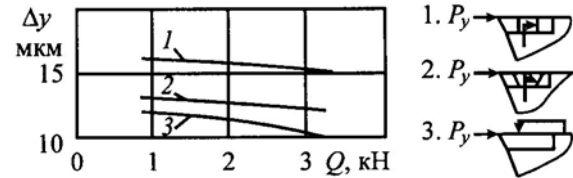


Рис. 7. Блок-схема программы расчета динамической точности настройки сборных фрез



Рис. 8. Зависимость смещения вершины СМП от нагружающей силы по направлению оси  $Oy$  для различных конструкций сборных фрез (с 1 по 3)



оно не будет столь однозначным, как для способа крепления, так как смещение вершины пластины вызывается не только ее линейным смещением, но и поворотом.

Если для различных форм СМП первая составляющая примерно одинаковая, то вторая значительно отличается, но при некоторых углах в плане и при вершине СМП она практически не влияет на смещение  $\Delta u$ . Например, при тех же условиях резания и крепления винтом СМП различной формы (сила закрепления 1 кН) получены следующие результаты: квадратная пластина –  $\Delta u = 12$  мкм, ромбическая пластина – 14 мкм, шестигранная пластина с углом  $80^\circ$  при вершине – 9 мкм.

#### Выводы

1. Разработанные модели позволяют оценить напряженно-деформированное состояние, динамическую точность настройки сборного инструмента на стадии его проектирования.
2. Способ крепления существенно влияет на точность сборного режущего инструмента.
3. Влияние формы СМП на точность инструмента в значительной степени определяется конкретными условиями резания.
4. Разработанные методики могут быть использованы при проектировании инструмента.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Гречишников, В.А. Оценка динамической точности настройки сборного инструмента на стадии проектирования [Текст] / В.А. Гречишников, В.И. Малыгин, П.В. Перфильев // Вестник машиностроения. – 1996. – №6. – С. 24–27.
2. Иноземцев, Г.Г. Влияние схемы базирования неперетачиваемых пластин на точность торцовых фрез [Текст] / Г.Г. Иноземцев, А.В. Кальянов // Исследования в области станков и инструментов. – Саратов: СПИ, 1974. – С. 87–93.
3. Малыгин, В.И. Выбор способа механического крепления режущих пластин кольцевых сверл [Текст] / В.И. Малыгин, П.В. Перфильев // Материалы НТК. – М.: Ун-т Дружбы народов, 1988. – С. 120–125.
4. Малыгин, В.И. Оптимизация конструкций инструмента для ГАП методами математического моделирования физических процессов при резании [Текст] / В.И. Малыгин // Сб. тр. НТК АИН РФ. – СПб., 2001. – С. 175–185.
5. Малыгин, В.И. Расчетный метод оценки качества сборного инструмента по напряженному состоянию [Текст] / В.И. Малыгин, П.В. Перфильев // Вестник машиностроения. – 1992. – № 10–11. – С. 44–46.
6. Ber, A. A mathematical model of the radial and axial throw of square indexable inserts in face milling cutter [Text] / A. Ber, D.A. Feldman // CIRP Ann. – 1976. – Vol. 25, N 1. – P. 19–23.

Поступила 07.09.06

---

*V.I. Malygin, P.V. Perfiljev*

«Sevmashvtuz», Branch of Saint-Petersburg State Marine Technical University

**Optimization Methods and Quality Assessment of Wood-milling Cutters under Bench and Mathematical Simulation. IV. Analytical Methods of Quality Assessment of Wood-milling Cutters according to Deformation Mode**

The quality assessment of collected cutting device is carried out by mathematical simulation of deformation mode of interlocking side wood-milling cutters.

Keywords: collected device, wood-milling cutters, deformation mode, service accuracy, hardness, flexibility.

---

**В.Ф. Дунаев, В.В. Дунаева**

Архангельский государственный технический университет

Дунаев Владимир Федорович родился в 1938 г., окончил в 1970 г. Северо-западный заочный политехнический институт, кандидат технических наук, доцент кафедры автоматизации технологических процессов и производств Архангельского государственного технического университета. Имеет более 50 печатных трудов в области автоматизации процессов лесопиления.

Тел.: (8182) 29-12-85



Дунаева Валерия Викторовна родилась в 1938 г., окончила в 1960 г. Архангельский государственный педагогический институт, кандидат технических наук, доцент кафедры строительной механики и сопротивления материалов Архангельского государственного технического университета. Имеет около 50 печатных трудов в области совершенствования дереворежущего инструмента и процессов лесопиления.

Тел.: (8182) 21-61-64

**ВЛИЯНИЕ СУЧКОВ НА ПОСОРТНЫЙ ВЫХОД ПИЛОПРОДУКЦИИ**

Установлено, что наличие в пиловочнике сучков и других пороков древесины понижает стоимость получаемых пиломатериалов на 35...50 %. Предложено повышать качество пиловочника лесоводческими приемами.

*Ключевые слова:* пороки древесины, живые ветки, сучки, пасынки, кривизна, пиловочник, сердцевинная, ядровая и заболонная древесина, качество, ценностный коэффициент сортности.

Стоимость пиломатериалов зависит от наличия в них сучков, пасынков, а также кривизны. Для оценки потерь стоимости пиловочника используют ГОСТ 9463–88 [2], экспортных пиломатериалов – ГОСТ 26002–88Э [3], для внутрirosсийского потребления – ГОСТ 8486–86 [1], а также «Руководящие технико-экономические материалы по нормированию сырья и материалов в производстве пиломатериалов» [7].

Таблица 1

Пиломатериалы	Средние бревна (14...24 см) по сортам			Крупные бревна (26 см и более) по сортам		
	1-й	2-й	3-й	1-й	2-й	3-й
Всего сосновые	100	100	100	100	100	100
В том числе экспортные длинной ≥ 2,7 м (Вэ)	71,2	68,8	56,3	71,5	70,8	61,4
Из них:						
бессортные (Вб)	26,0	12,4	7,9	23,3	11,8	9,6
4-го сорта (В4)	35,5	44,8	30,0	39,4	47,3	34,5
5-го сорта (В5)	9,9	11,6	18,4	8,8	11,7	17,3
Всего еловые	100	100	100	100	100	100
В том числе экспортные						

длиной $\geq 2,7$ м (Вэ)	71,3	69,4	48,0	74,4	73,4	56,9
Из них:						
бессортные (Вб)	38,3	30,5	14,4	40,4	30,5	15,7
4-го сорта (В4)	23,0	29,0	18,1	25,3	32,8	18,5
5-го сорта (В5)	10,0	9,9	15,5	8,7	11,1	22,7

В соответствии с ГОСТ 9463–88 *пиловочные бревна* разделяют на три сорта. В средних лесоматериалах 1-го сорта допускаются сучки и пасынки размером не более 3 см, 2-го сорта – до 8 см (в крупных лесоматериалах 1-го сорта – до 5 см, 2-го сорта – до 10 см), в средних и крупных лесоматериалах 3-го сорта наличие сучков не ограничивается.

В 1-м сорте не допускаются табачные сучки\*, во 2-м сорте их размеры не должны превышать 2 см, в 3-м сорте – 5 см.

Простая кривизна допускается при соотношении стрелы прогиба в месте наибольшего искривления и длины сортимента в соответствии с сортом не более 1,0; 1,5; 2,0 %. Сложная кривизна может составлять половину нормы простой.

Качество *пиломатериалов* оценивают по ГОСТ 26002–88Э и ГОСТ 8486–86 с разделением на отборные, бессортные – смесь 1-, 2- и 3-го сортов. Последние сортируют по нормам для 3-го сорта и отдельно на 4- и 5-й сорта. По размерам пиломатериалы подразделяют на толстые (толщина 50 мм и более), средние (25...49 мм) и тонкие (менее 25 мм); широкие (150 мм и более) и узкие; длинные (2,7 м и более) и короткие.

В соответствии с сортом и размерами пиломатериалов установлены различные требования к порокам древесины. В табл. 1 приведены нормативы посортного состава (%) экспортных (без учета коротких) пиломатериалов по ГОСТ 26002–88Э для предприятий европейской части РФ.

Таблица 2

Пиломатериалы	Ценностные коэффициенты сортности экспортных пиломатериалов			
	отборных	бессортных	4-го сорта	5-го сорта
Сосновые	3,1	2,6	1,9	1,5
Еловые	2,5	2,2	1,9	1,5

Для оценки потерь стоимости пиломатериалов от наличия сучков, пасынков\* и кривизны пользовались руководящими технико-экономическими материалами [7].

\* Табачный сучок – это сучок с гнилью в любой степени поражения; древесина такого сучка в незамороженном состоянии оказывает меньшее, чем здоровая древесина сучка сопротивление вдавливанию твердого тела (чертилки).

\* Пасынок в пиломатериалах нормируют как несросшийся сучок, в отборном сорте не допускается.

В табл. 2 приведены ценностные коэффициенты сортности экспортных пиломатериалов (цксэ) хвойных пород, с помощью которых можно рассчитать ценность объемного выхода пиломатериалов длиной 2,7 м и выше.

Рассчитаем ценностные коэффициенты пиломатериалов, вырабатываемых из средних бревен сосны 1-, 2- и 3-го сортов:

$$\begin{aligned} \text{Ц}_{\text{ср1}} &= \text{цксэБ} \cdot \text{Вэ}(1\text{ср}) + \text{цксэ4} \cdot \text{В4}(1) + \text{цксэ5} \cdot \text{В5}(1) = \\ &= 2,6 \cdot 26,0/100 + 1,9 \cdot 35,5/100 + 1,5 \cdot 9,9/100 = 1,499; \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Ц}_{\text{ср2}} &= \text{цксэБ} \cdot \text{Вэ}(2\text{ср}) + \text{цксэ4} \cdot \text{В4}(2\text{ср}) + \text{цксэ5} \cdot \text{В5}(2\text{ср}) = \\ &= 2,6 \cdot 12,4/100 + 1,9 \cdot 44,8/100 + 1,5 \cdot 11,6/100 = 1,348; \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Ц}_{\text{ср3}} &= \text{цксэБ} \cdot \text{Вэ}(3\text{ср}) + \text{цксэ4} \cdot \text{В4}(3\text{ср}) + \text{цксэ5} \cdot \text{В5}(3\text{ср}) = \\ &= 2,6 \cdot 7,9/100 + 1,9 \cdot 30,0/100 + 1,5 \cdot 18,4/100 = 1,051. \end{aligned}$$

Применим рассчитанные коэффициенты для сырья средних размеров, в котором отсутствуют пороки древесины и дефекты обработки. В этом случае ценностный коэффициент пиломатериалов, вырабатываемых из средних бревен сосны,

$$\text{Ц}_{\text{ср0}} = \text{цксэО} \cdot \text{Вэ}(1\text{ср}) = 3,1 \cdot 71,2/100 = 2,207.$$

Таким образом, для пиломатериалов 1-го сорта ценностный коэффициент увеличивается в  $2,207/1,499 = 1,47$  раза, для 2-го – в  $2,207/1,348 = 1,63$  раза, для 3-го – в  $2,207/1,051 = 2,10$  раза.

Рассчитаем ценностные коэффициенты пиломатериалов, вырабатываемых из крупных бревен сосны 1-, 2- и 3-го сортов:

$$\begin{aligned} \text{Ц}_{\text{кр1}} &= \text{цксэБ} \cdot \text{Вэ}(1\text{кр}) + \text{цксэ4} \cdot \text{В4}(1\text{кр}) + \text{цксэ5} \cdot \text{В5}(1\text{кр}) = \\ &= 2,6 \cdot 23,3/100 + 1,9 \cdot 39,4/100 + 1,5 \cdot 8,8/100 = 1,486; \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Ц}_{\text{кр2}} &= \text{цксэБ} \cdot \text{Вэ}(2\text{кр}) + \text{цксэ4} \cdot \text{В4}(2\text{кр}) + \text{цксэ5} \cdot \text{В5}(2\text{кр}) = \\ &= 2,6 \cdot 11,8/100 + 1,9 \cdot 47,3/100 + 1,5 \cdot 11,7/100 = 1,381; \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Ц}_{\text{кр3}} &= \text{цксэБ} \cdot \text{Вэ}(3\text{кр}) + \text{цксэ4} \cdot \text{В4}(3\text{кр}) + \text{цксэ5} \cdot \text{В5}(3\text{кр}) = \\ &= 2,6 \cdot 9,6/100 + 1,9 \cdot 34,5/100 + 1,5 \cdot 17,3/100 = 1,165. \end{aligned}$$

Ценностный коэффициент пиломатериалов, вырабатываемых из крупных бревен сосны

$$\text{Ц}_{\text{ср0}} = \text{цксэО} \cdot \text{Вэ}(1\text{кр}) = 3,1 \cdot 71,5/100 = 2,217.$$

Следовательно, для пиломатериалов 1-го сорта ценностные коэффициенты увеличиваются в  $2,217/1,486 = 1,49$  раза, для 2-го – в  $2,217/1,381 = 1,60$  раза, для 3-го – в  $2,217/1,165 = 1,90$  раза.

Таким образом, стоимость пилопродукции, изготовленной из пиловочника с сучками, пасынками и кривизной в 1,5 – 2 раза меньше стоимости отборных пиломатериалов.

Сократить такие потери можно только при выращивании деревьев отборного качества. Поскольку доля прибыли в цене пиломатериалов составляет 20...25 %, то в идеальном случае прибыль может возрасти в 3 – 6

раз. Этим объясняется экономический стимул достижения высокого качества деловой древесины, повысить его можно лесоводческими методами.

В растущем дереве различают три зоны [5]:

нижняя (бессучковая), где происходит естественное отмирание слабых ветвей в начале жизни дерева, после чего сучки зарастают и новая молодая древесина прирастает чистой, более пригодной для деловых целей (производство пиломатериалов и целлюлозы);

средняя (с сухими сучками), в этой зоне ветви ломаются под действием внешних природных факторов (ветролом, снеголом); обломки ветвей долго не зарастают и не срастаются с молодой древесиной, отчего качество древесины средней зоны снижается;

верхняя (живая крона) – обеспечивает рост дерева, увеличивает толщину ствола и ветвей, но при этом увеличиваются и размеры сучков, что снижает качество древесины.

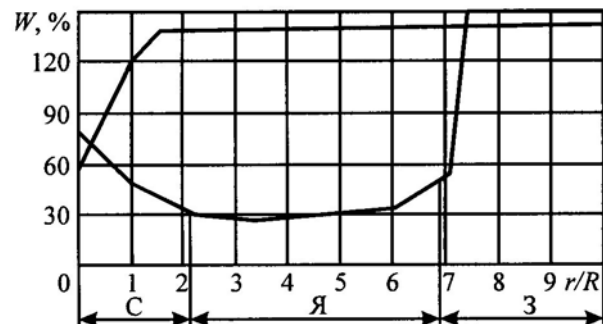
Еще академик И.С. Мелехов [6] предложил обрезку живых ветвей «...как действенное влияние на повышение качества древесины». Под обрезкой понималось отпиливание как тонких, так и толстых живых ветвей, а сама операция проводилась однократно.

Кроме того, было рекомендовано [4] удалять нижние ветви до тех пор, пока протяженность бессучковой зоны не превысит максимальную длину деловых сортиментов или кратную ей, а через 10...15 лет удалить и вершину кроны. В в этом случае ствол станет расти только в толщину и можно будет получать пиломатериалы без сучков и пасынков, имеющие более высокую потребительскую стоимость.

Обрезка сучьев обеспечивает выращивание древесины без ядровой зоны. По сравнению с ядровой сердцевинная и заболонная зоны имеют повышенную (~ 100...150 %) влажность (рис. 1).

Более равномерное распределение влажности в древесине без ядровой зоны должно положительно сказаться на точности размеров и правильности формы высушенных пиломатериалов (меньше коробление, растрескивание, стабильнее размеры сечения), а также на скорости пропитки щепы щелоком перед варкой целлюлозы.

Рис. 1. Распределение влажности  $W$  по радиусу сечения образцов древесины сосны: 1 – образец с заросшими сучками; 2 – образец, у которого ветки обрезаны с раннем возрасте ( $r$  – радиус сечения,  $R$  – максимальный радиус сечения; С – сердцевинная зона, Я – ядровая зона, З – заболонная зона)

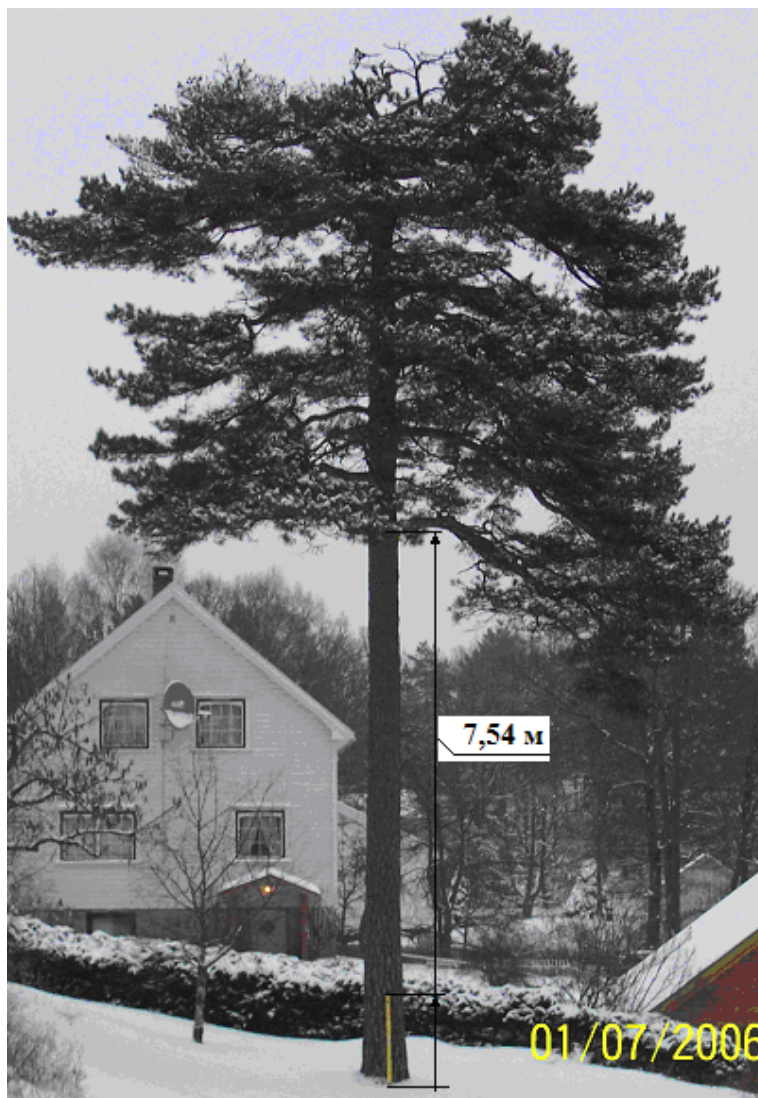


Исследования показали, что целесообразнее проводить обрезку прошлогодних ветвей ежегодно в сентябре–октябре, начиная с 5...7 лет (рис. 2) и формировать протяженность бессучковой зоны до максимальной длины деловых сортиментов. Через 15 лет необходимо удалять вершину. У таких деревьев не будет ядровой зоны. При обрезке в поздние сроки этого достичь невозможно.

Рис. 2. Процесс формирования бессучкового ствола (ежегодная обрезка веток прошлогоднего прироста)



6\* На рис. 3 показана сосна высотой 13,5 м, прошедшая раннюю обрезку, она ее начинается на высоте 7,54 м, вершины нет.



## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. ГОСТ 8486–86. Пиломатериалы хвойных пород [Текст]. – М.: Изд-во стандартов, 1966. – 16 с.
2. ГОСТ 9463–88. Лесоматериалы круглые хвойных пород. Технические условия [Текст]. – Переизд., февр. 1984. – Введ. 01.01.74. – М.: Изд-во стандартов, 1984. – 16 с.
3. ГОСТ 26002–88. Пиломатериалы хвойных пород северной сортировки, поставляемые для экспорта. Технические условия [Текст]. – Введ. 01.01.85 до 01.01.90. – М.: Изд-во стандартов, 1984. – 33 с.



4. Кроткевич, П.Г. Естественное очищение сосны от сучьев [Текст] / П.Г. Кроткевич // Лесн. хоз-во. – 1939. – № 10. – С. 29–33.
5. Мелехов, В.И. Качество древесины сосны в культурах [Текст] / В.И. Мелехов, Н.А. Бабич, С.А. Корчагов. – Архангельск: Изд-во АГТУ, 2003. – 110 с.
6. Мелехов, И.С. Лесоведение [Текст]: учеб. для вузов / И.С. Мелехов. – М.: Лесн. пром-сть, 1980. – 408 с.
7. Руководящие технико-экономические материалы по нормированию сырья и материалов в производстве пиломатериалов [Текст] / ЦНИИМОД. – Архангельск, 1991. – 219 с.

Поступила 21.06.07

*V.F. Dunaev, V.V. Dunaeva*  
Arkhangelsk State Technical University

#### **Knots Influence on Sorted Output of Sawn Timber**

It is established that knots in sawlogs and other defects of wood decreases the cost of produced sawn timber on 35-50%. It is offered to increase the quality of sawlogs by silvicultural methods.

Keywords: timber defects, living branches, knots, epicormic branches, curvature, sawlogs, heartwood and sap wood, quality, value grade coefficient.

---

**Ю.М. Юрин, В.И. Малыгин**

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

Юрин Юрий Михайлович родился в 1940 г., окончил в 1970 г. Горьковский политехнический институт, кандидат технических наук, доцент кафедры физики филиала «Севмашвтуз» СПбГМТУ. Имеет более 50 научных работ в области теплофизики процессов затвердевания и охлаждения стальных отливок в сухих и влажных формах. E-mail: rector@sevmashvtuz.edu.ru



## **К РАСЧЕТУ НАПРЯЖЕНИЙ ПРИ НАПЛАВКЕ ПИТАТЕЛЕЙ ЦЕЛЛЮЛОЗНО-БУМАЖНОГО ПРОИЗВОДСТВА**

Разработана методика расчета тепловых процессов и напряжений при наплавке металла на цилиндрические поверхности питателей целлюлозно-бумажного производства; даны рекомендации по повышению их эксплуатационной надежности.

*Ключевые слова:* питатели целлюлозно-бумажного производства, температура, напряжения, наплавка металла, количество теплоты.

Особенности некоторых непрерывных технологических процессов специфических производств предъявляют повышенные требования к надежности элементов технологического оборудования. В частности, в производстве целлюлозы одним из наиболее ответственных узлов являются питатели высокого и низкого давлений, работающие в неблагоприятных условиях циклических нагрузок и абразивного изнашивания. В связи с этим восстановление изношенных поверхностей питателей является весьма актуальным. Причем габариты, масса питателей, а также сквозные поперечные сложные каналы большого сечения создают немалые трудности при их ремонте. Опыт восстановления питателей на Архангельском и Котласском ЦБК, а также на Сыктывкарском ЛПК показал, что несмотря на существенные различия в технологических процессах ремонта питателей имеют место одни и те же негативные явления (например, наличие сетки даже визуально наблюдаемых трещин после проточки наплавленных поверхностей как следствие действия внутренних растягивающих напряжений). Все перечисленное выше ставит, прежде всего, задачу разработки методики расчета температурных режимов в технологическом процессе наплавки поверхностей питателей, на основе которой можно назначать оптимальные режимы наплавки, обеспечивающие максимально возможный период их безотказной эксплуатации.

Введем следующие обозначения:  $T_{ж.м}$  – начальная температура наплавленного жидкого металла;  $R = S/l_{п}$  – приведенный размер поперечного

сечения площадью  $S$  и длиной периметра  $l_{\text{п}}$  наплавленного за один проход металла;  $R_{\text{ш}} = 2R$  – средний радиус поперечного сечения шва;  $R_{\text{ц}}$  – радиус цилиндра;  $c_{\text{ж}}$  и  $\rho_{\text{ж}}$ ,  $c_{\text{т.ж}}$  и  $\rho_{\text{т.ж}}$ ,  $c_{\text{т}}$  и  $\rho_{\text{т}}$  – удельная теплоемкость и плотность соответственно жидкого, твердожидкого и затвердевшего металла;  $T_{\text{н}}$  – начальная температура цилиндра;  $T_{\text{Л}}$ ,  $T_{\text{С}}$  – температуры ликвидуса и солидуса;  $\Delta T_{\text{п}}$  – начальный перегрев жидкого металла над температурой ликвидуса;  $T_{\text{о}}$  – среднеинтегральная температура наплавленного слоя металла в процессе охлаждения;  $\lambda$  – коэффициент теплопроводности металла;  $L$  – эффективная удельная теплота затвердевания;  $X$  – глубина прогретого слоя цилиндра;  $r$  – расстояние от поверхности наплавленного слоя металла до точек цилиндра с температурой  $T$ ;  $n$  – показатель распределения температуры прогретого слоя цилиндра;  $a$  – ширина наплавленного шва за один проход.

Запишем распределение температуры по толщине прогретого слоя цилиндра (рис. 1) [1]:

$$T = T_{\text{н}} + (T_{\text{о}} - T_{\text{н}})(1 - r/X)^n. \quad (1)$$

В связи с небольшой величиной перепада температур по толщине наплавленного для процесса затвердевания слоя будем им пренебрегать.

Теплоотвод от рассматриваемого элемента (длиной  $l$ ) наплавленного слоя по длине окружности наружной поверхности цилиндра осуществляется в окружающую среду через наружную поверхность и внутрь цилиндра.

Количество теплоты  $dQ_{\text{ц}}$ , отведенное внутрь цилиндра за время  $dt$ :

$$dQ_{\text{ц}} = -\lambda \left( \frac{\partial T}{\partial r} \right)_{r=0} S dt = \lambda \frac{(T_{\text{о}} - T_{\text{н}})}{X} n \cdot 0,75 \cdot 2\pi R_{\text{ш}} l_{\text{ср}} dt, \quad (2)$$

где  $(\partial T/\partial r)_{r=0}$  – градиент температуры на поверхности раздела наплавленного слоя с цилиндром,  $(\partial T/\partial r)_{r=0} = -(T_{\text{о}} - T_{\text{н}})n/X$ ;

$S$  – площадь поверхности охлаждения элемента шва внутри цилиндра,  $S = 0,75 \cdot 2\pi R_{\text{ш}} l_{\text{ср}}$ ;

$l_{\text{ср}}$  – средняя длина поверхности охлаждения,  $l_{\text{ср}} = R_{\text{ц}} \Delta\varphi$ ;

$\Delta\varphi$  – угол между двумя радиусами цилиндра, проведенными в концы рассматриваемого элемента шва (рис. 2).

Количество теплоты  $dQ_{\text{окр}}$ , отведенное в окружающую среду за время  $dt$ :

$$dQ_{\text{окр}} = \alpha(T_{\text{пов}} - T_{\text{окр}})F dt = \alpha(T_{\text{пов}} - T_{\text{окр}}) \cdot 0,25 \cdot 2\pi(R_{\text{ш}} + X)R_{\text{ц}} \Delta\varphi dt.$$

Здесь  $\alpha$  – коэффициент теплоотдачи;

$T_{\text{пов}}$  – средняя температура наружной поверхности шва и про-

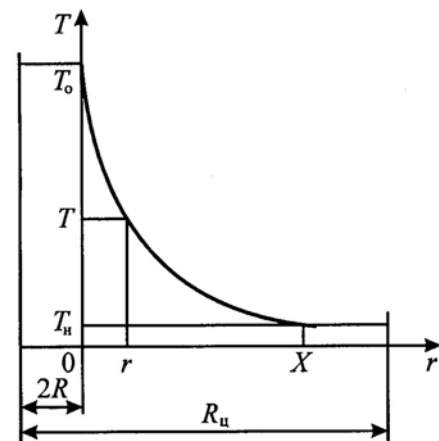


Рис. 1. Распределение температуры по толщине прогретого слоя цилиндра

гретого слоя цилиндра общей площадью  $F = 0,25 \cdot 2\pi \times (R_{ш} + X)R_{ц}\Delta\varphi$ ;

$T_{окр}$  – температура окружающей среды.

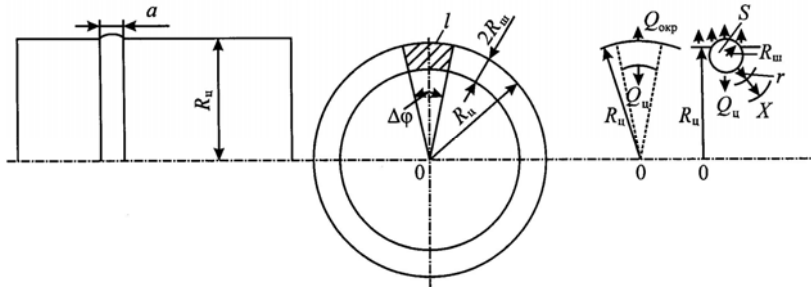


Рис. 2. Схема наплавления металла на поверхность питателя в процессе затвердевания наплавленного шва в цилиндр с учетом общего количества его теплоты  $Q_{ш}$  (интенсивность теплоотвода в воздух примерно в 30 раз меньше интенсивности теплоотвода внутрь цилиндра).

Запишем количество теплоты  $Q_{ш}$ , выделяемое в процессе затвердевания шва:

$$Q_{ш} = (\rho_{ж}c_{ж}\Delta T_{п} + \rho_{т}L)\pi R_{ш}^2 2\pi R_{ц}.$$

Тогда количество теплоты  $Q_{ц}$ , аккумулированное стенками цилиндра, составит

$$Q_{ц} = Q_{ш} = (\rho_{ж}c_{ж}\Delta T_{п} + \rho_{т}L)\pi R_{ш}^2 2\pi R_{ц}, \quad (3)$$

или

$$Q_{ц} = \rho_0 c_0 (T_{ср} - T_{н}) V_{прог} = \rho_0 c_0 (T_0 - T_{н}) \times \frac{(n+1)^{-1} - (n+2)^{-1} \delta}{1 - 0,5\delta} \pi \left[ \pi (R_{ш} + X)^2 R_{ц} - \frac{4}{3} (R_{ш} + X)^3 - 2\pi R_{ш}^2 R_{ц} \right], \quad (4)$$

где  $\rho_0$  и  $c_0$  – плотность и удельная теплоемкость металла при температуре  $T_{ср}$ ;

$T_{ср}$  – средняя температура прогретого слоя цилиндра в процессе затвердевания шва;

$$T_{ср} - T_{н} = (T_0 - T_{н}) \frac{(n+1)^{-1} - (n+2)^{-1} \delta}{1 - 0,5\delta};$$

$$\delta = X / (R_{ш} + X);$$

$V_{прог}$  – объем прогретого в процессе затвердевания шва слоя цилиндра,

$$V_{прог} = \pi \left[ \pi (R_{ш} + X)^2 R_{ц} - \frac{4}{3} (R_{ш} + X)^3 - 2\pi R_{ш}^2 R_{ц} \right].$$

Приравняв правые части (3) и (4), после преобразований для процесса затвердевания наплавленного шва получим:

$$(\rho_{ж}c_{ж}\Delta T_{п} + \rho_{т}L)\pi R_{ш}^2 R_{ц} (n+1)(n+2)(2R_{ш} + X) = \rho_0 c_0 (T_0 - T_{н}) [(n+2)R_{ш} + X] \left[ \pi (R_{ш} + X)^2 R_{ц} - \frac{4}{3} (R_{ш} + X)^3 - 2\pi R_{ш}^2 R_{ц} \right]. \quad (5)$$

В результате интегрирования (2) и последующих преобразований с учетом (3) найдем время затвердевания наплавленного шва:

$$\tau_3 = \frac{(\rho_{ж}c_{ж}\Delta T_{п} + \rho_{т}L)R_{ш}X}{1,5\lambda(T_o - T_{н})n}. \quad (6)$$

Здесь  $\lambda$  – коэффициент теплопроводности металла цилиндра при температуре  $T_o$ .

В табл. 1 для стального цилиндра (радиусом  $R_{ц} = 0,4$  м) и наплавленного на его поверхность шва ( $R_{ш} = 5 \cdot 10^{-3}$  м) представлены глубина прогреваемого слоя цилиндра в момент окончания процесса затвердевания  $X_3$ , время затвердевания  $\tau_3$  и средний перепад температур  $(T_{ср} - T_{н})$  по толщине прогреваемого слоя цилиндра при различных значениях  $L$  и  $\Delta T_{п}$ , рассчитанные по формулам (5), (6) и приведенной ниже:

$$(T_{ср} - T_{н}) = (T_o - T_{н}) \frac{(n+1)^{-1} - (n+2)^{-1} \delta}{1 - 0,5\delta}.$$

Таблица 1

Показатель	Значение показателя при $\Delta T_{п}$ , К	
	50	100
$X_3 \cdot 10^3$ , м	4,6/5,0	5,4
$\tau_3$ , с	1,10/1,17	1,22
$(T_{ср} - T_{н})$ , К	505/500	496

Примечание. 1. В числителе приведены данные для  $L \cdot 10^{-5} = 2,9$  Дж/кг, в знаменателе – для 3,3 Дж/кг. 2. При  $\Delta T_{п} = 100$  К имеем  $L \cdot 10^{-5} = 3,5$  Дж/кг.

В расчетах приняты следующие значения теплофизических параметров металла цилиндра и шва:  $\rho_{ж} = 7200$  кг/м<sup>3</sup>;  $c_{ж} = 920$  Дж/(кг·К);  $\rho_{т} = 7500$  кг/м<sup>3</sup>;  $c_o = 753$  Дж/(кг·К);  $T_o = 1753$  К;  $T_{н} = 293$  К. Показатель  $n = 1,5$ .

После затвердевания наплавленного металла количество теплоты  $Q_{ш}$ , выделяемое при охлаждении шва, определим по формуле

$$Q_{ш} = (\rho_{ж}c_{ж}\Delta T_{п} + \rho_{т}L + \rho_o'c_o'\Delta T_{охл})\pi R_{ш}^2 2\pi R_{ц}. \quad (7)$$

Здесь  $\rho_o'$  и  $c_o'$  – плотность и удельная теплоемкость металла шва в интервале температур  $\Delta T_{охл} = (T_s - T_o')$ ;

$T_o'$  – температура шва в процессе охлаждения.

С учетом (7) формулы (5) и (6) принимают следующий вид:

$$(\rho_{ж}c_{ж}\Delta T_{п} + \rho_{т}L + \rho_o'c_o'\Delta T_{охл})\pi R_{ш}^2 R_{ц}(n+1)(n+2)(2R_{ш} + X) = \rho_o c_o (T_o - T_{н}) [(n+2)R_{ш} + X] [\pi(R_{ш} + X)^2 R_{ц} - 4/3(R_{ш} + X)^3 - 2\pi R_{ш}^2 R_{ц}]; \quad (8)$$

$$\tau_{охл} = \frac{(\rho_{ж}c_{ж}\Delta T_{п} + \rho_{т}L + \rho_o'c_o'\Delta T_{охл})R_{ш}X}{1,5\lambda(T_o' - T_{н})n}, \quad (9)$$

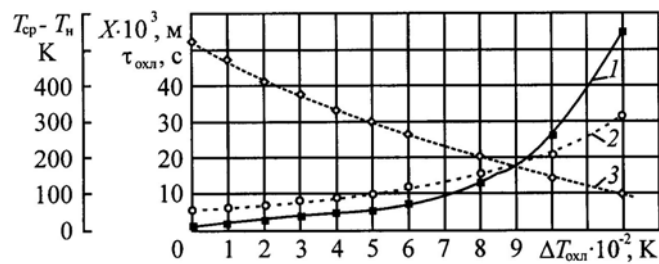
где  $\tau_{охл}$  – время охлаждения шва до температуры  $T_o'$ ;

$\rho_o$  и  $c_o$  – средняя плотность и удельная теплоемкость металла цилиндра в интервале температур  $(T_{н} - T_o')$ ;

$\lambda$  – среднее значение коэффициента теплопроводности металла цилиндра в интервале температур  $(T_{ср} - T_o')$ , изменяющееся для углеродистой стали в пределах от 65 Вт/(м·К) при температуре порядка 0 °С до 10 Вт/(м·К) вблизи температуры плавления.

Графики, приведенные на рис. 3, иллюстрируют влияние охлаждения наплавленного металла  $\Delta T_{\text{охл}} = T_s - T_o'$  на время охлаждения  $\tau_{\text{охл}}$ , глубину прогреваемого слоя цилиндра  $X$  и средний перепад температур  $T_{\text{ср}} - T_n$  по толщине прогреваемого слоя. Графики построены по формулам (8) и (9) для  $n = 1,5$ ;  $L = 3,3 \cdot 10^5$  Дж/кг;  $\Delta T_n = 50$  К.

Рис. 3. Зависимость  $\tau_{\text{охл}}$  (1),  $X$  (2) и  $T_{\text{ср}} - T_n$  (3) от  $\Delta T_{\text{охл}}$  наплавленного металла



Из представленных в табл. 1 и на

рис. 3 результатов следует, что в течение первых 50 с после наплавки металла средний перепад температур по толщине прогреваемого слоя цилиндра уменьшается от 500 до 100 К, при этом металл шва охлаждается на 1200 К.

При расчете временных напряжений в металле цилиндра (питателя) и шва необходимо выделить два этапа: затвердевание и охлаждение наплавленного металла.

В процессе затвердевания, продолжительность которого  $\sim 1$  с, металл цилиндра около шва прогревается на глубину  $\sim 5$  мм, причем средний перепад температур по толщине прогреваемого слоя достигает  $\sim 500$  К ( $500$  °С) и в дальнейшем уменьшается (табл. 1, рис. 3). Расчеты показывают, что продолжительность роста среднего перепада температур по толщине прогреваемого слоя равна продолжительности затвердевания наплавленного металла. Поэтому можно считать, что в процессе затвердевания наплавленного металла участки цилиндра возле него в среднемгреваются, а после затвердевания в среднем охлаждаются (глубина прогреваемого слоя непрерывно увеличивается в процессе охлаждения после затвердевания, но средний перепад температур по толщине прогреваемого слоя при этом непрерывно уменьшается).

Свободное  $\epsilon_{\text{св}}$  и среднее  $\epsilon_{\text{ср}}$  относительные расширения прогреваемых участков цилиндра

$$\epsilon_{\text{св}} = \beta(T - T_n); \quad \epsilon_{\text{ср}} = \beta(T^* - T_n), \quad (10)$$

где  $\beta$  — коэффициент линейного расширения;

$T^*$  — среднеинтегральная температура прогреваемого слоя цилиндра вдоль его образующей.

Действительное относительное удлинение  $\epsilon$  с учетом (10)

$$\epsilon = \epsilon_{\text{св}} - \epsilon_{\text{ср}} = \beta(T - T^*). \quad (11)$$

Найдем  $T^*$  интегрированием, используя уравнение (1):

$$T^* = \frac{\int_0^X T dr}{\int_0^X dr} = T_H + \frac{T_0 - T_H}{n+1}. \quad (12)$$

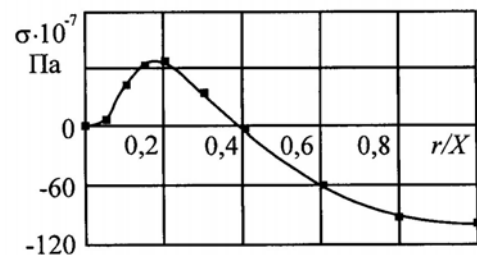
С учетом (11) и (12) получим формулу для расчета временных напряжений  $\sigma$  в прогретом слое цилиндра:

$$\sigma = \beta E(T - T^*) = \beta E(T_0 - T_H) \left[ \left(1 - \frac{r}{X}\right)^n - \frac{1}{n+1} \right]. \quad (13)$$

Здесь  $E$  – модуль упругости металла цилиндра.

На рис. 4 представлено распределение временных напряжений в прогретом слое по поверхности цилиндра вдоль его образующей для этапа затвердевания металла шва с учетом зависимости  $\beta$  и  $E$  от температуры. Для поверхностного слоя цилиндра принято  $n = 2,5$ . Необходимо отметить, что вблизи шва участки цилиндра испытывают действие напряжений растяжения порядка  $2 \cdot 10^7$  Па, а на фронте прогретого слоя – действие напряжений сжатия порядка  $100 \cdot 10^7$  Па.

Рис. 4. Распределение временных напряжений  $\sigma$  по толщине прогретого слоя наплавленного металла вдоль образующей поверхности цилиндра питателя



При переходе к охлаждению временные напряжения в прогретом слое цилиндра изменяют знак и могут быть определены по формуле

$$\sigma = \beta E(T - T^*) = \beta E(T_0 - T_H) \left[ \frac{1}{n+1} - \left(1 - \frac{r}{X}\right)^n \right]. \quad (14)$$

Переход от этапа затвердевания к этапу охлаждения сопровождается нейтрализацией напряжений (13) напряжениями (14).

Временные напряжения  $\sigma$  в металле наплавленного шва можно оценить по формуле [2]:

$$\sigma = \beta E \Delta T, \quad (15)$$

где  $\Delta T$  – изменение температуры металла шва в процессе охлаждения.

В табл. 2 приведены рассчитанные по формуле (15) временные напряжения в процессе охлаждения металла шва на величину  $\Delta T$ . Металл шва при охлаждении испытывает усадку и находится под действием напряжений растяжения. При высоких температурах он обладает высокими пластическими свойствами, поэтому при напряжениях, соответствующих пределу текучести для заданной температуры, металл «течет» и временные напряжения снижаются до значения предела текучести. По мере охлаждения пла-

стические свойства уменьшаются и временные напряжения могут достигать значений предела прочности. В этом случае в поверхностном слое цилиндра будут возникать трещины. После полного охлаждения в поверхностном слое имеют место остаточные напряжения. Для их устранения необходим отпуск.

Для исключения трещинообразования рекомендуется перед наплавкой металла на поверхность питателя предварительно его подогреть до 200...500 °С или более. Данная рекомендация основана на том факте, что предварительный подогрев снижает максимальную величину  $\Delta T$  в соотношении (10) и, соответственно, временные напряжения до значений менее предела прочности.

Таблица 2

**Временные напряжения в металле шва в процессе его охлаждения**

$\Delta T$ , К	100	200	300	400	500	600	800
$\sigma \cdot 10^{-7}$ , Па	0,3	1,0	4,0	25,5	50,2	82,7	146,0

*Выводы*

1. Разработана методика, позволяющая рассчитать время затвердевания наплавляемого металла, глубину прогретого слоя питателя, средний перепад температур по его толщине и временные напряжения в процессе охлаждения после наплавки металла.

2. Дано обоснование предварительного подогрева питателя перед наплавкой металла с целью исключить трещинообразование.

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Вейник, А.И. Теория затвердевания отливки [Текст] / А.И. Вейник. – М.: Машгиз, 1960. – 434 с.
2. Константинов, А.С. Напряжения, деформации и трещины в отливках [Текст] / А.С. Константинов, А.П. Трухов. – М.: Машиностроение, 1981. – 198 с.

Поступила 17.10.05

*Yu.M. Yurin, V.I. Malygin*

«Sevmashvtuz», Branch of Saint-Petersburg State Marine Technical University

**To Computation of Voltages in Overlaying of Feeders in Pulp-and-paper Production**

The computation technique of heat processes and voltages in overlaying metal on cylindrical surfaces of feeders in pulp-and-paper productions is developed, as well as recommendations for increasing their operation reliability.

Keywords: feeders of pulp-and-paper production, temperature, voltages, overlay, heat quantity.





*Л.В. Алексеева*

Архангельский государственный технический университет

Алексеева Людмила Васильевна родилась в 1960 г., окончила в 1986 г. Архангельский лесотехнический институт, кандидат технических наук, доцент кафедры безопасности технологических процессов и производств АГТУ. Имеет около 30 научных трудов в области лесопиления.  
Тел.: (8182) 21-61-42



### **КОЭФФИЦИЕНТ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ЛЕСОПИЛЬНОГО ПОТОКА МАЛОЙ МОЩНОСТИ НА БАЗЕ ОДНОПИЛЬНОГО ЛЕНТОЧНОПИЛЬНОГО СТАНКА**

Предложены основные методические положения по определению мощности лесопильного участка на базе однопильного ленточнопильного станка; установлены показатели, способствующие эффективной организации производства малой мощности.

*Ключевые слова:* коэффициент использования лесопильного потока, ленточнопильный станок, время распиловки, интенсивность труда, программа использования рабочего времени.

Определение требуемой мощности производства основывается на общеизвестных принципах, в частности на ее однородности и однородности производственной программы, конкретности, объективности, нормативности, достижимости определенного ее уровня, устойчивости, учете фактора времени, сбалансированности в условиях лесопильного предприятия, целостности. Анализ производительности участка лесопиления на базе однопильных ленточнопильных станков с подвижным пильным узлом, а также потоков малой мощности на их базе, проведен ранее\*. В целом годовая производительность участка по распиловке сырья варьирует от 5 до 14 тыс. м<sup>3</sup>.

Малые предприятия используют различные модели однопильных ленточнопильных станков отечественного и зарубежного производства, которые отличаются простотой исполнения, невысокими скоростями (10... 50 м/мин). Диаметры шкивов составляют порядка 630 мм, ширина используемых пил – до 90 мм. Подача или бревна, или пильной рамки механизированная, навалка и установка бревна, настройка на размер, кантовка и удаление досок проводятся преимущественно вручную. Это относится к станкам серии «Гравитон». На ряде однопильных ленточнопильных станков используют систему позиционного (координатного) управления, обеспечивающую дискретное перемещение и установку рабочих органов в заданном положении с определенной точностью. Позиционное управление ленточнопильными

---

\* Алексеева, Л.В. К определению мощности участка лесопиления на базе однопильного ленточнопильного станка [Текст] / Л.В. Алексеева // Лесн. журн. – 2002. – №5. – С.76– 80. – (Изв. высш. учеб. заведений).

ми станками осуществляют преимущественно по одной координате, определяющей толщину отпиливаемой доски или бруса, управление и контроль за перемещением рабочего органа – визуальное, с дистанционного пульта управления. При визуальном управлении процессом перемещения оператор включает механизм перемещения и оценивает по показаниям цифровой шкалы степень точности установки регулируемого органа. Системы с программным управлением имеют станки серий «Экодрев» и «Экодревпром». На станке ЛБ-100-1 предусмотрена установка на размер выпиливаемого материала вручную за счет перемещения базовой стенки относительно пильного полотна, на станках ЛБ-100-2 и ЛБ-100-3 – от пульта управления. Для прижима материала к базовой стенке на станке ЛБ-100-1 используют неприводной ролик, на станках ЛБ-100-2 и ЛБ-100-3 – приводной.

Годовая производительность однопильного ленточнопильного станка по распилу сортиментов значительно варьирует при изменении технологических, эксплуатационных и организационных факторов. Приближение расчетной производительности лесопильных потоков к фактической определяется применением усредненных нормативных коэффициентов. Производительность лесопильного потока может быть скорректирована тремя обобщенными коэффициентами (использования головного станка лесопильного потока, смены и учета среднегодовых условий работы). Следует отметить, что для предприятий, относящихся к малым производствам на базе однопильных ленточнопильных станков, такие данные отсутствуют.

Не вызывает сомнения, что доминирующим в этой группе является коэффициент использования однопильного ленточнопильного станка, который определяется временем распиловки сортиментов на головном станке; временем межторцового разрыва или временем на вспомогательные операции, не совпавшими с временем распиловки сырья; продолжительностью внецикловых потерь. В свою очередь, время распиловки зависит от суммарной длины пропилов и скорости подачи станка. Вспомогательное время при распиловке на ленточнопильном станке включает: время подготовки (навалка, установка и заправка); время поворота; время установки размера и подачи сортимента или пильного узла; время возврата предмета обработки или пильного узла; время удаления пилопродукции.

Остается не оцененной интенсивность труда на малых лесопильных предприятиях в психофизиологическом аспекте. В общем виде годовой фонд времени определяется продолжительностью смены, сменностью и количеством рабочих дней. Методически при расчетах он также корректируется коэффициентом использования смены, который учитывает время на обслуживание рабочего места и отдых. Поскольку малые производства, ориентированные на выпуск пиломатериалов, достаточно компактны и интегрированы операционно, коэффициент влияния межцеховых связей может быть установлен порядка 0,94, допустимое значение коэффициента использования смены – 0,88, поправочный коэффициент на среднегодовые условия – не менее 0,90.

Учитывая сложность применения известных методик в части определения и назначения величины коэффициента использования головного станка лесопильного потока, многовариантности толкования условий при определении его значения, отсутствия или недостоверности данных применительно к однопильным ленточнопильным станкам, а также ввиду разнообразия их характеристик и исполнения, этот вопрос будет рассмотрен отдельно.

Цель нашей работы – уточнение коэффициента использования однопильного ленточнопильного станка.

Для определения коэффициента использования потока на базе однопильного ленточнопильного станка рассчитывали вспомогательное время и собственно время распиловки сортимента. Разработанная система мониторинга была реализована на примере предприятия малого лесопиления с одним ленточнопильным станком. Общее время работы станка определяли с момента подачи сигнала о начале рабочей смены, время резания – сочетанием сигналов от датчиков. Предусмотрено введение дополнительных датчиков для передачи соответствующей информации на другие участки и получения полной картины работы цеха. Информация о работе и остановке устройств собирается в персональном компьютере, где обрабатывается и в конце смены выдается в виде графиков или отчетов, которые фиксируются на жестком диске или выдаются на печать. В качестве устройства сопряжения используется стандартный протокол обмена.

Длина бревна, м	Коэффициент использования потока при диаметре бревна, см							
	14	16...18	20...22	24	26	28...32	34...38	40
4,0	0,255	0,265	0,295	0,304	0,326	0,336	0,375	0,412
5,5	0,320	0,331	0,365	0,375	0,399	0,410	0,452	0,490
7,0	0,375	0,386	0,423	0,423	0,458	0,469	0,512	0,550

Программа использования рабочего времени ленточнопильного станка выполняет функцию учета простоев оборудования участка формирования сечений пиломатериалов. Результаты обрабатывали с учетом следующих условий. В качестве исходных принимают данные, относящиеся к сырью, вырабатываемым размерам пиломатериалов определенного назначения, режимам работы, характеристикам оборудования: сырье – хвойное; диапазон диаметров – 14...40 см в вершинном торце, градация изменения диаметров – 2 см; диапазон изменения длин пиловочника – 4...7 м, градация изменения длин – 0,3 м (начиная с 4,2 м). Круговая брусово-развальная схема раскроя круглых лесоматериалов с последующим раскромом горбылей предполагает поочередное отделение тонких досок с каждой стороны сортимента, находящейся в зоне резания. Предмет обработки при этом последовательно кантуют на 90°. Число тонких досок задается поставом и определяется параметрами сортиментов. Получающийся брус распиливают на толстые и тонкие доски. Способ ориентации – по двум образующим. Приемы в целом обеспечивают более полное использование качественных зон

сортимента, получение центральных обрезных досок; одна часть тонких досок – также обрезные, другая – полуобрезные с одной пропиленной кромкой. Готовая продукция – пиломатериалы стандартных размеров.

Для определения коэффициента использования потока на базе однопильного ленточнопильного станка рассчитывали вспомогательное время и собственно время распиловки бревна. Результаты приведены в таблице.

Полученные результаты показывают, что значение коэффициента использования лесопильного потока на базе головного однопильного ленточнопильного станка невелико и составляет от 25,5 до 55,0 %. С учетом логарифмического нормального распределения бревен по диаметрам для средних диаметра (18 см) и длины (5,5 м) его величина не превышает 30,0 %. Более 70 % рабочего времени на участке лесопиления малой мощности, оснащенном одним однопильным ленточнопильным станком, затрачивается на подготовительные и вспомогательные операции, в том числе и на транспортные. Некоторому повышению коэффициента использования лесопильного потока способствуют мероприятия по совершенствованию технологии на участках подготовки пиловочника к распиловке и его раскроя, механизации и автоматизации подготовительных операций и распиловки, обоснованное назначение режимных и конструкционных параметров применяемого оборудования.

Преобладающее относительное значение коэффициента использования лесопильного потока с учетом размерных характеристик перерабатываемого пиловочника составляет порядка 0,4. Это определяется спецификой малого лесопиления, использующего как достаточно трудоемкие технологии переработки сырья, так и невысокий технический уровень применяемого оборудования. В этой связи немаловажно соблюдать рациональные режимные параметры работы оборудования и технологические требования к выполнению операций подготовки и раскроя круглых лесоматериалов.

Увеличению коэффициента использования лесопильного потока способствует повышение непрерывности процесса распиловки. Однако переработка только крупномерных длинных сортиментов, как следует из результатов выполненного анализа, недопустима. Наиболее приемлемым следует считать групповой метод распиловки круглых лесоматериалов определенного диаметра и групп длин.

Повышение коэффициента использования потока может быть достигнуто при рациональной организации самого процесса распиловки за счет технологических средств с учетом пооперационного формообразования пилопродукции. Определяющим следует считать число операций, приходящихся на один однопильный ленточнопильный станок.

Поступила 18.12.06

---

---

**Utilization Factor of Low-capacity Timber Flow Based on Single-blade Band-saw Machine**

The main methodical provisions on determination of sawing area efficiency based on single-blade band-saw machine are proposed; the factors contributing to the efficient organization of low-capacity production are set.

Keywords: utilization factor of low-capacity timber flow, band-saw machine, sawing time, labor intensity, programme of working time utilization.

---

---

*С.П. Агеев*

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

Агеев Сергей Петрович родился в 1957 г., окончил в 1979 г. Архангельский лесотехнический институт, кандидат технических наук, доцент кафедры автоматизированных систем технической подготовки производства филиала «Севмашвтуз» СПбГМТУ. Имеет более 60 научных работ в области электроснабжения промышленных предприятий.  
Тел.: (8184) 20-03-57



### ЭНЕРГЕТИЧЕСКАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА ЭЛЕКТРОПРИВОДА МЕХАНИЗМА РЕЗАНИЯ ЛЕСОПИЛЬНОЙ РАМЫ\*

Построена и проанализирована энергетическая характеристика электропривода лесопильной рамы, определены технические факторы, влияющие на ее параметры.

*Ключевые слова:* потребляемая мощность, потери энергии, лесопильная рама, производительность, коэффициенты полезного действия и потерь.

Для того, чтобы найти функциональную зависимость между мощностью, потребляемой приводным двигателем из сети, и производительностью лесопильной рамы, необходимо учесть потери мощности в электроприводе, т.е. в передаточном механизме и электродвигателе. Привод механизма резания осуществляется от асинхронного двигателя (АД) с фазовым ротором через клиноременную передачу.

Коэффициенты потерь в механизме передачи (МП) можно определить по номинальному коэффициенту полезного действия (КПД)  $\eta_{\text{мп.ном}}$  аналогично уравнению (5) в [1]:

$$\eta_{\text{мп.ном}} = \frac{1}{1 + a_{\text{мп}} + b_{\text{мп}}},$$

откуда

$$a_{\text{мп}} + b_{\text{мп}} = \frac{1 - \eta_{\text{мп.ном}}}{\eta_{\text{мп.ном}}}.$$

Зная соотношение между коэффициентами потерь в механизме передачи

$$\lambda_{\text{мп}} = \frac{a_{\text{мп}}}{b_{\text{мп}}},$$

можно найти значение каждого из них. Для простых кинематических схем принимают  $\lambda_{\text{мп}} = 1$ , поэтому

$$a_{\text{мп}} = b_{\text{мп}} = \frac{1 - \eta_{\text{мп.ном}}}{2\eta_{\text{мп.ном}}}.$$

\* Настоящая статья является продолжением [1].

Для определения коэффициентов потерь в АД также необходимо знать его  $\eta_{д.ном}$  и соотношение потерь:

$$\lambda_{д} = \frac{\Delta P_{д.пост}}{\Delta P_{д.пер.ном}} = \frac{a_{д}}{b_{д}},$$

где  $\Delta P_{д.пост}$  – постоянные потери мощности в двигателе;

$\Delta P_{д.пер.ном}$  – переменные потери мощности при номинальной нагрузке.

Значения  $\lambda_{д}$  для АД лежат в пределах 0,5...2,0, их определяют по специальным кривым [3]. Тогда

$$a_{д} + b_{д} = \frac{1 - \eta_{д.ном}}{\eta_{д.ном}}.$$

Коэффициенты суммарных потерь в электроприводе определяют из выражения

$$\begin{aligned} 7 \quad \frac{1}{\eta_{д.ном} \eta_{мп.ном}} &= (1 + b_{д} + a_{д})(1 + b_{мп} + a_{мп}) = \\ &= (1 + b_{д})(1 + b_{мп}) + (1 + b_{д})a_{мп} + (1 + b_{мп} + a_{мп})a_{д} = 1 + b_{пр} + a_{пр}, \end{aligned}$$

где  $b_{пр}$  – коэффициент переменных потерь в электроприводе,  $b_{пр} = (1 + b_{д})(1 + b_{мп})$ ;

$a_{пр}$  – коэффициент постоянных потерь в электроприводе,

$$a_{пр} = (1 + b_{д})a_{мп} + (1 + b_{мп} + a_{мп})a_{д}.$$

При этом следует учесть, что номинальной нагрузкой для МП будет сумма номинальной мощности механизма резания  $P_{мр.ном}$  и мощности холостого хода  $P_{хх}$ . Для определения мощности холостого хода воспользуемся приближенной формулой

$$P_{хх} = G_{п} v_{рез},$$

где  $G_{п}$  – вес пильной рамки в сборе, Н;

$v_{рез}$  – средняя скорость резания, м/с.

Тогда

$$P_{мр.ном} + \alpha P_{хх} = P_{п.ном} (1 + b_{ш} + a_{ш}) + \alpha P_{хх},$$

где  $\alpha$  – коэффициент, учитывающий возрастание мощности холостого хода при нагрузке [2],  $\alpha = 1,1$ ;

$P_{п.ном}$  – мощность, подводимая к пильной рамке при номинальной нагрузке.

Номинальная мощность на валу двигателя

$$P_{мп.ном} = \frac{P_{мр.ном} + \alpha P_{хх}}{\eta_{мп.ном}} = (P_{мр.ном} + \alpha P_{хх})(1 + b_{мп} + a_{мп}).$$

Определим мощность, потребляемую двигателем из сети при номинальной нагрузке ( $A = A_{ном}$ ):

$$P_{д.ном} = \frac{P_{мп.ном}}{\eta_{д.ном}} = \frac{P_{мр.ном} + \alpha P_{хх}}{\eta_{д.ном} \eta_{мп.ном}} = (P_{мр.ном} + \alpha P_{хх})(1 + b_{пр} + a_{пр}).$$



При произвольной нагрузке, предполагая, что переменные потери мощности в АД изменяются пропорционально первой степени нагрузки, получим

$$P_d = P_{\text{мр.ном}} [\gamma_{\text{мр}} (1 + b_{\text{пр}}) + a_{\text{пр}}] + \alpha P_{\text{хх}} (1 + b_{\text{пр}} + a_{\text{пр}}), \quad (1)$$

где  $\gamma_{\text{мр}}$  – технологический коэффициент нагрузки механизма резания,

$$\gamma_{\text{мр}} = \frac{P_{\text{мр}}}{P_{\text{мр.ном}}}.$$

Из уравнения (1) можно получить зависимость мощности, потребляемой АД из сети, от производительности лесопильной рамы, т.е. уравнение энергетической характеристики  $P_d = f(A)$  электропривода механизма резания лесопильной рамы:

$$\begin{aligned} P_d &= \gamma_{\text{мр}} P_{\text{мр.ном}} (1 + b_{\text{пр}}) + a_{\text{пр}} P_{\text{мр.ном}} + \alpha P_{\text{хх}} (1 + b_{\text{пр}} + a_{\text{пр}}) = \\ &= P_{\text{мр}} (1 + b_{\text{пр}}) + a_{\text{пр}} P_{\text{мр.ном}} + \alpha P_{\text{хх}} (1 + b_{\text{пр}} + a_{\text{пр}}). \end{aligned}$$

С учетом энергетической характеристики механизма резания [1]:

$$\begin{aligned} P_d &= (1 + b_{\text{пр}})(c_{\text{мр}} \sqrt{A} + \Delta P_{\text{мр.пост}}) + a_{\text{пр}} P_{\text{мр.ном}} + \alpha P_{\text{хх}} (1 + b_{\text{пр}} + a_{\text{пр}}) = \\ &= (1 + b_{\text{пр}})c_{\text{мр}} \sqrt{A} + (1 + b_{\text{пр}})\Delta P_{\text{мр.пост}} + a_{\text{пр}} P_{\text{мр.ном}} + \alpha P_{\text{хх}} (1 + b_{\text{пр}} + a_{\text{пр}}) \end{aligned}$$

или окончательно

$$P_d = c\sqrt{A} + P_{\text{пост}}, \quad (2)$$

где  $c$  – коэффициент, характеризующий энергоемкость лесопильной рамы,  $\text{Дж/м}^{1,5} \text{с}^{0,5}$ ;

$A$  – производительность лесопильной рамы,  $\text{м}^3/\text{с}$ ;

$P_{\text{пост}}$  – постоянная составляющая потребляемой мощности, характеризующая непроизводительный расход электроэнергии, Вт.

Подставляя в (2) выражения для всех выведенных ранее показателей потерь энергии в узлах трения механизма резания и в элементах электропривода, получим

$$\begin{aligned} P_d &= (1 + b_{\text{мп}})(1 + b_d)(1 + b_{\text{ш}})c_{\text{п}} \sqrt{A} + (1 + b_{\text{мп}})(1 + b_d)P_{\text{п.ном}} [a_{\text{п}}(1 + b_{\text{ш}}) + a_{\text{ш}}] + \\ &+ P_{\text{мр.ном}} [(1 + b_d)a_{\text{мп}} + (1 + b_{\text{мп}} + a_{\text{мп}})a_d] + \alpha P_{\text{хх}} (1 + b_{\text{мп}} + a_{\text{мп}})(1 + b_d + a_d). \quad (3) \end{aligned}$$

Учитывая, что фактически переменные потери мощности в электродвигателе пропорциональны квадрату изменения нагрузки, определим погрешности, получаемые при расчете электропотребления из-за принятого выше допущения о пропорциональности этих потерь первой степени нагрузки. Мощность, потребляемая двигателем из сети при номинальной нагрузке и в предположении пропорциональности переменных потерь первой степени нагрузки,

$$P_{\text{д.ном}} = \frac{P_{\text{мп.ном}}}{\eta_{\text{д.ном}}} = P_{\text{мп.ном}} (1 + b_d + a_d),$$

а при произвольной нагрузке можно определить по формуле:

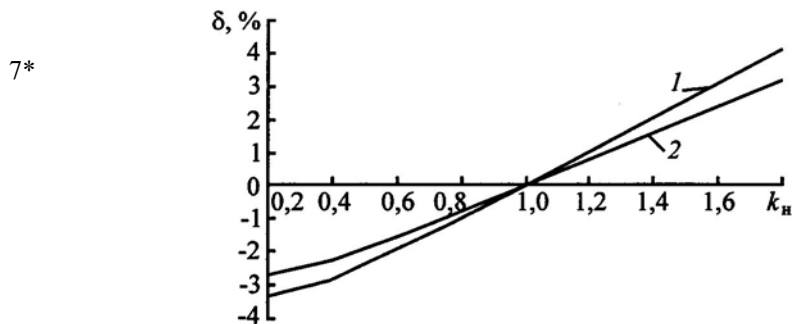
$$P_d = P_{\text{мп.ном}} [k_n (1 + b_d) + a_d] = P_{\text{мп.ном}} k_n + k_n b_d P_{\text{мп.ном}} + a_d P_{\text{мп.ном}} = \\ = P_{\text{мп}} + \Delta P_{\text{д.пер}} + \Delta P_{\text{д.пост}}, \quad (4)$$

где  $k_n$  – коэффициент нагрузки двигателя,  $k_n = \frac{P_{\text{мп}}}{P_{\text{мп.ном}}}$ ;

$P_{\text{мп}}$  – фактическая мощность на валу двигателя.

При переменных потерях в двигателе, пропорциональных квадрату изменения нагрузки, выражение (4) запишем в следующем виде:

(5)



$$P'_d = P_{\text{мп}} + \Delta P'_{\text{д.пер}} + \Delta P_{\text{д.пост}} = k_n P_{\text{мп.ном}} + k_n^2 b_d P_{\text{мп.ном}} + a_d P_{\text{мп.ном}} = \\ = P_{\text{мп.ном}} [k_n (1 + k_n b_d) + a_d].$$

Относительная погрешность для мощности, потребляемой из сети, в зависимости от коэффициента нагрузки двигателя: 1 –  $a_{д1} = b_{д1} = 0,056$  (мощность двигателя 90 кВт); 2 –  $a_{д2} = b_{д2} = 0,043$  (мощность 110 кВт)

Определим погрешность приближенной зависимости (4) по сравнению с формулой (5):

$$\delta = \frac{P'_d - P_d}{P_d} 100 = \frac{k_n (1 + k_n b_d) - k_n (1 + b_d)}{k_n (1 + b_d) a_d} 100. \quad (6)$$

Пример. Определим относительную погрешность  $\delta$  для двигателей, осуществляющих привод механизма резания двухэтажных лесопильных рам 2P75-1 и 2P75-2. Оба двигателя серии ВАОК – асинхронные с контактными кольцами, их номинальные мощности и КПД соответственно равны 90 кВт и 0,90; 110 кВт и 0,92. Лесопильная рама 2P75-1 первого ряда предназначена для распиловки (с брусковкой) бревен на двухкантные брусья, необрезные доски и горбыли, а также бревен вразвал. Лесопильная рама 2P75-2 второго ряда предназначена для распиловки брусьев толщиной до 400 мм на доски.

Из приведенных на рисунке кривых зависимости  $\delta = f(k_n)$  видно, что чем меньше номинальный КПД двигателя (имеется ввиду соблюдение условия  $a_d = b_d$ ), тем больше по абсолютному значению предельная величина относительной погрешности  $\delta$ . Погрешность в достаточно широком диапазоне изменения коэффициента нагрузки двигателя  $k_n$  лежит в пределах  $\pm (2,5 \dots 3,1) \%$ , т.е. упрощение, принятое при выводе формулы (4) для энергетической характеристики электропривода механизма резания, незначительно влияет на точность расчета потребляемой мощности. Наименьшая погрешность получена при нагрузках порядка 0,8...1,0 от номинальной, т.е. при чаще всего встречающейся на практике нагрузке двигателей.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Агеев, С.П. Энергетическая характеристика механизма резания лесопильной рамы [Текст] / С.П. Агеев // Лесн. журн. – 2009. – № 1. – С. 95–100. – (Изв. высш. учеб. заведений).
2. Кучеров, И.К. Станки и инструменты лесопильно-деревообрабатывающего производства [Текст] / И.К. Кучеров, В.К. Пашков. – М.: Лесн. пром-сть, 1970. – 560 с.
3. Экономия энергоресурсов в лесной и деревообрабатывающей промышленности [Текст] / М.В. Алексин В [и др.] – М.: Лесн. пром-сть, 1970. – 560 с.

Поступила 08.06.06

*S.P. Ageev*

«Sevmashvtuz», Branch of Saint-Petersburg State Marine Technical University

#### **Energy Characteristic of Electric Drive for Cutting Mechanism of Saw Frame**

Energy characteristic of saw frame electric drive is built and analyzed. Technical factors influencing on its parameters are determined.

Keywords: power consumption, energy losses, saw frame, productivity, coefficients of efficiency and losses.

**А.Е. Алексеев<sup>1</sup>, О.И. Бедердинова<sup>2</sup>**

<sup>1</sup>Архангельский государственный технический университет

<sup>2</sup>Филиал «Севмашвтуз» С.-Петербургского государственного морского технического университета

Алексеев Александр Евгеньевич родился в 1958 г., окончил в 1980 г. Архангельский лесотехнический институт, доктор технических наук, профессор кафедры технологии конструкционных материалов и машиностроения Архангельского государственного технического университета. Имеет более 180 научных трудов в области лесопиления. Тел.: (8182) 21-61-63



Бедердинова Оксана Ивановна родилась в 1968 г., окончила в 1991 г. Ленинградский технологический институт, кандидат технических наук, доцент кафедры автоматизированных систем технической подготовки производства филиала «Севмашвтуз» С.-Петербургского государственного морского технического университета. Имеет 20 печатных работ в области лесопиления.

E-mail: liuger@atnet.ru.



## **МАТЕМАТИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ ОПРЕДЕЛЕНИЯ ПРОИЗВОДИТЕЛЬНОСТИ ЛЕСОПИЛЬНОГО ПОТОКА НА БАЗЕ ОДНОПИЛЬНОГО КРУГЛОПИЛЬНОГО СТАНКА**

Предложены математические модели определения коэффициента использования и годовой производительности лесопильного потока на базе однопильного круглопильного станка.

*Ключевые слова:* математическая модель, производительность, лесопильный поток, круглопильный станок.

Специфика производственных процессов на различных лесопильных заводах, различный инженерный подход к учету потерь рабочего времени и расчет производственной мощности лесопильных потоков на основе средне-статистических характеристик и нормативов потерь [1] приводят к ошибкам при определении фактической производительности технологического оборудования линий и, как следствие, производственной мощности предприятия в целом. Ошибки могут составлять несколько процентов.

При возникновении большого количества малых предприятий по выпуску пиломатериала с использованием индивидуального раскроя сырья на пиломатериалы и появлении нового технологического оборудования необходимы методики расчета производственных процессов лесопиления, использование которых устанавливает и совершенствует нормативы для конкретных технологий в соответствии с условиями и спецификой конкретного предприятия.

Отсюда вытекает необходимость в достоверном определении основных параметров производственного процесса на основе его функционирования во времени.

После проведенного анализа и исследований установлено, что коэффициент использования однопильного круглопильного станка для моделей 1, 2 можно определить по формуле (1):

$$K_i(d, L) = 0,041 + 0,087L_i - 0,004L_i^2 + 0,0025d_i - 0,00001d_i^2, \quad (1)$$

где  $d_i$  – диаметр  $i$ -го бревна, см;

$L_i$  – длина бревна  $i$ -го диаметра, м.

Максимальная относительная ошибка первой модели – 2,1 %.

Коэффициент использования потока при переходе от диаметра 14 см к диаметру 40 см и изменении длин бревен в диапазоне 4...7 м увеличивается от 0,36 до 0,54. При фиксированных длинах бревен и увеличении диаметров коэффициент использования лесопильного потока изменяется незначительно, в среднем на 0,02.

Исходя из вышеизложенного выявлено, что значение коэффициента использования головного станка не превышает 50 %, что соответствует распиловке длинномерных крупномерных бревен, т. е. более 50 % рабочего времени в лесопильном потоке на базе однопильных круглопильных станков уходит на подготовительные, вспомогательные и транспортные операции.

Годовую производительность лесопильного потока на базе однопильного круглопильного станка  $\Pi_{\Gamma}^{к.с}$  определяют по формуле

$$\Pi_{\Gamma}^{к.с} = \frac{UT_c K_i b K_{\Gamma}}{L_i [8,351 \exp(0,022d_i)]} (0,041 + 0,087L_i - 0,004L_i^2 + 0,0025d_i - 0,00001d_i^2) \times \\ \times (-4,4 \cdot 10^{-3} - 1,5 \cdot 10^{-3} d_i + 5,8 \cdot 10^{-6} d_i^2) + (2,7 \cdot 10^{-3} + 0,2 \cdot 10^{-3} d_i + 9,4 \cdot 10^{-5} d_i^2) L_i, \quad (2)$$

где  $U$  – скорость подачи станка, м/мин;

$T_c$  – продолжительность смены, мин;

$K_i$  – коэффициент использования смены;

$b$  – количество смен работы в году, шт.;

$K_{\Gamma}$  – поправочный коэффициент на среднегодовые условия работы лесопильного цеха.

Максимальная относительная ошибка второй модели – 1,1 %.

Скорость подачи, м/мин	Годовая производительность, тыс. м <sup>3</sup> /год, лесопильного потока при длине, м		
	4,0	5,5	7,0
10	1,11...5,45	1,45...6,89	1,73...7,86
20	2,23...11,49	2,91...13,79	3,47...15,73
30	3,35...17,24	4,36...20,69	5,21...23,60

Во всем диапазоне характеристик круглых лесоматериалов при переходе скорости подачи от 10 до 30 м/мин и диаметра бревна от 14 до 40 см годовая производительность изменяется от 1,1 до 23,6 тыс. м<sup>3</sup>/год (см. таблицу).

Производительность однопильного круглопильного станка при распиловке разных диаметров и длин круглых лесоматериалов определяли по модели 2 с учетом распределений размерно-качественного состава пиловочного сырья, характерного для конкретного лесопильного предприятия или региона. Эта модель может быть расширена другими факторами.

Полученные нами результаты регламентируются спецификой предприятий малой мощности, основанной на использовании достаточно трудоемких технологий переработки сырья и низкоэффективного применяемого оборудования. Повышение коэффициента использования потока может быть достигнуто за счет рациональной организации технологического процесса раскря пиловочного сырья путем сокращения числа операций, приходящихся на один однопильный круглопильный станок.

Предложенная модель определения производительности однопильного круглопильного станка может быть использована при планировании или модернизации лесопильных цехов.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Инструкция по расчету производственных мощностей лесопильных цехов, потоков и установок [Текст] – 2-е изд. – Архангельск: ЦНИИМОД, 1981. – 40 с.
2. Шимкевич, Ю.Б. Справочник по лесопилению [Текст] / Ю.Б. Шимкевич. – СПб.: ПРОФИ-ИНФОРМ, 2005. – 200 с.

Поступила 17.11.06

*A.E. Alekseev<sup>1</sup>, O.I. Bederdinova<sup>2</sup>*

<sup>1</sup> Arkhangelsk State Technical University

<sup>2</sup> Branch of Saint-Petersburg State Marine Technical University «Sevmashvtuz»

#### **Mathematical Model of Determining Productivity of Timber Flow Based on Single-blade Radial Saw Machine**

Mathematical models of determining operating factor and annual productivity of timber flow based on the radial saw machine are suggested.

Keywords: mathematical model, productivity, timber flow, radial saw machine.

---



## ХИМИЧЕСКАЯ ПЕРЕРАБОТКА ДРЕВЕСИНЫ

УДК 676.017

**В.И. Комаров, Е.С. Носкова, Е.В. Дьякова**

Архангельский государственный технический университет

Комаров Валерий Иванович родился в 1946 г., окончил в 1969 г. Ленинградскую лесотехническую академию, доктор технических наук, профессор, заведующий кафедрой технологии целлюлозно-бумажного производства Архангельского государственного технического университета, заслуженный деятель науки РФ, почетный работник высшего профессионального образования РФ, член международного научного общества EUROMESCH. Имеет более 400 печатных работ в области исследования свойств деформативности и прочности целлюлозно-бумажных материалов.  
Тел.: (8182) 21-61-82



Носкова Елена Сергеевна родилась в 1977 г., окончила в 2005 г. Архангельский государственный технический университет, стажер-исследователь кафедры технологии целлюлозно-бумажного производства. Имеет около 10 печатных работ в области исследования свойств деформативности и прочности бумаги и картона.  
Тел.: (8182) 65-00-92



Дьякова Елена Валентиновна родилась в 1977 г., окончила в 1999 г. Архангельский государственный технический университет, кандидат технических наук, доцент кафедры технологии целлюлозно-бумажного производства. Имеет более 20 печатных работ в области исследования свойств полуфабрикатов для производства тарного картона.  
Тел.: (8182) 65-00-92

**ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ТЕОРЕТИЧЕСКИХ АСПЕКТОВ  
НЕЛИНЕЙНОЙ МЕХАНИКИ РАЗРУШЕНИЯ ДЛЯ АНАЛИЗА  
ВЯЗКОУПРУГОГО ПОВЕДЕНИЯ СТРУКТУРЫ БУМАГИ  
И КАРТОНА ПРИ ПРИЛОЖЕНИИ РАСТЯГИВАЮЩЕЙ НАГРУЗКИ**

Разработана методика получения единой диаграммы механического состояния целлюлозно-бумажных материалов; на примере бумаги для гофрирования показано, что разрушение происходит преимущественно по смешанному механизму, т.е. подтверждена необходимость использования двух критериев разрушения (хрупкого и вязкого).

*Ключевые слова:* механика разрушения, трещиностойкость, двухкритериальная диаграмма механического состояния, хрупкий, вязкий, флютинг.

Волокнистые целлюлозно-бумажные материалы относятся к капиллярно-пористым вязкоупругим телам. В структуре подобных материалов трещины или трещиноподобные дефекты либо присутствуют изначально и являются следствием технологии их получения, либо возникают в процессах переработки или потребления. Для изучения влияния трещиноподобных дефектов (как на микро-, так и на макроуровне) с точки зрения целостности различных материалов используют положения механики разрушения [7].

Теоретические подходы, реализуемые в механике разрушения при оценке качества бумаги и картона, в настоящее время используются недостаточно.

Инициирование и развитие трещин в структуре бумаги или картона под воздействием внешних полей напряжений различного характера рассматривают в качестве первоочередных явлений, вызывающих разрушение этих материалов и во многом обуславливающих эффективность технологий их получения и переработки, а также потребительские свойства готовой продукции [2, 4].

В основе механики разрушения лежат модели разрушения твердых тел, которые можно условно разбить на две группы. Первая связана с исследованием прочности дефектных тел (с трещинами) и основана на понятиях и методах линейной и нелинейной механики разрушения. К ней относятся однофазные модели, в которых элемент среды при разрушении сразу переходит из сплошного состояния в разрушенное. Наиболее известна из этой группы модель Гриффита – Ирвина. Вторая группа связана с поиском объяснений временной зависимости прочности как путем учета молекулярных процессов (физики прочности), так и за счет развития феноменологических теорий (реологии разрушения). К этой группе относятся более сложные двухфазные модели, согласно которым разрушение элемента структуры состоит из двух последовательных фаз: перехода элемента в некоторое промежуточное состояние и окончательное его разрушение.

При анализе условий распространения имеющихся в твердом теле дефектов в механике трещин обычно используют следующие основные подходы: макромеханический, или феноменологический, базирующийся на представлениях механики сплошной среды; микромеханический, учитывающий реальные физические и химические процессы, протекающие в материалах на атомном, молекулярном, надмолекулярном или фазовом уровнях. Одна из главных задач развития теории прочности – объединение этих подходов [1].

Линейная механика разрушения, или механика развития магистральных трещин, рассматривает и описывает хрупкое разрушение, происходящее в результате роста трещины при отсутствии заметных пластических деформаций у ее вершины. При этом закономерности поведения твердого тела с трещиной могут быть проанализированы с помощью коэффициентов интенсивности напряжений.

Модели нелинейной механики разрушения предполагают наличие в структуре материала достаточно развитой пластической зоны перед вершиной трещины. Для обычных сплошных тел «критический» линейный размер пластической зоны у вершины трещины составляет порядка 20 % ее исходной длины. Кроме того, существует некоторая промежуточная область, где линейную и нелинейную механику разрушения можно применять с той или иной степенью приближения.

Использование и развитие основных подходов и критериев линейной и нелинейной механики разрушения применительно к волокнистым целлюлозно-бумажным материалам требует учета того, что данные материалы,



как было отмечено выше, являются пористыми, полидискретными телами и проявляют преимущественно вязкоупругий характер разрушения.

Одно из важнейших свойств, характеризующих устойчивость материала к инициированию и росту трещин как случайно образующихся, так и специально нанесенных – трещиностойкость [5, 3].

С начала 90-х гг. прошлого века трещиностойкость бумаги и картона оценивают в основном с использованием инвариантного интеграла ( $J$ -интеграла), являющегося одним из энергетических критериев роста трещины в нелинейно-упругой области [1, 10]. Адаптированная методика испытаний образцов с искусственно инициированными дефектами (трещинами) и расчета  $J$ -интеграла регламентирована стандартом SCAN-P77:95 [11].

Вместе с тем, имеющиеся данные и учет особенностей структуры и механического состояния бумаги и картона при докритических нагрузках свидетельствуют, что использование только одного критерия разрушения недостаточно [8]. Основанием для данного заключения является ярко выраженная анизотропия структуры бумаги и картона, обусловленная различной степенью ориентации волокон, и вариация композиционного состава этих материалов. Вследствие этого характер разрушения может изменяться от хрупкого к вязкому, но в большинстве случаев остается переходным (квазихрупким)\*. В связи с этим возникает необходимость рассмотрения изменений структуры волокнистого целлюлозно-бумажного материала по двум критериям с непрерывным переходом из одного в другой, т.е. определения соотношений энергетических затрат на обратимые и необратимые явления деформирования.

В нелинейной механике разрушения применительно к традиционным материалам (металлы, полимеры и др.) хрупкое и вязкое разрушение предложено характеризовать единой диаграммой механического состояния. Ее строят на основе дискретного перехода от одного состояния к другому, но в то же время допускается и непрерывный переход. Процесс деформирования структуры материала в этом случае представляется либо соответствующей зависимостью, либо точкой, отражающей интенсивность напряженного состояния в пространстве напряжений.

---

\*Материал называют идеально хрупким, если при достижении критических условий его элементы, прилегающие к поверхностям трещины, сразу переходят из сплошного состояния в разрушенное. Материал называют нехрупким (вязким), если при его нагружении разрушение элементов, прилегающих к поверхностям трещины, происходит в два этапа. Вначале (при нагрузках, меньше критических) элементы материала переходят из сплошного в некоторое промежуточное состояние, характеризующееся локальным нарушением сплошности (например вследствие множественного растрескивания матрицы и отслаивания ее от наполнителя в волокнистых композиционных материалах). На втором этапе элементы материала при достижении критических условий переходят из промежуточного в полностью разрушенное состояние.

Аналогичный двухкритериальный подход используют для описания состояний материалов ограниченных размеров с трещинами, находящимися под нагрузкой. При этом хрупкое состояние тела с трещиной рассматривают как предельное при достижении критической величины коэффициента интенсивности напряжений  $K_{Ic}$ . Вязкое состояние тела без трещины наступает, когда разрушающее напряжение  $\sigma$  (или параметр нагрузки  $P$ ) также достигает предельной величины, равной пределу прочности  $\sigma_p$  [8].

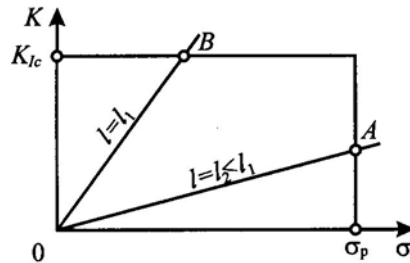


Рис. 1. Двухкритериальная диаграмма механического состояния тела с трещиной

Приведенная на рис. 1 диаграмма иллюстрирует два крайних случая. По оси абсцисс откладывают параметр нагрузки (или номинальное напряжение в полном сечении), по оси ординат – коэффициент интенсивности напряжений  $K$ .

Если выполняется условие хрупкого разрушения, то справедливо уравнение

$$K(\sigma, l)/K_{Ic} = 1, \quad (1)$$

где  $l$  – длина трещины.

Несущая способность образца, определяемая разрушающим напряжением, в данном случае невысока, а пластическая зона в вершине трещины имеет малые размеры.

При уменьшении длины трещины наблюдается рост разрушающего напряжения и увеличение размера пластической зоны. В случае, когда  $l = 0$ , пластическая зона охватывает сечение образца целиком, и разрушение произойдет в условиях общей текучести при напряжении, равном пределу прочности  $\sigma_p$ . Представим критерий разрушения следующим уравнением:

$$\sigma(l)/\sigma_p = 1. \quad (2)$$

Предельная поверхность на диаграмме представляет границу прямоугольника (рис. 1). Если напряженное состояние в образце таково, что характеризующая его точка  $(\sigma, K)$  оказывается внутри построенного прямоугольника, то разрушение не происходит. Попадание на предельную поверхность соответствует предельно равновесному состоянию [6].

Рост  $K$  с увеличением внешней нагрузки при различных длинах трещины ( $l = \text{const}$ ) изображен на рис. 1 лучами, выходящими из начала координат. Угловой коэффициент этих лучей возрастает при увеличении длины трещины  $l$ . При больших длинах трещины линии нагрузки пересекают горизонтальную линию  $K_{Ic}B$  прямоугольника, и разрушение происходит как у хрупких материалов; при малых длинах трещины точка пересечения попадает на вертикальную линию  $\sigma_p A$ , и разрушение становится вязким, происходящим в условиях общей текучести.

В реальных материалах всегда присутствуют смешанные виды разрушения, поэтому предельную поверхность изображают сглаженной кривой (рис. 2).

Следует отметить, что разработка многих теоретических аспектов нелинейной механики разрушения даже применительно к сплошным телам, например металлам и композитам, до настоящего времени не завершена и требуется проведение дальнейших исследований. Еще в большей степени это касается волокнистых целлюлозно-бумажных материалов. Данных об использовании двухкритериальных диаграмм механического поведения бумаги и картона для теоретического анализа их вязкоупругого состояния не обнаружено. Также отсутствуют сведения и о прикладном значении этой методики.

Таким образом, проведение экспериментальных исследований и рассмотрение единых диаграмм механического состояния применительно, прежде всего, к тароупаковочным видам бумаги и картона позволят, с нашей точки зрения, определить условия перехода от хрупкого к вязкому разрушению при различных уровнях нагрузки и в зависимости от других факторов.

В качестве примера рассмотрим двухкритериальные диаграммы механического состояния, полученные для образцов флютинга массой  $112 \text{ г/м}^2$  в машинном (МД) и поперечном (СД) направлениях (рис. 3). Композиция по волокну данного образца состоит из 60 % нейтрально-сульфитной полуцеллюлозы и 40 % сульфатной целлюлозы высокого выхода.

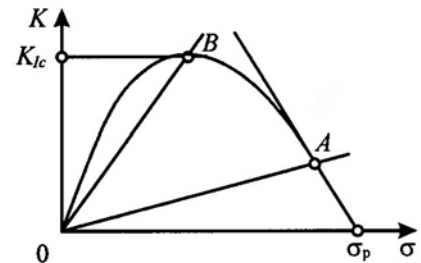


Рис. 2. Рост коэффициентов интенсивности напряжений  $K$  с ростом параметра нагрузки  $P$

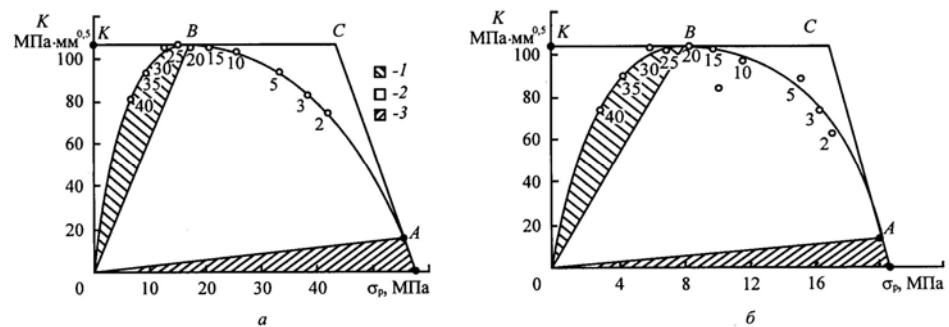


Рис. 3. Зависимость коэффициента интенсивности напряжений и разрушающего напряжения бумаги для гофрирования от размера центрального надреза:  $a$  – машинное направление;  $b$  – поперечное направление (□ – хрупкое разрушение; □ – смешанное разрушение; □ – вязкое разрушение)

Образцы подвергали одноосному статическому растяжению до разрушения с получением зависимостей «напряжение–деформация» ( $\sigma$ – $\varepsilon$ ). Для моделирования механического поведения флютинга использовали образцы шириной 50 мм с центральным надрезом, длину которого варьировали от 2 до 40 мм. В качестве критерия хрупкого разрушения использовали максимальное значение коэффициента интенсивности напряжений, рассчитанное по экспериментальным данным с помощью следующего уравнения [9]:

$$K = \sigma \sqrt{\pi l Y}, \quad (3)$$

где  $Y$  – поправочный коэффициент, учитывающий фактор формы дефекта.

Коэффициент  $Y$  для образцов с центральным плоским надрезом можно рассчитать по уравнению Ирвина:

$$Y = \left[ \frac{2b}{\pi l} \left( \operatorname{tg} \frac{\pi l}{2b} + 0,1 \sin \frac{\pi l}{b} \right) \right]^{1/2}, \quad (4)$$

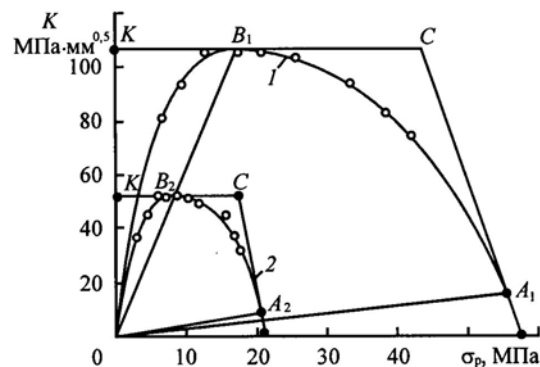
где  $b$  – ширина образца, мм.

Образцы с длиной надреза 1 мм и менее разрушались практически во всех случаях не по месту расположения дефекта. Это позволило предположить, что поведение структуры таких образцов соответствует механизму вязкого разрушения. При этом в качестве критерия вязкого разрушения материала использовали разрушающее напряжение  $\sigma_p$ .

Экспериментальные кривые преобразовывали в диаграммы механического поведения, представленные на рис. 3. Луч  $OB$ , соответствующий границе хрупкого поведения материала, связывает начало координат и максимум экспериментальной кривой. Луч  $OA$ , показывающий границу преимущественно вязкого поведения, проходит через точку, в которой экспериментальная кривая теряет линейность (отклоняется от касательной).

Таким образом, с использованием теоретического и методического подходов нелинейной механики разрушения выделены области перехода от хрупкого к вязкому разрушению. Применительно к исследованным образцам флютинга установлено, что хрупкий механизм разрушения наблюдается при длине центрального надреза более 20 мм (что составляет 40 % от общей ширины образца), вязкий – менее 2 мм. При этом, несмотря на существенные отличия в значениях  $K_{Ic}$  и  $\sigma_p$  для образцов в машинном и поперечном направлениях, границы области перехода от хрупкого разрушения к вязкому очень близки.

Рис. 4. Двухпараметрические диаграммы механического поведения образцов флютинга в машинном (1) и поперечном (2) направлениях



Механизм разрушения	Вклад механизма разрушения в направлении	
	MD	CD
Хрупкий	462/10,5	99/12,3
Вязкий	3490/79,4	640/78,9
Смешанный	442/10,0	72/8,9

Примечание. В числителе приведены данные в абсолютных единицах ( $\text{МПа}^2 \cdot \text{мм}^{0,5}$ ), в знаменателе – в относительных (%).

Использование диаграммы механического поведения позволяет оценить вклад каждого типа разрушения (хрупкого, вязкого и смешанного) в процентах от общей площади под экспериментальной кривой или в условных абсолютных единицах площади соответствующих областей.

При совмещении диаграмм в одной системе координат (рис. 4) обнаружено, что углы наклона лучей  $OB_1$  и  $OB_2$ ,  $OA_1$  и  $OA_2$ , для образцов флютинга в машинном и поперечном направлениях практически совпадают, а соответствующие области подобны.

Из этого следует, что относительный вклад хрупкого, вязкого и смешанного механизмов поведения структуры бумаги при разрушении не зависит от направления приложения нагрузки. Относительная доля хрупкого механизма составляет 10...12 %, вязкого – 8...10 %, смешанного – около 80 % (см. таблицу).

На двухпараметрических диаграммах вклад каждого механизма, выраженный в условных абсолютных единицах площади соответствующих областей, для образцов флютинга в машинном и поперечном направлениях значительно отличается (см. таблицу). Площадь области хрупкого механизма разрушения флютинга в поперечном направлении меньше, чем в машинном в 4,7 раза, вязкого – в 6,1 раза, смешанного – в 5,5 раза.

Расчетные значения вкладов механизмов разрушения, выраженные в условных абсолютных единицах площади соответствующих областей на экспериментальных диаграммах и значения площади под ними в целом можно рассматривать в качестве количественного двухпараметрического критерия разрушения.

Таким образом, показано, что методика построения и анализа двухкритериальных диаграмм механического поведения материала может быть использована для оценки свойств бумаги и картона. На примере бумаги для гофрирования установлено, что ее разрушение происходит преимущественно по смешанному механизму, следовательно, необходимо использовать два критерия разрушения – хрупкого и вязкого. Вместе с тем, необходимо дополнительно исследовать другие виды бумаги и картона с различными типами и размерами дефектов, а также оценить влияние основных технологических факторов на механизм разрушения целлюлозно-бумажных материалов.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Бабаевский, П.Г. Трещиностойкость отвержденных полимерных композиций [Текст] / П.Г. Бабаевский, С.Г. Кулик. – М.: Химия, 1991. – 336 с.

2. Дьякова, Е.В. Устойчивость к инициированию и росту трещин в структуре целлюлозно-бумажных материалов [Текст] / Е.В. Дьякова, В.И. Комаров, Е.С. Носкова // Лесн. журн. – 2007. – № 1. – С.125–140. – (Изв. высш. учеб. заведений).
3. Комаров, В.И. Вязкоупругость целлюлозно-бумажных материалов [Текст] / В.И. Комаров // Лесн. журн. – 1997. – № 6. – С. 25–44. – (Изв. высш. учеб. заведений).
4. Комаров, В.И. Деформация и разрушение волокнистых целлюлозно-бумажных материалов [Текст] / В.И. Комаров. – Архангельск: Изд-во АГТУ, 2002. – 440 с.
5. Комаров, В.И.  $J$ -интеграл – характеристика структуры целлюлозно-бумажных материалов [Текст] / В.И. Комаров // Целлюлоза. Бумага. Картон. – 1997. – № 5.6. – С. 26–29.
6. Основы экспериментальной механики разрушения [Текст] / И.М. Керштейн [и др.] – М.: Изд-во МУ, 1989. – 140 с.
7. Пестриков, В.М. Механика разрушения на базе компьютерных технологий [Текст]: практикум / В.М. Пестриков, Е.М. Морозов. – СПб.: БХВ-Петербург, 2007. – 464 с.
8. Пестриков, В.М. Механика разрушения твердых тел [Текст]: курс лекций / В.М. Пестриков, Е.М. Морозов. – СПб.: Профессия, 2002. – 320 с.
9. Irwin, G.R. – In: Handbuch der Physik. Berlin, Springer, 1958. – Bd. 6. – S. 551–590.
10. Niskanen, K. Papermaking Science and Technology. Paper Physics [Text]: book 16/K. Niskanen. – Printed by Gummerus Printing, Jyvaskyla, Finland 1998. – 324 p.
11. SCAN-P77:95. Papers and Boards. Fracture Toughness. Scandinavian pulp, paper and board. Testing Committee [Text]. – 8 p.

Поступила 25.12.08

*V.I. Komarov, E.S. Noskova, E.V. Djakova*  
Arkhangelsk State Technical University

### **Theoretical Aspects Use of Non-linear Destruction Mechanics for Analysis of Viscoelastic Behavior of Paper and Cardboard Structure when Applying Tensile Load**

The technique of producing common diagram for mechanical state of pulp-and-paper materials is developed. Taking paper for corrugation as an example it is shown that destruction takes place mainly according to mixed mechanism, i.e. the necessity of using two destruction criteria (fragile and viscous) is confirmed.

Keywords: destruction mechanics, fracture strength, double criterion diagram of mechanical state, fragile, viscous, fluting.

---

УДК 502.175:661.163:504.45

**А.Ф. Троянская, А.В. Вельямидова**

Институт экологических проблем Севера УрО РАН

Троянская Антонина Федоровна родилась в 1946 г., окончила в 1968 г. Архангельский лесотехнический институт, кандидат химических наук, заведующий лабораторией экоаналитических исследований Института экологических проблем Севера УрО РАН. Имеет более 120 печатных трудов в области рационального природопользования при химической переработке древесины и химического загрязнения окружающей среды.  
E-mail: [labecoarh@yandex.ru](mailto:labecoarh@yandex.ru)



Вельямидова Анна Владиславовна родилась в 1978 г., окончила в 2000 г. Архангельский государственный технический университет, младший научный сотрудник лаборатории экоаналитических исследований Института экологических проблем Севера УрО РАН, аспирант. Имеет 6 печатных работ в области химического загрязнения окружающей среды.  
E-mail: [labecoarh@yandex.ru](mailto:labecoarh@yandex.ru)



## **СОВРЕМЕННОЕ СОСТОЯНИЕ ДОННЫХ ОСАДКОВ БАСЕЙНА РЕКИ ОНЕГИ ПО ЗАГРЯЗНЕНИЮ ХЛОРОРГАНИЧЕСКИМИ СОЕДИНЕНИЯМИ**

Рассмотрено загрязнение донных осадков бассейна р. Онеги хлорорганическими соединениями под влиянием применения в прошлом пентахлорфенолята натрия для антисептирования древесины.

*Ключевые слова:* пентахлорфенолят натрия, загрязнение, донные осадки, экстрагируемый органически связанный хлор, пентахлорфенол, гексахлорбензол, полихлорированные дибензо-*n*-диоксины и дибензофураны.

Выявление участков, загрязненных токсичными соединениями, возникновение которых является наследием развития химической промышленности в 40–70 гг. прошлого века, изучение их влияния на окружающую среду по настоящее время является актуальным в глобальном масштабе [8, 9, 11, 12]. В результате 30-летнего использования для антисептирования пиломатериалов пентахлорфенолята натрия (ПХФН) в почвах лесозаводов на территории Архангельской области сформировались участки, загрязненные хлорорганическими соединениями по типу «горячих точек» [3]. Выявлены высокие остаточные количества компонентов ПХФН в почвах, включая гексахлорбензол (ГХБ), полихлорированные диоксины и фураны (ПХДД/ПХДФ), собственно пентахлорфенол (ПХФ), а также их мобильность, что предполагает высокий риск загрязнения близлежащих водоемов. Ранее нами при исследовании донных осадков Северной Двины в зоне влияния «горячих точек» на территориях лесозаводов была выполнена оценка уровня вторичного загрязнения устойчивой хлорорганикой в условиях урбанизированных территорий приливного устья реки [1, 2, 5].

Коношский лесозавод находится в относительно малонаселенном районе и расположен на берегу оз. Нижнего, соединяющегося с оз. Верхним. Река Долгая, вытекающая из этих озер, может осуществлять транспорт за-

грязнений от источника в р. Волошку, входящую в водосборный бассейн р. Онеги. Кроме того, в нижнем течении р. Волошки расположен целлюлозный завод, выпускавший ранее беленую сульфитную целлюлозу.

Цель данной работы – изучить современное состояние речных и озерных донных осадков водоемов бассейна р. Волошки по загрязнению хлорорганическими соединениями (ХОС) и их пространственному распределению.

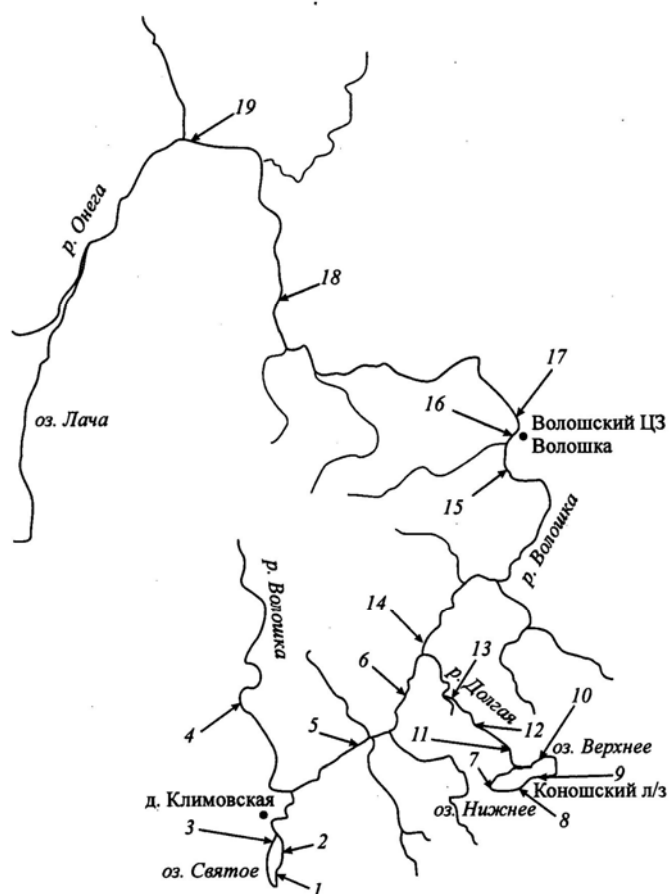


Рис. 1. Карта-схема отбора проб донных отложений в бассейне р. Волошки (1 – 19 точки отбора проб)

#### *Методы исследований*

Пробы поверхностного слоя (0...10 см) донных осадков отбирали (рис. 1) в озерах Нижнее/Верхнее и Святое (последнее удалено на 40 км от Коношского лесозавода), р. Долгая, а также р. Волошка (от ее истока до впадения в р. Онегу) в соответствии с требованиями ГОСТ 17.1.5.01–80 «Охрана природы. Гидросфера. Общие требования к отбору проб донных отложений водных объектов для анализа на загрязненность». В конце летней межени 2002 г. при минимальных расходах воды дночерпателем



ДЧ-0,25 было отобрано 19 проб.

В качестве соединений целевого анализа речных и озерных донных осадков приняты ХОС, остаточные количества которых выявлены в почвах Коношского лесозавода [3]: суммарное содержание высоколипофильных ХОС по параметру «экстрагируемый органически связанный хлор» (ЭОХ), хлорфенольные соединения (ХФС), гексахлорбензол (ГХБ). Содержание ЭОХ определяли с использованием АОХ-анализатора, ХФС – методом капиллярной газовой хроматографии с электронным детектированием. Нижняя граница диапазона обнаружения: ЭОХ – 0,1 мкг СГ/г, ХФС – 0,001 мкг/г, ГХБ – 0,001 мкг/г. Анализ выборочных проб на содержание ПХДД/ПХДФ выполняли в аккредитованной лаборатории ИПЭЭ РАН им. А.Н. Северцова (г. Москва). Гранулометрический состав (ГС) донных осадков определяли методом непрерывного водного анализа, органический углерод и азот – методом сухого сжигания на С,Н,N-анализаторе.

#### *Обсуждение результатов*

Пробы донных осадков р. Волошки и ее притоков преимущественно представлены песчано-гравийными отложениями с размером частиц более 0,01 мм и близки по ГС к отложениям оз. Нижнее/Верхнее. Исключение составляют донные осадки р. Волошки (станция 4), выше впадения р. Долгой, где содержание этой фракции составляет 52,16 %. Концентрация органического углерода  $C_{орг}$  в этих пробах варьирует от 0,39 до 2,33 %. Только в одной озерной пробе (ст. 9), отобранной рядом с промплощадкой лесозавода,  $C_{орг}$  очень высокое (17,87 %) и обусловлено присутствием растительных остатков. Осадки оз. Святое сформированы мелкоалевритовыми илами. Концентрация  $C_{орг}$  в них изменяется от 5,21 до 7,79 %, рН донных осадков – от 6,6 до 7,5.

Как видно на рис. 2, а, в речных осадках содержание ЭОХ варьирует от 0,1 до 0,7 мкг СГ/г сухого остатка, причем в половине проб он найден на фоновом уровне (0,1...0,2 мкг СГ/г), выявленном в донных осадках устья р. Северной Двины. Следует отметить, что в донных осадках приливного устья р. Северной Двины, включая дельту, где расположены лесозаводы в условиях сравнительно высокой плотности населения, ЭОХ обнаружен повсеместно на более высоком уровне – от 0,7 до 1,4 мкг СГ/г – при максимальных значениях (1,7 и 3,7 мкг СГ/г) на участках возле территорий лесозаводов; минимальные значения показателя в 5 раз выше фоновых [1].

В осадках озер (рис. 2, б) содержание ЭОХ выше: в оз. Нижнее/Верхнее, в прибрежной зоне которых находится территория лесозавода, загрязненная остаточными количествами ПХФН, уровень ЭОХ составляет 0,4...1,4 мкг СГ/г, а в оз. Святое – 0,6...2,5 мкг СГ/г. Положительная корреляция, выявленная между содержанием ЭОХ и  $C_{орг}$  (коэффициент корреляции  $r = 0,45$ ; число определений  $n = 19$ ), ЭОХ и фракцией осадков с размером частиц  $< 0,01$  мм ( $r = 0,49$ ;  $n = 19$ ), предполагает относительно однородный состав ЭОХ в большинстве проб, обусловленный ограниченным набором высоколипофильных ХОС, отражающих состав препарата ПХФН.

Во всех речных пробах осадков найдены ХФС в диапазоне концен-

траций 0,005...0,032 мкг/г. Максимальное их содержание (0,067 мкг/г) выявлено в осадках р. Волошки, выше впадения р. Долгой, относительно высокое (0,032 мкг/г) – в устье р. Долгой; минимальное – в 5 раз выше фонового значения (0,001 мкг/г). В озерных осадках ХФС присутствуют в более узком диапазоне концентраций (0,023...0,032 мкг/г) с максимальными значениями показателя в озерах Верхнее (0,221 мкг/г) и Святое (0,178 мкг/г).

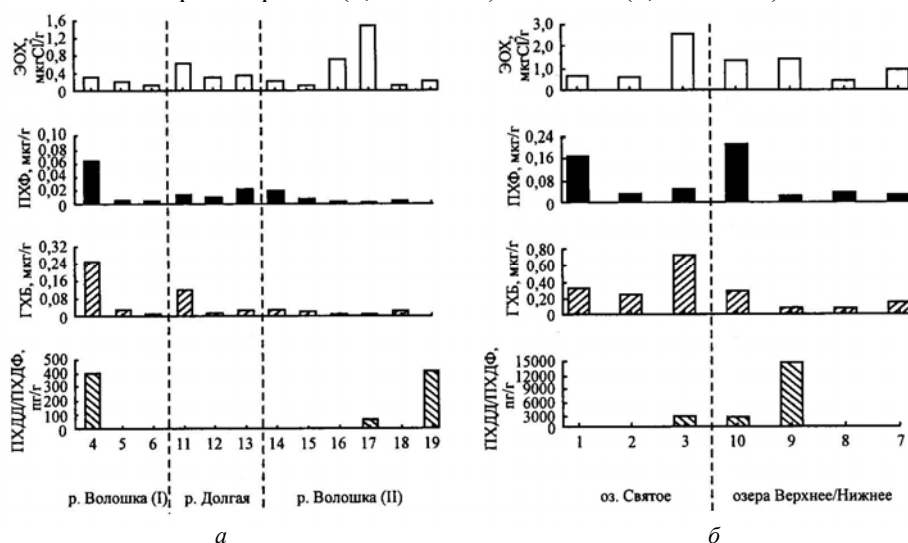


Рис. 2. Распределение ХОС в речных (а) и озерных (б) донных осадках бассейна р. Волошки (цифры по горизонтальной оси – номера станций; I – до впадения р. Долгой, II – после ее впадения)

В составе ХФС преобладают высокозамещенные хлорфенолы, среди которых идентифицированы и количественно определены три соединения, распределяющиеся по вкладу в суммарное содержание в следующей последовательности: ПХФ<sub>42,9...100,0</sub> % > 2,3,4,6-ТехФ<sub>4,5...42,9</sub> % > 2,4,6-ТХФ<sub>3,1...14,2</sub> % (тетрахлорфенол – ТехФ, трихлорфенол – ТХФ). ПХФ повсеместно доминирует в составе ХФС речных осадков, причем в осадках р. Долгой его вклад наибольший – 78,1...100,0 %. Относительно высокое содержание ПХФ (рис. 2) найдено в осадках р. Волошки, выше впадения р. Долгой (0,064 мкг/г), оз. Верхнее (0,213 мкг/г) и южной части оз. Святое (0,168 мкг/г).

В озерных осадках профиль ХФС представлен сочетанием двух соединений – ПХФ и 2,3,4,6-ТехФ – при доминировании первого (90,3...99,1 %). Следует отметить, что в речных и озерных осадках, как и в почвах, ПХФ определен преимущественно в неионизированной форме: 80,6...95,8 % – оз. Святое; 50,0...85,0 % – оз. Нижнее/Верхнее; 33,3...100,0 % – речные осадки.

Представляет особый интерес проба речных осадков, отобранная на расстоянии 1 км ниже выпуска стоков целлюлозного завода, ранее периодически отбеливающего сульфитную целлюлозу хлором. Здесь обнаружены

специфические для отбелики хлором высоколипофильные 3,4,5-трихлоргваякол и тетрахлоргваякол, составляющие 72,7 % от общего количества ХФС; вклад ПХФ минимален (18,2 %) [7]. На этом участке реки содержание ЭОХ в осадках максимально, что отражает закономерное проявление влияния сточных вод отбелики целлюлозы на загрязнение донных осадков [1].

Концентрация ГХБ в пробах речных осадков варьирует от 0,003 до 0,252 мкг/г (рис. 2, а) с более равномерным распределением на участке р. Долгая – р. Волошка (0,5 км выше целлюлозного завода). Максимальный вклад ГХБ выявлен в верхнем течении р. Волошки, до впадения р. Долгой (0,120 мкг/г), и в истоке р. Долгой (0,120 мкг/г). Более высокое содержание ГХБ найдено в озерных осадках: 0,084...0,293 мкг/г – оз. Нижнее/Верхнее, 0,257...0,718 мкг/г – оз. Святое (рис. 2, б). Как показал анализ литературных источников, выявленные нами высокие уровни ГХБ в донных осадках подтверждают существование локальных специфичных источников загрязнения. Так, в удаленных от источников районах донные отложения морских и пресных водоемов имеют довольно низкое содержание ГХБ – от 0,01 до 0,30 нг/г [6]. В потенциально загрязненных районах уровни ГХБ сильно варьируют. Например, в северной части Чехии, на границе с Германией, под влиянием стоков химических заводов донные отложения р. Эльбы содержат 0,290 и 0,440 мкг ГХБ/г [9]. В осадках оз. Яа-Ег, на северо-западе Китая, чрезвычайно загрязненных сбросами химических заводов по производству различных гербицидов, уровень ГХБ варьировал от 31,5 до 57,1 мкг/г [13].

В донных осадках повсеместно ГХБ доминирует над ПХФ. Суммарная доля этих двух соединений в концентрации ЭОХ составляет 0,4...76,4 %. При этом максимальный вклад характерен для осадков р. Волошки, выше впадения р. Долгой (76,4 %), оз. Святое (22,7; 35,0 и 50,3 %) и оз. Нижнее/Верхнее (22,4; 14,4; 18,8 %). На участке оз. Нижнее/Верхнее – р. Долгая в большинстве проб осадков вклад ГХБ в ЭОХ варьирует от 13,1 до 17,6 %, в р. Волошке, выше впадения р. Долгой, составляет 63,0 %, в пробах осадков оз. Святое – 21,6...34,9 %. Для сравнения, в осадках правого берега устья р. Северной Двины, включая протоки Маймакса и Кузнечиха, вклад ГХБ в ЭОХ изменяется от 0,2 до 5,2 %, а наибольшие значения отмечены около территорий лесозаводов (6,6...8,4 %).

Это достаточно убедительное подтверждение вышеприведенного предположения об относительной однородности состава ЭОХ донных осадков под влиянием одного специфичного источника в условиях слабо населенных территорий, где вклад других источников (хозбытовые и ливневые стоки, выбросы от различных видов транспорта, крупных энергетических установок и т.д.) в формирование загрязнения хлорорганическими соединениями менее значим.

На содержание полихлорированных диоксинов и фуранов проанализировано 6 проб речных и озерных осадков (рис. 2). Концентрации ПХДД/ПХДФ варьировали от 59,44 до 14 245,80 пг/г сухого осадка, или от 1,93 до 108,77 пг/г сухого осадка в единицах эквивалентной токсичности

(I-TEQ). Полученные значения входят в диапазон остаточных количеств ПХДД/ПХДФ, характерных для донных осадков водоемов в зонах влияния производства или применения хлорфенолов в других странах. Максимальные количества ПХДД/ПХДФ в таких зонах могут достигать 400 000 нг/г и 1 060 пг I-TEQ/г сухого осадка [11].

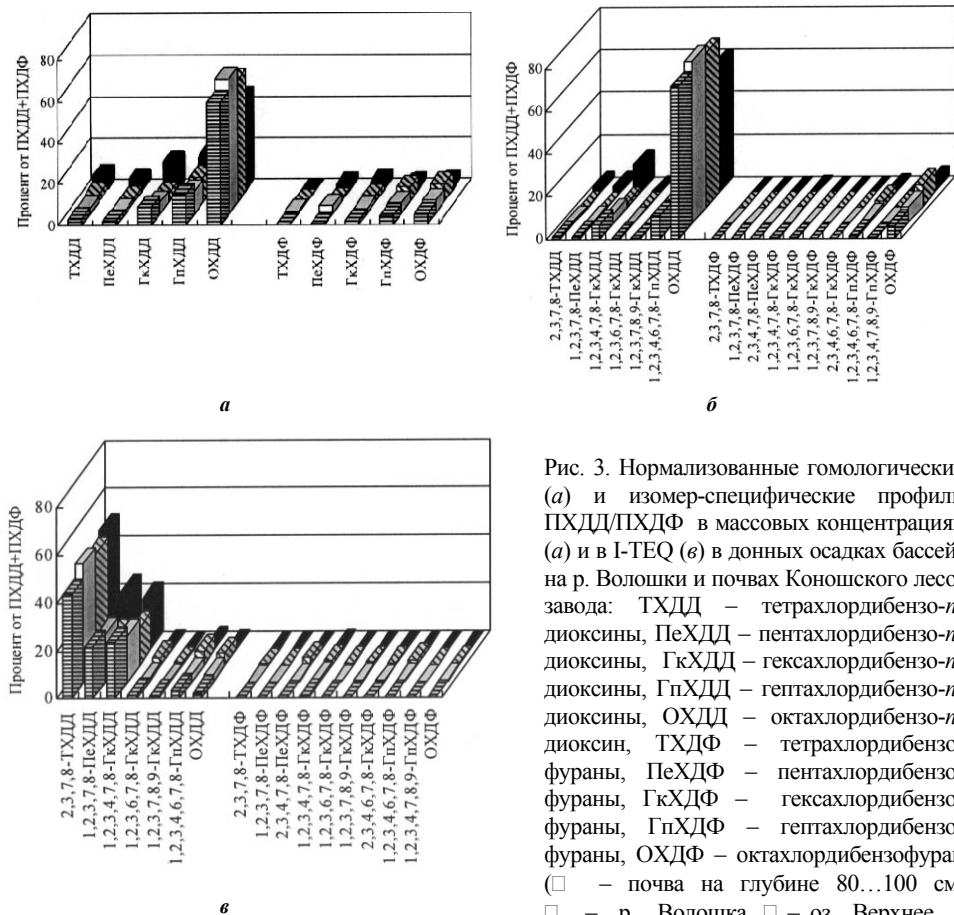


Рис. 3. Нормализованные гомологические (а) и изомер-специфические профили ПХДД/ПХДФ в массовых концентрациях (а) и в I-TEQ (е) в донных осадках бассейна р. Волошки и почвах Коношского лесозавода: ТХДД – тетрахлордibenзо-*п*-диоксины, ПеХДД – пентахлордibenзо-*п*-диоксины, ГкХДД – гексахлордibenзо-*п*-диоксины, ГпХДД – гептахлордibenзо-*п*-диоксины, ОХДД – октахлордibenзо-*п*-диоксин, ТХДФ – тетрахлордibenзо-фураны, ПеХДФ – пентахлордibenзо-фураны, ГкХДФ – гексахлордibenзо-фураны, ГпХДФ – гептахлордibenзо-фураны, ОХДФ – октахлордibenзофуран (□ – почва на глубине 80...100 см, □ – р. Волошка, □ – оз. Верхнее, □ – оз. Святое)

Как и следовало ожидать, в осадках оз. Нижнее, около промплощадки лесозавода, количество ПХДД/ПХДФ максимально (108,77 пг I-TEQ/г), что объясняется близостью источника и специфическим характером осадков, содержащих большое количество растительных остатков и органического углерода (17,87 %). Довольно высок уровень ПХДД/ПХДФ в донных осадках оз. Святое – 61,29 пг I-TEQ/г. Следует отметить более высокое содержание ПХДД/ПХДФ в осадках озер по сравнению с осадками устья р. Северной Двины, где наибольшие значения, найденные в районе лесозаводов, варьируют от 16,41 до 34,86 пг I-TEQ/г [2]. Более низкое, но близкое по

значениям содержание ПХДД/ПХДФ выявлено в песчаных речных осадках устья р. Волошки (9,96 мг I-TEQ/г) и мелкоалевритовых осадках р. Волошки, выше впадения р. Долгой (6,01 мг I-TEQ /г).

Выявлено сходство гомологических и изомер-специфических профилей ПХДД и ПХДФ в речных и озерных осадках, а также в почвах лесозавода (рис. 3). Во всех пробах осадков доминируют высокохлорированные ОХДД и ГпХДД, доля которых в общей концентрации ПХДД/ПХДФ составляет 80,0...87,0 %. По вкладу в общую концентрацию и эквивалентную токсичность во всех пробах преобладают ПХДД, составляющие соответственно 81,1...94,3 и 90,1...98,2 %. Во всех пробах в эквивалентной токсичности осадков доминируют три наиболее токсичных полихлорированных диоксида: 2,3,7,8-ТехДД, 1,2,3,7,8-ПехДД и 1,2,3,4,7,8-ГкХДД, которые представляют характерный «отпечаток пальцев» пентахлорфенолята натрия [4].

Можно предположить, что присутствие больших количеств ПХДД/ПХДФ в осадках оз. Святое, удаленного от Коношского лесозавода, а также в осадках р. Волошки, выше впадения р. Долгой, может быть связано с существованием локальных источников, что обусловлено распространённостью ПХФН в период его интенсивного использования для антисептирования пиломатериалов. Населением часто применялся этот препарат для пропитки древесины (срубы домов и бань, столбы), а также для обработки овощных культур на частных участках. Поэтому локальные участки загрязнения почв, а следовательно, и донных осадков можно встретить в самых неожиданных местах.

Кроме того, нельзя исключить и влияние более благоприятных условий с точки зрения физико-химии осадков. Так, пробы осадков оз. Святое и р. Волошка, выше впадения р. Долгой, сформированы мелкоалевритовыми илами с высоким содержанием коллоидной фракции (< 0,001 мм), составляющим от 14,0 до 18,38 %. Преобладание тонкодисперсных фракций с высоким содержанием коллоидов наряду с большим количеством органического вещества обеспечивают высокие адсорбционные свойства осадков. Пробы осадков оз. Нижнее/Верхнее представлены песчано-гравийными отложениями с содержанием органического углерода 0,39...1,48 % (за исключением пробы вблизи лесозавода). Это мелководные озера с большей гидродинамической подвижностью водных масс, и условия для седиментации легких органических частиц менее благоприятны.

Таким образом, загрязненные участки, образовавшиеся на территории Коношского лесозавода от применения в прошлом ПХФН, являются основным источником формирования современного загрязнения донных осадков водоемов бассейна р. Волошки устойчивыми ХОС, включая ПХФ, ГХБ и ПХДД/ПХДФ. Оз. Нижнее/Верхнее играют роль накопителя устойчивой хлорорганики, транспорт которой осуществляется по рекам Долгой и Волошке в арктическую р. Онегу и будет продолжаться в будущем.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Вахромеева, Е.А.* Особенности формирования ЭОХ в донных отложениях устья Северной Двины в условиях изменения антропогенной нагрузки [Электронный ресурс] / Е.А. Вахромеева, А.Ф. Троянская // Северные территории России: проблемы и перспективы развития: материалы и доклады всеросс. конф. с междунар. участием. – Архангельск, 2008. – (1 электрон. опт. диск (CD-ROM): электрон. текст. и граф. дан.).
2. *Троянская, А.Ф.* Современное загрязнение диоксинами донных осадков устья Северной Двины [Электронный ресурс] / А.Ф. Троянская // Северные территории России: проблемы и перспективы развития: материалы и доклады всеросс. конф. с междунар. участием. – Архангельск, 2008. – (1 электрон. опт. диск (CD-ROM): электрон. текст. и граф. дан.).
3. *Троянская, А.Ф.* Современное состояние почв по загрязнению хлорорганическими соединениями от применения пентахлорфенолята натрия на лесозаводах [Текст] / А.Ф. Троянская, А.В. Вельямидова // Лесн. журн. – 2009. – № 1. – С. 108–115. – (Изв. высш. учеб. заведений).
4. *Троянская, А.Ф.* Содержание токсичных примесей в промышленных полихлорфенольных препаратах [Текст]/А.Ф. Троянская, Д.П. Мосеева, Н.А. Рубцова//Химия в интересах устойчивого развития. – 2004. – Т. 12. – С. 225–231.
5. *Троянская, А.Ф.* Формирование загрязнения устьев северных рек ПХДД/ПХДФ под влиянием предприятий лесопромышленного комплекса [Текст] / А.Ф. Троянская, Н.А. Рубцова, Д.П. Мосеева // Диоксины и родственные соединения: экологические проблемы, методы контроля: материалы всеросс. конф. – Уфа, 2001. – С. 56–60.
6. *Allen-Gil, S.M.* Organochlorine pesticides and polychlorinated biphenyls (PCBs) in sediments and biota from four US Arctic Lakes [Text] / S.M. Allen-Gil [et al.] // Arch. Environ. Contam. Toxicol. – 1997. – Vol. 33. – P. 378–387.
7. *Jonsson, P.* Pulp-mill related polychlorinated organic compounds in Baltic Sea sediments [Text] / P. Jonsson [et al.] // AMBIО. – 1993. – Vol. 22, N 1. – P. 37–43.
8. *Kjeller, L.-O.* Time trends in levels, patterns and profiles for polychlorinated dibenzo-*p*-dioxins, dibenzofurans and biphenyls in a sediment core from the Baltic proper [Text] / L.-O. Kjeller, C. Rappe // Environ. Sci. Technol. – 1995. – Vol. 29. – P. 346–355.
9. *Nonderk, L.* Polychlorinated biphenyls in the hydrosphere of Czechoslovakia [Text] / L. Nonderk, N. Frolikova // Chemosphere. – 1991. – Vol. 23, N 3. – P. 269–280.
10. *Verta, M.* Continued transport PCDD/PCDF contaminated sediments from the river Kymijoki to the Gulf of Finland, the Baltic Sea [Text] / M. Verta [et al.] // Organohalogen Compounds. – 2003. – Vol. 61. – P. 405 – 408.
11. *Verta, M.* Risks of contaminated sediments by river Kymijoki [Text] / M. Verta [et al.] // Organohalogen Compounds. – 2006. – Vol. 68. – P. 874–879.
12. *Weber, R.* Dioxin and POP contaminated sites – contemporary and future relevance and challenges [text] / R. Weber [et. al.] // Environ. Sci. Pollut. Res. – 2008. – Vol. 15. – P. 363–393.
13. *Wu, W.Z.* PCDD/Fs, PCBs, HCHs and HCB in sediments and soils of Ya-Er Lake area in China: results on residual levels and correlation to the organic carbon and the particle size [Text] / W.Z. Wu [et al.] // Chemosphere. – 1997. – Vol. 34. – P. 191–202.

Поступила 27.08.08

*A.F. Troyanskaya, A.V. Veliamidova*  
Institute of Ecological Problems of the North, Ural Branch of RAS

**Current State of Bottom Sediments of the Onega River Basin on Pollution with Chlorinated Organic Compounds**

---

---

Pollution of bottom sediments of the Onega river basin with chlorinated organic compounds under the influence of historical usage of sodium pentachlorophenolate for wood preservation is discussed.

Keywords: sodium pentachlorophenolate, pollution, bottom sediments, extractable organic halogens, pentachlorophenol, hexachlorobenzene, polychlorinated dibenzo-*p*-dioxines and dibenzofurans.

---

---

УДК 628.336.4

**К.С. Болотова, Е.В. Новожилов, Д.Г. Чухчин, О.М. Соколов**

Архангельский государственный технический университет

Болотова Ксения Сергеевна родилась в 1982 г., окончила в 2005 г. Архангельский государственный технический университет, аспирант кафедры биотехнологии Архангельского государственного технического университета. Имеет 2 печатные работы в области переработки осадков сточных вод.  
E-mail: Novodvinsk@rambel.ru



Новожилов Евгений Всеволодович родился в 1950 г., окончил в 1972 г. Архангельский лесотехнический институт, доктор технических наук, профессор кафедры биотехнологии Архангельского государственного технического университета, чл.-корреспондент РАЕН, лауреат премии им. М.В. Ломоносова. Имеет около 140 научных трудов в области технологии комплексной переработки сульфитных и сульфатных щелоков, ферментных технологий в химической переработке древесины, технологий очистки сточных вод.  
E-mail: biotech@agtu.ru



Чухчин Дмитрий Германович родился в 1971 г., окончил в 1993 г. Архангельский лесотехнический институт, кандидат технических наук, доцент кафедры биотехнологии Архангельского государственного технического университета. Имеет более 70 печатных работ в области химической переработки древесины.  
Тел.: (8182) 21-61-45



Соколов Олег Михайлович родился в 1936 г., окончил в 1960 г. Ленинградский технологический институт ЦБП, доктор химических наук, профессор, заведующий кафедрой биотехнологии, президент Архангельского государственного технического университета, академик Международной академии наук, РИА, РАЕН, Академии проблем качества РФ, чл.-кор. МИА, заслуженный деятель науки РФ. Имеет около 200 научных трудов в области исследования процессов сульфатной варки, изучения свойств и применения технических лигнинов.  
Тел.: (8182) 21-89-65



### **ОБЕЗВОЖИВАНИЕ ОСАДКОВ СТОЧНЫХ ВОД ЦЕЛЛЮЛОЗНО-БУМАЖНОГО ПРОИЗВОДСТВА МЕТОДОМ ПРЕССОВАНИЯ**

Показана возможность снижения влажности мехобезвоженного осадка сточных вод (ОСВ) в 1,4–1,6 раза при совместном прессовании с целлюлозосодержащими материалами; рекомендовано использование смесей ОСВ с кородревесными отходами в качестве биотоплива.

*Ключевые слова:* осадок, сточные воды, целлюлозосодержащие материалы, обезвоживание, кородревесные отходы, прессование.

Обезвоживание микробной биомассы является распространенным методом снижения ее влажности. Для ОСВ после биологической очистки, основным компонентом которых является активный ил (АИ), широко применяют механическое обезвоживание биомассы на фильтр-прессах



при давлении 0,2...0,5 МПа. Такая технология позволяет получить отпрессованный осадок (кек) влажностью 70...80 % [1, 6]. По действующей на большинстве предприятий технологии кек вывозят в отвал или сжигают вместе с другими отходами.

Образование сильнооводненных слизей в процессе жизнедеятельности микроорганизмов, непостоянство компонентного и видового состава АИ существенно осложняют процесс обезвоживания ОСВ. Из-за высокой влажности и недостаточной структурной прочности при приложении давления происходит растекание ОСВ и снижение эффективности отжима. Для улучшения обезвоживания такого рода материалов используют флокулянты и коагулянты, эффективность которых не всегда оправдывает их высокую стоимость. Структура осадков может быть улучшена введением в ОСВ таких добавок, как известь, шлак, зола, диатомит, кремнезем, опилки, древесная мука [1, 6].

Моделирование прессования микробной биомассы с различными добавками (каменный уголь, стекловолокно, целлюлозное волокно) показало [5], что для эффективного удаления влаги необходимо наличие у материала добавки таких свойств, как прочность, гибкость, развитая капиллярная структура, способность к деформации при заданном уровне давления. При этом материал, используемый для интенсификации обезвоживания микробной биомассы, должен обеспечивать ее удержание в зоне прессования. Этим требованиям удовлетворяет целлюлозное волокно.

Цель данного исследования – изучить совместное прессование кека целлюлозно-бумажного производства и различных целлюлозосодержащих материалов.

В качестве исследуемых материалов были выбраны: влажная листовая небеленая сульфатная целлюлоза (влажность 75,0 %), газетная макулатура (7,7 %), верховой торф (13,0 %) и листовые кородревесные отходы (50,0 %). Торф вручную измельчали до фрагментов размером 3...5 мм, газетную макулатуру – до 5...7 мм, после чего ее разрывали в течение 1...2 мин на зерновой мельнице без добавления воды. Кородревесные отходы (КДО), основной компонент которых кора березы и осины, были отобраны в древесно-подготовительном цехе целлюлозно-бумажного комбината (ЦБК), перед экспериментом их просеивали через сито с диаметром отверстий 1 см.

Образцы ОСВ – пробы кека ЦБК, отобранные после обезвоживания на фильтр-прессах, содержали флокулянт и имели влажность 75,9...81,0 %. Пробы измельчали и перемешивали с добавками в различном соотношении по сухим веществам. Полученную смесь прессовали между медными сетками с размером отверстий 1 мм на прессе марки ПСУ-50 в течение 10 с. Для поглощения отжимаемой жидкости использовали листы фильтровальной бумаги. Влажность проб измеряли на анализаторе ЭВЛАС-2М.

Характерной особенностью осадков ЦБК и бумажных фабрик является то, что в их составе содержится целлюлозное волокно. Это связано с его потерями в основном производстве. В зависимости от техноло-

гии и оборудования доля волокна в ОСВ изменяется в широких пределах. В пробах кека, которые использовали в данном исследовании, содержание волокна не определялось, но оно в некотором количестве присутствовало в составе ОСВ. Считается, что наличие волокна в составе осадков приводит к улучшению их водоотдачи, так как пропорционально уменьшается доля биомассы АИ.

Различные виды целлюлозы успешно обезвоживают методом прессования; на винтовых прессах или фильтр-прессах целлюлозную массу отжимают до концентрации 35,0...42,0 % [4], что соответствует влажности 58,0...65,0 %. Это подтвердилось при отжиме на ленточных прессах 100 %-го волокнистого осадка: на выходе материал имел влажность 52,0...70,0 % [8]. Для 100 %-го АИ влажность кека, полученного в тех же условиях, значительно выше – 70,0...80,0 %. Добавка волокна в количестве 30...50 % не оказала положительного влияния на процесс обезвоживания биомассы АИ на ленточном прессе, так как влажность их смеси осталась на том же уровне – 70,0...80,0 %. Эти данные свидетельствуют о том, что присутствие целлюлозного волокна не обязательно будет обеспечивать заметное улучшение водоотдачи биомассы. Как было показано ранее [5], для эффективного обезвоживания смесей ОСВ с волокном необходимо более высокое давление, чем то, которое развивают промышленные фильтр-прессы.

В первом эксперименте в качестве добавки использовали влажную листовую небеленую сульфатную целлюлозу с учетом того, что при биологической очистке и обезвоживании входящие в состав ОСВ целлюлозные волокна длительное время взаимодействуют с водой и это вызывает их сильное набухание, повышает гибкость и сорбционную способность.

Для совместного прессования кека и влажной целлюлозы готовили пробы с различным соотношением материалов в смеси (по сухим веществам). Влажность исходных проб для всех смесей различалась незначительно и составляла 75,5...76,9 % (табл. 1). Прессование кека и смесей проводили при давлении 1,2 МПа, что значительно выше, чем при обезвоживании на фильтр-прессах.

Таблица 1

**Влажность проб при совместном прессовании кека с целлюлозным волокном**

Соотношение волокна к кеку (по сухим веществам)	Влажность смеси, %		Количество отжатой влаги	
	до прес- сования	после прес- сования	% от исходного содержания	т/т абс. сухого кека
0 : 100	77,0	47,4*	73,1	–
5 : 95	76,9	45,8*	74,5	–
15 : 85	76,8	48,2	71,8	2,42
50 : 50	76,1	48,9	70,4	2,39
75 : 25	75,5	48,4	70,0	2,41

\* Проба сильно растекается.

Прессование кека без добавок существенно (до 47,4 %) снижает влажность пробы. Однако при высоком давлении происходит значительное растекание биомассы АИ, продавливание ее сквозь сетку и унос с фильтратом. В зоне прессования остается только небольшая часть материала. Аналогичные явления отмечены при добавке в смесь 5 % целлюлозы.

Лучшие результаты были получены при дозировке волокна от 15 до 75 %. И кек, и целлюлозное волокно имели примерно одинаковую начальную влажность. Несомненно, что удаление влаги при приложении давления происходило одновременно из обоих материалов. Целлюлозные волокна участвуют в формировании волокносодержащей структурообразующей матрицы, удерживающей биомассу АИ в зоне действия давления. При дозировке волокна 15 % и выше растекание смеси было минимальным, влажность отпрессованных проб составляла 48,2...48,9 % и в указанном интервале практически не зависела от количества целлюлозы в смеси.

Количество влаги, удаленной из кека, было рассчитано в предположении, что целлюлоза в смесях отжимается до одинаковой степени влажности. Оно оказалось на уровне 2,39...2,42 т/т абс. сухого кека. Влага в биомассе АИ по классификации [1], подразделяется на химическую, коллоидно-связанную (входит в гидратные оболочки частиц) и свободную (составляет более половины от общего количества влаги АИ). Поэтому можно предположить, что при отжиге образцов удаляется именно она.

Прессование смесей кека с волокном оказалось очень эффективным, в пробах осталось 0,93...0,96 т влаги/т абс. сухого кека. Несмотря на достигнутые результаты, такой способ вряд ли может быть рекомендован промышленности, так как расход волокна должен быть достаточно большим, чтобы обеспечить удержание биомассы в зоне прессования. Следует также учитывать, что снижение промывов волокна – это общая тенденция совершенствования целлюлозно-бумажного производства, поэтому его содержание в сточных водах и ОСВ ЦБК будет постоянно уменьшаться.

Дешевым и доступным материалом, способным заменить свежее целлюлозное волокно, является макулатура. В работе [5] в качестве добавки с успехом было использовано сухое целлюлозное волокно (фильтровальная бумага). Источником такого волокна во втором эксперименте служила газетная макулатура.

С учетом результатов, полученных в предыдущем эксперименте, готовили смесь в соотношении кек : макулатура = 85 : 15 (по сухим веществам). Влажность кека – 75,9 %, в нем содержалось 3,15 т влаги/т абс. сухого вещества. Влажность полученной смеси составляла 73,1 %.

После прессования при давлении 1,2 МПа влажность смеси снизилась до 51,4 %, было отжато 66,6 % влаги от ее начального содержания в смеси. Есть все основания полагать, что все количество влаги было отжато из массы кека и составило 2,10 т/т абс. сухого кека. Это высокий результат,

но он ниже достигнутого в аналогичных условиях прессования при добавлении к кеку влажной целлюлозы. Наблюдаемое различие можно объяснить тем, что в газетной макулатуре в основном содержатся волокна механической массы, более грубые, менее пластичные и сжимаемые. Кроме того, ороговение волокна в процессе высушивания бумаги уменьшает объем капилляров, ухудшает их способность к сорбции и набуханию. Следует также учитывать возможность поглощения сухим волокном влаги из кека, для удаления которой требуется более высокое давление ( $> 1,2$  МПа).

Обезвоживание смесей кека с добавками до влажности 45,0...50,0 % позволит сократить объем вывозимого на полигоны осадка или утилизировать такой материал в качестве биотоплива. Несомненно, что второй вариант является более предпочтительным. Пригодность ОСВ к сжиганию определяется высоким содержанием органики (до 80...90 % от сухих веществ) [1]. Для эффективного сжигания влажность ОСВ должна составлять 50,0...60,0 % [1]. Этот уровень достигается прессованием, при этом теплотворная способность кека увеличивается в 1,6 раза за счет снижения влажности от 75,9 % до 51,4 %.

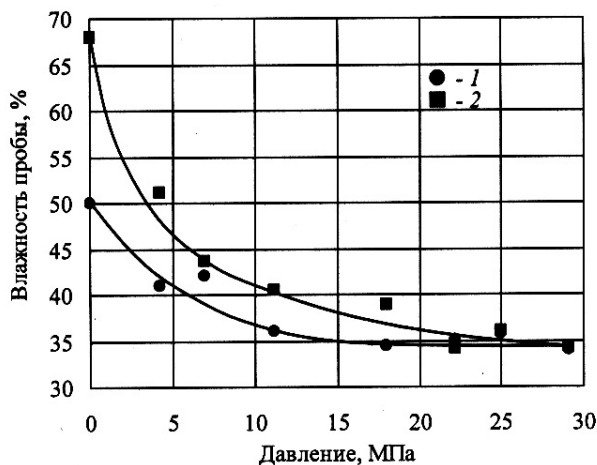
В качестве добавки к кеку в третьем эксперименте был проверен верховой торф, также относящийся к категории биотоплива. Торф является распространенным целлюлозосодержащим материалом, в состав которого могут входить волокна, фрагменты растительных тканей различной дисперсности, продукты распада полимеров целлюлозного происхождения, минеральные включения и пр. [7]. Теплотворная способность торфа (в среднем 22,5 МДж/кг сухого вещества) [7] несколько выше теплотворной способности ОСВ (16,7...18,4 МДж/кг сухого вещества) [6].

Для эксперимента готовили смесь кека и торфа в соотношении 50 : 50 по сухим веществам (влажность полученной смеси – 64,0 %). После прессования при 1,2 МПа влажность смеси снизилась до 45,5 %, было удалено 76,1 % влаги от ее начального содержания. Учитывая низкую влажность исходного образца торфа (13,0 %), можно считать, что все количество влаги отжимается из ОСВ. По расчету оно составляет 2,51 т/т абс. сухого кека. В смеси после прессования остается 0,84 т влаги/т сухого вещества, ее теплотворная способность увеличивается в 1,8 раза.

На ЦБК в качестве биотоплива широко используют отходы окорки древесины, которые содержат в основном кору [3]. Очевидно, что из всех материалов, взятых в качестве добавок в данном исследовании, кора является самым трудно сжимаемым материалом. Короотжимные прессы, применяемые в производстве для обезвоживания КДО, развивают давление порядка 10...15 МПа. Важный показатель, влияющий на процесс удаления влаги из КДО, – коэффициент влагопроводности. Известно, что этот показатель уменьшается при отжиме влаги из сильносмолистой и тонкодиспергированной коры [2].

Кек ЦБК влажностью 81,0 % перемешивали с КДО в соотношении 60 : 40 по сухим веществам. Влажность полученной смеси составляла 69,9 %. Приготовленные пробы отжимали при давлении 4...29 МПа. Контрольные опыты с корой проводили при том же давлении.

Влияние давления на влажность КДО (1) и их смеси с кеком (2)



Действие больших сжимающих усилий вызывает деформацию пор и капилляров прессуемого материала, уменьшает их сечение. При сильном уплотнении КДО коэффициент влагопроводности значительно уменьшается, так как затрудняется движение влаги в них. Этим объясняется, что при приложении давления влажность проб КДО сначала снижалась от 50,0 % до 35,0...36,0 %, дальнейшее повышение давления свыше 10...11 МПа практически не влияло на влажность образцов (см. рисунок).

При давлении 4 МПа влажность КДО уменьшалась от 50,0 до 43,0 %, в то время как влажность смеси – только до 51,0 %. При этом количество удаленной влаги было значительным – 3,22 т/т абс. сухого кека.

Кора, являясь пористым материалом, обладает высокой способностью впитывать влагу из окружающей среды, следовательно, она может удерживать влагу, выделяемую при прессовании биомассы АИ. Необходимо было поднять давление до 6,9 МПа, чтобы влажности отпрессованных проб КДО и смеси кека с КДО оказались примерно равными: 42,0 и 43,6 % соответственно (табл. 2). В процессе прессования была удалена влага как из кека, так и из КДО. При этом из смеси было отжато 874 г влаги/кг сухого вещества, в том числе из кека – 714 г/кг.

При давлении прессования 10...20 МПа сохраняется чуть более высокая влажность смеси по сравнению с КДО (см. рисунок), при давлении выше 20 МПа смесь и КДО имеют примерно одинаковую влажность.

Таблица 2

Удаление влаги при прессовании проб КДО и смеси кека с КДО  
(давление прессования 6,9 МПа)

Проба	Влажность, %		Количество отжатой влаги	
	начальная	после пресса	% от исходного содержания	г/кг сухих веществ
КДО и кек (60:40)	69,9	43,6	68	874
КДО	50,0	42,0	27	160

Таблица 3

## Выход проб после прессования смеси кека с КДО

Проба	Масса пробы, г	Влажность пробы, %	Масса абс. сухой смеси, г	Количество отжатой влаги, г/кг сухих веществ	Выход пробы после обработки, %
Начальная смесь	15,00	60,0	6,00	–	–
Смесь после прессования	10,70	44,3	5,96	717	99,3

Для оценки загрязнения фильтрата и потерь сухих веществ при прессовании кека с добавкой КДО был определен выход смеси после обработки. Смесь КДО и кека в соотношении 70 : 30 (по сухим веществам) прессовали при давлении 12,7 МПа. Данные до и после прессования пробы представлены в табл. 3.

Добавка КДО при обезвоживании кека способствует удержанию пробы в зоне прессования и повышает эффективность его водоотдачи. Выход пробы после прессования составлял 99,3 %, потери сухих веществ с фильтратом – 0,7 %. Полученные результаты подтверждают, что при прессовании смеси кека с КДО в полной мере проявляется эффект удержания биомассы АИ матрицей целлюлозосодержащего материала. Эта матрица для веществ ОСВ служит впитывающим, сорбирующим и фильтрующим слоем, структура которого при приложении давления исключает растекание и продавливание биомассы АИ.

Факторами, влияющими на обезвоживание биомассы ОСВ при прессовании, являются давление, свойства и дозировка добавляемого материала. Добавка к кеку целлюлозосодержащих материалов позволяет удерживать его от растекания в процессе прессования. При давлении 1,2 МПа из смесей кека с сульфатной целлюлозой, макулатурой или торфом было удалено 67...76 % влаги от ее начального содержания, а их влажность уменьшилась в 1,4–1,6 раза.

На ряде ЦБК в качестве биотоплива уже используют смесь кека с КДО, поэтому с практической точки зрения наибольший интерес представляет совместное прессование именно этих материалов. Для достижения влажности смеси кека с КДО на уровне 40,0...44,0 % необходимо высокое давление – 7...11 МПа, при этом ее теплотворная способность увеличивается в 1,4–1,5 раза и достигает 8,5...9,0 МДж/кг. Потери сухих веществ в процессе совместного прессования кека и КДО составляют менее 1 % от массы пробы.

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Евилевич, А.З.* Утилизация осадков сточных вод [Текст] / А.З. Евилевич, М.А. Евилевич. – Л.: Стройиздат, Ленингр. отд-ние, 1988. – 248 с.

2. *Житков, А.В.* Утилизация древесной коры [Текст] / А.В. Житков. – М.: Лесн. пром-сть, 1985. – 136 с.
3. *Лантев, Л.Н.* Экология – приоритет технической политики [Текст]/ Л.Н. Лаптев, В.Н. Чаплиев, В.Т. Гришин // Целлюлоза. Бумага. Картон. – 2004. – № 1. – С. 82–83.
4. *Непенин, Ю.Н.* Технология целлюлозы. В 3-х т. Производство сульфатной целлюлозы [Текст] / Ю.Н. Непенин. – 2-е изд., перераб. – М.: Лесн. пром-сть, 1990. – 600 с.
5. Прессование микробной биомассы в смеси с различными материалами [Текст] / К.С. Болотова [и др.] // Наука – Северному региону: сб. науч. тр. – Архангельск, 2009. – Вып. 76. – С. 33–38.
6. *Туровский, И.С.* Обработка осадков сточных вод [Текст] / И.С. Туровский. – 2-е изд., перераб. и доп. – М.: Стройиздат, 1982. – 223 с.
7. Физика и химия торфа [Текст]: учеб. пособие для вузов / И.И. Лиштван [и др.]. – М.: Недра, 1989. – 304 с.
8. *Янчик, И.* Ленточные прессы фирмы «Vanex» для обезвоживания осадков сточной воды при переработке макулатуры [Текст] / И. Янчик, С.С. Пузырёв // Науч. тр. 4-й Междунар. науч.-техн. конф. «Развитие ресурсосберегающих технологий производства бумаги и картона из вторичного волокнистого сырья». – Караваево, 2003. – С. 38–40.

Поступила 19.11.08

*K.S. Bolotova, E.V. Novozhilov, D.G. Chukhchin, O.M. Sokolov*  
Arkhangelsk State Technical University

### **Dewatering of Waste Water Sedimentation in Pulp-and-paper Production by Compression Method**

The possibility of lowering humidity of waste-water mechodewatering sedimentation in 1.4-1.6 times at joint compression with pulp-containing materials is shown; it is recommended to use mixtures of waste-water sedimentation with bark-wood wastes as biofuel.

Keywords: sedimentation, waste waters, pulp-containing materials, dewatering, bark-wood wastes, compression.

---

**Ю.В. Шевелев**

ОАО «Научно-производственное предприятие «Эталон» (г. Омск)

Шевелев Юрий Валентинович – ведущий инженер СКБ ОАО НПП «Эталон».  
Тел.: (3812) 36-99-67

## **ВЫСОКАЯ ПРОИЗВОДИТЕЛЬНОСТЬ ПОВЕРКИ КРИОСТАТА КР-80**

Рассмотрены характеристики криостата КР-80 производства ОАО НПП «Эталон» на предмет выполнения требований ГОСТ Р 8.624–2006 и ГОСТ 8.317–78.

*Ключевые слова:* средства измерения температуры, жидкостный криостат, термометр сопротивления, поверка.

Вопрос наличия на рынке и стоимости оборудования для поверки средств измерения температуры является одним из самых актуальных в практической метрологии. В настоящее время предлагается большое количество метрологического оборудования от российских и зарубежных производителей, причем технические параметры приборов значительно отличаются друг от друга. Уточним критерии, которыми должен руководствоваться поверитель при выборе средств поверки.

Рассмотрим это на примере жидкостного регулируемого криостата КР-80 (ОАО НПП «Эталон», г. Омск). Диапазон воспроизводимых температур от  $-80$  до  $+40$  °С. В этом диапазоне поверяются в основном термометры сопротивления и стеклянные жидкостные термометры, следовательно нужно руководствоваться требованиями ГОСТ 8.279–78 [1], ГОСТ 8.317–78 [2] и ГОСТ Р 8.624–2006 [3].

ГОСТ Р 8.624–2006 [3] предписывает, чтобы неравномерность температуры в рабочем объеме термостата не превышала  $1/5$  допуска поверяемых ТС. Для самого точного класса АА при температуре  $0$  °С минимальное значение составляет  $\pm 0,02$  °С. Согласно экспериментальным данным, неравномерность температуры в рабочем объеме криостата КР-80 не превышает этой величины во всем диапазоне температур.

Кроме того, этот ГОСТ предполагает, чтобы нестабильность поддержания температуры в криостате за 30 мин не превышала  $1/5$  допуска поверяемых ТС. Значения перепада температуры в рабочей зоне и нестабильности в КР-80 для различных температур приведены в таблице.

Как видно из таблицы, криостат КР-80 пригоден для поверки термометров сопротивления класса АА, а следовательно, и всех других классов в этом диапазоне температур. Типичная картина изменения температуры  $T$  во времени  $\tau$  в режиме стабилизации приведена на рис. 1.

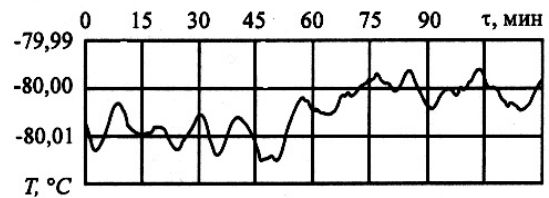


Температура, °C	1/5 допуска при заданной температуре по ГОСТ Р 8.624, °C				Перепад в рабочей зоне* по ТУ, °C	Нестабильность за 30 мин** по ТУ, °C
	AA	A	B	C		
+40	±0,034	±0,046	±0,10	±0,20	±0,02	±0,03
0	±0,020	±0,030	±0,06	±0,12	±0,02	±0,02
-40	±0,034	±0,046	±0,10	±0,20	±0,02	±0,03
-80	±0,047	±0,062	±0,14	±0,28	±0,02	±0,04

\* Одинаков во всем диапазоне ( $\pm 0,02$  °C).

\*\* Рассчитывается по формуле  $\pm(0,02+0,00025|t|)$ .

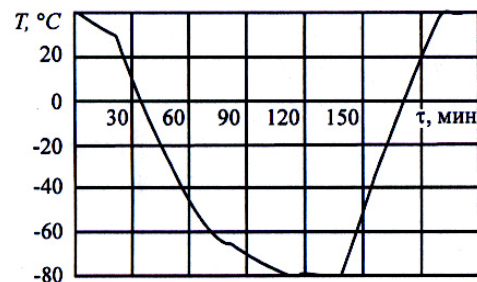
Рис. 1. График стабильности при температуре  $-80$  °C



В ГОСТ Р 8.624–2006 не упоминается о такой важной характеристике криостата, как производительность. Если криостат выходит на температуру  $-80$  °C около 6 ч, то времени на проведение эксперимента в течение 8-часового рабочего дня почти не остается. КР-80 выходит на эту температуру за 2,5 ч, что оставляет для проверки термометров около 5,5 ч. Типичный пример охлаждения и нагрева КР-80 приведен на рис. 2.

Как видно из рис. 2, максимальное время достижения стабилизированного режима в КР-80 составляет 2,5 ч. Если необходимо перейти на режим, значение температуры которого не находится на краю диапазона воспроизводимости, то время значительно сокращается. Эта характеристика КР-80 дает уникальную производительность поверки, если учесть, что в криостат можно одновременно загружать до 6 датчиков диаметром менее 15 мм.

Рис. 2. График охлаждения и нагрева криостата КР-80



Использование специальной кассеты позволяет применять криостат для поверки ртутных и спиртовых термометров полного погружения. С помощью насадки уровень теплоносителя поднимается выше верхнего торца

криостата, и термометр может быть погружен до отсчитываемой отметки на шкале согласно требованиям ГОСТ 8.317–78 [2]. Для точного определения температуры, измеряемой стеклянным термометром, криостат КР-80 снабжен видоискателем с 6-кратным увеличением.

Обобщая все вышесказанное, можно сделать вывод о том, что криостат КР-80 производства ОАО НПП «Эталон» (г. Омск) позволяет с высокой производительностью поверять термометры сопротивления по ГОСТ Р 8.624–2006 [3], а стеклянные термометры – по ГОСТ 8.279–78 [1] или ГОСТ 8.317–78 [2].

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

9

1. ГОСТ 8.279–78 Термометры стеклянные жидкостные рабочие. Методика поверки [Текст]. – М.: Изд-во стандартов, 1978. – с.
2. ГОСТ 8.317–78 Термометры стеклянные ртутные образцовые. Методы и средства поверки [Текст]. – М.: Изд-во стандартов, 1978. – с.
3. ГОСТ Р 8.624–2006 Термометры сопротивления из платины, меди и никеля. Методика поверки [Текст]. – М.: Изд-во стандартов, 2006. – с.

Поступила 04.04.08

*Yu. V. Shevelev*

JSC «Scientific Production Enterprise «Etalon»

#### **High Calibration Productivity of Cryostat КР-80**

The characteristics of cryostat КР-80 produced by JSC SPE «Etalon» were analyzed to meet the requirements of State Standard Р 8.624–2006 and 8.317–78.

Keywords: temperature measurement device, liquid cryostat, resistance temperature detector, calibration.

---



## КРАТКИЕ СООБЩЕНИЯ И ОБМЕН ОПЫТОМ

УДК 630\*181.28:581.331.2

**И.В. Левицкая, Е.Н. Самошкин**

Брянская государственная инженерно-технологическая академия

Левицкая Ирина Викторовна родилась в 1982 г., окончила в 2004 г. Брянскую государственную инженерно-технологическую академию, аспирант кафедры садово-паркового и ландшафтного строительства БГИТА. Имеет 10 печатных трудов по репродуктивной способности различных видов спирей.  
E-mail: bgitanis@online debryansk.ru



Самошкин Егор Никитич родился в 1934 г., окончил в 1960 г. Всесоюзный заочный лесотехнический институт, доктор биологических наук, профессор, заведующий кафедрой дендрологии, селекции и озеленения Брянской государственной инженерно-технологической академии, академик РАЕН. Имеет более 190 научных работ по генетике, селекции и экологии древесных растений.  
Тел.: (4832) 74-05-74

**ЖИЗНЕСПОСОБНОСТЬ ПЫЛЬЦЫ  
СПИРЕИ ИВОЛИСТНОЙ И ЯПОНСКОЙ  
ИЗ РАЗЛИЧНЫХ ЭКОЛОГИЧЕСКИХ УСЛОВИЙ**

Показано, что на жизнеспособность пыльцы спирей иволистной влияет радиационный фон и выхлопные газы автомашин. Ее жизнеспособность в несколько раз ниже, чем у спирей японской.

*Ключевые слова:* спирея, пыльцевые зерна, радиационный фон, выхлопные газы транспорта.

В садово-парковом строительстве широко применяются спирей иволистная (*Spiraea salicifolia* L.) и японская (*S. japonica* L.) – кустарники высотой до 1...2 м, красиво и обильно цветущие в течение июля – августа [1, 2]. Однако репродуктивная способность этих видов, особенно в различных экологических условиях, изучена недостаточно.

В весенний период 2005 и 2006 гг. на учетных площадках (пл.) в г. Брянске и раб.пос. Красной горе Брянской области собирали зрелые соцветия. В лаборатории их подсушивали, пыльцу помещали в бюксы и хранили в эксикаторе, в холодильнике ( $t = 0...+5$  °C). Через 3...5 дн. ее проращивали в трехкратной повторности по методу «висячей» капли в термостате (температура воздуха около + 25 °C) на 10 %-м растворе сахарозы [4], жизнеспособность изучали под микроскопом МБИ-6 (увеличение  $10 \times 7 \times 2,5$ ). Проросшую пыльцу учитывали через 3 ч, в дальнейшем ее количество практически не изменялось. Проросшими считали пыльцевые зерна, длина трубки которых равна или больше их диаметра.

## Жизнеспособность пыльцы спиреи иволистной и японской

Год	МЭД, мкР/ч	Учено пыльцевых зерен, шт.	Процент пыльцевых зерен	
			непроросших	проросших
Спирея иволистная				
Пл. 1, раб. пос. Красная гора, школа № 1 (2 м от дороги)				
2005	18,00±1,73	308	90,50±3,25	9,50±3,25
2006	19,67±1,86	794	87,03±0,58	12,97±0,58
Пл. 2, раб. пос. Красная гора, детский сад № 1 (25 м от дороги)				
2005	11,33±1,67	411	94,93±0,79	5,07±0,79
2006	11,67±1,45	804	94,87±2,52	5,13±2,52
Пл. 3, раб. пос. Красная гора, детский сад № 2 (7 м от дороги)				
2005	16,00±1,55	295	83,57±5,23	16,43±5,23
2006	17,33±1,45	1661	84,90±0,27	15,10±0,26
Пл. 4, г. Брянск, ул. Советская, сквер (6 м от дороги)				
2005	19,67±1,20	823	90,27±4,46	9,73±4,46
2006	13,67±1,33	525	91,93±0,97	8,07±0,97
Пл. 5, г. Брянск, ул. Советская, сквер (10 м от дороги)				
2005	17,00±1,53	140	75,00±15,50	25,00±15,50
2006	16,00±0,58	570	82,27±3,38	17,73±3,38
Пл. 6, г. Брянск, ул. Советская, сквер, живая изгородь (6 м от дороги)				
2005	15,00±1,15	568	92,00 ±1,15	8,00 ±1,15
2006	12,67±0,88	637	92,00±0,58	8,00±0,58
Спирея японская				
Пл. 7, г. Брянск, Фокинский район, сквер (2 м от дороги)				
2005	13,33±2,73	330	6,67±1,86	93,33±1,86
2006	14,67±0,67	1525	0,66±0,06	99,34±0,06
Пл. 8, г. Брянск, сквер им. Ф.И. Тютчева (8 м от дороги)				
2005	17,67±3,48	363	10,47±3,28	89,53±3,28
2006	14,00±1,58	4769	4,50±0,38	95,50±0,38

Существенность различия оценивали по t-критерию Стьюдента с учетом трех доверительных уровней:  $P = 95$ ;  $P = 99,0$ ;  $P = 99,9$  % [3]. Мощность экспозиционной дозы (МЭД) радиоактивного фона измеряли дозиметром ДРГ-01Т в трехкратной повторности на высоте 1 м от поверхности почвы.

Анализ показал (см. таблицу), что в 2005 г. на пл. 2 проросло только 5,07±0,79 % пыльцевых зерен спиреи иволистной, на пл. 3 – в 3 раза, на пл. 1 и 5 – в 2 и 5 раз больше ( $t_{\text{факт}} > t_{\text{табл}}$ ,  $P = 99,9$  %), хотя МЭД увеличена только в 1,6 и 1,5 раза ( $t_{\text{факт}} > t_{\text{табл}}$ ,  $P = 99,9$  %). По-видимому, даже небольшое повышение радиационного фона стимулирует прорастание пыльцы.

Интересные результаты получены на пл. 5 и 6: МЭД различалась несущественно ( $t_{\text{факт}} < t_{\text{табл}}$ ), но процент проросших пыльцевых зерен на пл. 6 (6 м от дороги) в 3 раза меньше, чем на пл. 5 (10 м от дороги). На пл. 1 и 5, 3 и 6 варьирование МЭД несущественно ( $t_{\text{факт}} < t_{\text{табл}}$ ), но процент проросшей пыльцы достоверно отличается: на пл. 5 (10 м от дороги) – в 2,6, на пл. 3 (7 м от дороги) – в 1,7 раза выше, чем на пл. 1 (2 м от дороги). Видимо, влияют не только радиационный фон, но и выхлопные газы автомашин.

Весьма активно прорастала пыльца спиреи японской: на пл. 7 и 8 проросло около 90 % зерен, при этом различие недостоверно.

В 2006 г., как и в 2005 г., на пл. 2 проросло меньше всего пыльцевых зерен спиреи иволистной, на пл. 6 – в 1,6, на пл. 3 и 5 – в 3,0 и 3,5 раза больше ( $t_{\text{факт}} > t_{\text{табл}}$ ,  $P = 95 \%$ ), хотя МЭД увеличена по сравнению с пл. 2 только в 1,5 и 1,4 раза, т. е. снова подтверждается закономерность, что даже небольшое повышение радиационного фона способно стимулировать прорастание пыльцы.

На пл. 4 и 6 при одинаковом удалении от дороги и практически равных МЭД процент проросших пыльцевых зерен существенно не различается.

Несмотря на увеличение МЭД на пл. 1, процент проросших пыльцевых зерен меньше по сравнению с пл. 5 в 1,4 раза. На пл. 5 проросло пыльцы в 2,2 раза больше ( $t_{\text{факт}} > t_{\text{табл}}$ ,  $P = 99 \%$ ), чем на пл. 4 (6 м от пересечения двух дорог). Это еще раз подтверждает вывод о том, что на прорастание пыльцы спиреи иволистной влияет не только радиационный фон, но и выхлопные газы.

Как и в 2005 г., активно прорастала пыльца спиреи японской. На пересечении двух крупных дорог (пл. 8) процент проросших пыльцевых зерен меньше, чем на пл. 7, где проходит одна мало загруженная дорога ( $t_{\text{факт}} > t_{\text{табл}}$ ,  $P = 95 \%$ ).

В заключение следует отметить, что примерно в одинаковых экологических условиях жизнеспособность пыльцы спиреи японской в несколько раз выше по сравнению с иволистной, на прорастание пыльцы которой влияют как радиационный фон, так и выхлопные газы автомашин. Большая доля непроросшей пыльцы связана с ее недоразвитием (пыльцевые зерна весьма мелкие). Пыльца спиреи японской активно прорастает на всех учетных площадках, она более крупная, но в 2006 г. на пересечении двух крупных дорог (пл. 8) ее проросло существенно меньше.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Аксенов, Е.С. Декоративные растения. Т 1. Деревья и кустарники [Текст] / Е.С. Аксенов, И.А. Аксенова; отв. ред. Д.Л. Лопатников-Краменников. – М.: АВТ, 1997. – 556 с.
2. Алексеев, Ю.Е. Деревья и кустарники. Энциклопедия природы России [Текст] / Ю.Е. Алексеев, Е.А. Карпухина. – М.: АДФ, 1997. – 589 с.
3. Зайцев, Г.Н. Математическая статистика в экспериментальной ботанике [Текст] / Г.Н. Зайцев. – М.: Наука, 1984. – 424 с.
4. Паушева, З.П. Практикум по цитологии растений [Текст] / З.П. Паушева. – 4-е изд., перераб. и доп. – М.: Агропромиздат, 1988. – 271 с.

Поступила 17.05.07

---

*I.V. Levitskaya, E.N. Samoshkin*

Bryansk State Engineering-Technological Academy

**Viability of *Spiraea Salicifolia*'s and *Spiraea Japonica*'s Pollen in Different Ecological Conditions**

It is shown that the viability of *Spiraea salicifolia*'s pollen is influenced by the radiation background and exhaust gases of motor vehicles, its viability being several times lower than pollen of *Spiraea japonica*.

Keywords: spiraea, pollen grains, radiation background, exhaust gases of transport vehicles.

---

*С.А. Корчагов, С.Е. Грибов*

Вологодская государственная молочнохозяйственная академия

Корчагов Сергей Анатольевич родился в 1975 г., окончил в 1997 г. Архангельский государственный технический университет, кандидат сельскохозяйственных наук, доцент, заведующий кафедрой лесного хозяйства Вологодской государственной молочнохозяйственной академии. Имеет более 40 печатных трудов в области определения качественных показателей древесины при искусственном лесовыращивании.

E-mail: serkor@vologda.ru



Грибов Сергей Евгеньевич родился в 1980 г., окончил в 2003 г. Вологодскую государственную молочнохозяйственную академию, кандидат сельскохозяйственных наук, доцент кафедры лесного хозяйства ВГМХА. Имеет 7 печатных работ в области определения качественных показателей древесины при искусственном лесовыращивании.

Тел.: 8-921-715-71-56



## **КАЧЕСТВО ДРЕВЕСИНЫ ЕЛИ В КУЛЬТУРАХ, СОЗДАНЫХ ПО РАЗНЫМ ТЕХНОЛОГИЯМ**

Рассмотрены показатели макростроения и физические свойства древесины ели в лесных культурах, созданных по различным технологическим схемам. Сделан их сравнительный анализ.

*Ключевые слова:* лесные культуры, ель, макростроение, качество древесины.

Значительные объемы лесозаготовок в таежной зоне вызывают необходимость проведения широкомасштабных лесовосстановительных мероприятий, в том числе лесокультурных. Результаты искусственного лесовосстановления в настоящее время оцениваются главным образом по количественным показателям древостоя (диаметр, высота, запас и др.), а изучению качества древесины не уделяется достаточного внимания. Ее строение и технические свойства определяются как индивидуальной наследственностью деревьев, так и воздействием окружающей среды. На продуктивность лесных культур и качество формирующейся древесины могут влиять подготовка почвы, подбор древесных пород, лесоводственные и агротехнические уходы, проводимые на разных этапах развития древостоя, другие лесохозяйственные мероприятия. Этот вопрос достаточно сложен, его решение позволит подобрать и обосновать способы лесовыращивания, которые смогут обеспечить оптимальную структуру древостоев и воспроизводство древесины необходимого качества.

Наши исследования проведены в 2007 г. в Кадниковском лесхозе Вологодской области (средняя подзона тайги) в типе леса ельник кисличный. На двух участках лесных культур, созданных в 1988 г. посадкой 3-летних сеянцев, заложены четыре пробные площади в соответствии с ОСТ 56-69–83 [6] и методическими указаниями Н.Н. Соколова [7].

На первом участке (пробы 1 и 2) ель посажена по микроповышениям, подготовленным плугом ПЛМ-1,3. Первоначальная густота 4100 шт./га, уходов за культурами не было. Технология создания культур на втором уча-

стке (пробы 3 и 4) имела ряд отличий. Почву обрабатывали плугом ПЛД-1,2. Первоначальная густота посадок 3500 шт./га. Одновременно с посадкой проведена биологическая мелиорация (посев многолетнего люпина), в 2000–2001 гг. культуры обработаны раундапом.

На первом участке в составе культур фитоценоза отмечены лиственные породы. На втором участке под воздействием арборицида сформировались чистые по составу культуры ели. Общий запас древесины на первом участке был в 2,5 раза больше, что связано со значительным количеством лиственных пород в составе (табл.1).

Для изучения показателей макростроения и физических свойств древесины за пределами постоянных пробных площадей отбирали модельные деревья в соответствии с ГОСТ 16483.6–80 [3], из которых заготавливали кряжи. В дальнейшем из кряжей изготавливали малые чистые образцы в форме прямоугольной призмы с основанием 20×20 мм и длиной вдоль волокон 30 мм, строго ориентированные в направлениях С – Ю, З – В и, по возможности, в сумме по радиусу охватывавшие все возрастные этапы (годовые слои) дерева.

Таблица 1

## Лесоводственно-таксационная характеристика участков

Но- мер уча- стка	Густота, шт./га*		Со- став	Воз- раст, лет	Класс бони- тета	Средние		Относи- тельная полнота	Запас, м <sup>3</sup> /га
	перво- началь- ная	в настоя- щее вре- мя				диа- метр, см	вы- сота, м		
1	4100	3013	5Е	20	II	5,6	6,1	0,62	35
		400	3Ос			10,7	10,6	0,30	32
		147	2Б			13,9	14,5	0,10	14
		80	+Ив			11,7	12,0	0,05	7
		Итого				–	–	1,07	88
2	3500	2294	10Е	20	III	6,2	5,7	0,67	35

\* Средние данные по пробным площадям.

Таблица 2

## Показатели макроструктуры и физические свойства древесины ели

Показатель	Участок		Достоверность различий вариантов*
	первый	второй	
Ширина годовичного слоя, мм	2,04±0,09	2,09±0,04	0,46
Число годовичных слоев в 1 см, шт.	4,9±0,2	4,8±0,1	0,41
Процент поздней древесины	31,4±0,98	36,4±1,15	3,13
Плотность древесины, г/см <sup>3</sup> :			
при влажности 12 %			
базисная	0,360±0,006	0,380±0,011	1,60
коэффициент объемной усушки	0,298±0,006	0,307±0,006	1,06
Усушка, %, в направлении:	0,090±0,009	0,110±0,009	1,70
радиальном			
тангенциальном	4,24±0,57	4,39±0,54	0,20
	5,27±0,35	7,12±1,16	1,52



вдоль волокон		0,18±0,04		0,68±0,34		1,47
---------------	--	-----------	--	-----------	--	------

\*Табличный критерий Стьюдента при уровне доверительной вероятности 95 % равен 2,00.

Определение числа годовичных слоев и содержания в них поздней древесины осуществляли в соответствии с ГОСТ 16483.18–72 [1], плотность по ГОСТ 16483.1–84 [4], усушку по ГОСТ 16483.37–80 [2]. Полученные результаты обрабатывали методом вариационной статистики с учетом методических рекомендаций И.И. Гусева [5].

Значения качественных показателей древесины ели в культурах, выращиваемых по различным технологиям, приведены в табл. 2. Существенных различий по ширине годовичных слоев и их числу на 1 см в сравниваемых вариантах не выявлено. На втором участке древесина ели отличается большим процентным содержанием поздних зон. Различия по этому показателю составляют 5 % и статистически достоверны. По плотности древесины при нормализованной влажности и базисной плотности существенных различий между вариантами также не выявлено, однако наблюдается некоторое превышение на втором участке. Линейная усушка древесины в тангенциальном направлении в 1,2 и 1,6 раза выше, чем в радиальном, на первом и втором участках соответственно, наименьшая она вдоль волокон. Линейная усушка в различных направлениях, как и коэффициент объемной усушки, несколько выше во втором варианте, однако достоверность различий не доказана.

Таким образом, результаты проведенных исследований позволяют отметить некоторое преимущество в показателях макроструктуры и физических свойствах древесины ели на втором участке, т. е. в чистом насаждении. Однако на данном этапе формирования древостоев достоверность различий доказана лишь по процентному содержанию поздней зоны в древесине, остальные показатели качества существенно не различаются.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. ГОСТ 16483.18–72. Древесина. Метод определения числа годовичных слоев в 1 см и содержания поздней древесины в годовичном слое. – М.: Изд-во стандартов, 1972. – 4 с.
2. ГОСТ 16483.37–80. Древесина. Метод определения радиальной и тангенциальной усушки. – М.: Изд-во стандартов, 1980. – 5 с.
3. ГОСТ 16483.6–80. Древесина. Метод отбора модельных деревьев и кряжей для определения физико-механических свойств древесины насаждений. – М.: Изд-во стандартов, 1980. – 4 с.
4. ГОСТ 16483.1–84. Древесина. Метод определения плотности. – М.: Изд-во стандартов, 1984. – 4 с.
5. Гусев, И.И. Вариационная статистика [Текст] / И.И. Гусев. – Архангельск: РИО АЛТИ, 1970. – 98 с.
6. ОСТ 56-69–83. Площади пробные лесоустроительные. Метод закладки. М., 1983. – 60 с.

---

7. Соколов, Н.Н. Методические указания к дипломному проектированию по таксации пробных площадей [Текст] / Н.Н. Соколов. – Архангельск: АЛТИ, 1978. – 44 с.

Поступила 23.05.07

*S.A. Korchagov, S.E. Gribov*  
Vologda State Dairy Academy

### **Quality of Spruce Wood in Cultures Created according to Different Technologies**

Factors of macrostructure and physical characteristics of spruce wood in the forest cultures created according to different technological schemes are considered. Their comparative analysis is carried out.

Keywords: forest cultures, spruce, macrostructure, wood quality.

---

**А.А. Захарова**

Московский государственный университет леса

Захарова Алла Ананьевна родилась в 1961 г., окончила в 1986 г. Московский лесотехнический институт, начальник управления Московского государственного университета леса по подготовке научно-педагогических кадров. Область научных интересов – интродукция хвойных пород.

E-mail: [zaharova@mgul.ac.ru](mailto:zaharova@mgul.ac.ru)

**ПРЕДВАРИТЕЛЬНЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ ИНТРОДУКЦИИ ВИДОВ РОДА *ABIES* В ЦЕНТРАЛЬНОЙ РОССИИ**

Представлены результаты интродукции видов рода *Abies* в экспериментальных посадках II–III классов возраста.

*Ключевые слова:* лесные культуры, пихта, интродукция, успешность роста.

В Центральной России в пределах зоны смешанных лесов (Смоленская, Московская, Ярославская и Владимирская области) накоплен длительный опыт интродукции пихты сибирской (*A. sibirica* Ldb.) и бальзамической (*A. balsamea* Mill.). Исследования кафедры лесных культур МГУЛ [2], проведенные в этом регионе, показали, что культуры пихты сибирской достигают лучших показателей в зеленомошных типах леса. Начиная с 5-летнего возраста, пихта обгоняет ель по высоте в 1,5 раза. В Дмитровском лесхозе Московской области 80-летние культуры пихты сибирской густотой 536 шт./га по продуктивности (618 м<sup>3</sup>/га) на 26 % опережают культуры ели. По нашим данным, в Подмосковье 100-летние культуры пихты сибирской и бальзамической имеют I класс бонитета, одинаковую продуктивность и фактически равный средний диаметр древостоев (соответственно 26,5 и 27,4 см). Хороший рост этих двух видов отмечен и на юге Ярославской области, в Переславском дендросаду [4].

Более широкий спектр интродуцированных видов рода *Abies* представлен в экспозиции Главного ботанического сада им. Н.В. Цицина Российской академии наук, где испытываются 18 видов [1], образующих 36 биогрупп разных возрастов (от 19 до 66 лет). Столь обширный эксперимент в ГБС РАН позволяет дать предварительную оценку результатов интродукции видов *Abies* в Центральной России. Для этого нами выполнены биометрические замеры деревьев во всех биогруппах. Наличие большого количества видов разного возраста позволило сопоставить их рост дифференцированно, для категорий 35, 50 и 55 лет (см. таблицу).

Как видно из таблицы, наиболее успешно растет пихта Вича (*A. veitchii* Lindl.), лидер интродуцированных видов *Abies* в коллекции ГБС РАН. Пихты бальзамическая и сибирская растут сравнительно быстро, хорошо переносят пересадку (особенно ранней весной). Их хорошо использовать для одиночных и аллейных посадок, а также в биогруппах, весьма эстетичных в

парках. В лесопарках их можно вводить во второй ярус лиственных насаждений, создавая подпологовые лесные культуры.

Обращают на себя внимание очень хорошие средние показатели роста пихты белокорой (*A. nephrolepis* Maxim.), зафиксированные в 35-летней биогруппе из 16 деревьев. Этот факт полностью согласуется с данными П.И. Лапина и др. [3] о результатах интродукции вида в пределах европейской части страны. Кроме того, нами отмечен весьма успешный рост пихты белокорой в питомнике Бирюлевского лесопарка г. Москвы: в 7 лет ее средняя высота составила 125,6 см. Все перечисленное, а также декоративность этого дальневосточного экзота, делают его перспективным для расширенной интродукции в Центральной России.

Минимальные показатели роста имеют пихты белая (*A. alba* Mill.), субальпийская (*A. lasiocarpa* Nutt.) и изящная (*A. gracilis* Kom.). В молодом возрасте они часто повреждаются заморозками, растут крайне медленно.

Для хорошего роста им необходимы глубокие, достаточно дренированные, но вместе с тем хорошо увлажненные суглинистые почвы.

Крайне медленно в условиях ГБС РАН растет пихта корейская (*A. korreana* Wils.): в 37 лет ее средний диаметр 6,3 см, средняя высота 2,8 м.

В посадках II класса возраста представляют интерес пихта Фразера (*A. fraserii* Poir.) и равночешуйчатая (*A. homolepis* Sieb. et Zucc.). Первая в 31-летнем возрасте имеет средний диаметр 13,4 см, среднюю высоту 7,5 м, вторая в возрасте 28 лет соответственно 12,2 см и 6,3 м.

Таким образом, результаты проведенных исследований позволяют рекомендовать ряд интродуцированных видов пихты для широкого использования в зеленом строительстве.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Дендрарий Главного ботанического сада: путеводитель по экспозиции древесных растений [Текст] / отв. ред. А.С. Демидов; Гл. ботан. сад им. Н.В. Цицина РАН. – М.: Наука, 2006. – 135 с.
2. Дроздов, И.И. Культуры интродуцентов – новый компонент динамической типологии леса [Текст] / И.И. Дроздов // Науч. тр. МЛТИ. – М.: МЛТИ, 1985. – Вып. 176. – С. 40–42.
3. Лапин, П.И. Интродукция лесных пород [Текст] / П.И. Лапин, К.К. Калущкий, О.И. Калущкая. – М.: Лесн. пром-сть, 1979. – 224 с.
4. Телегина, Л.И. Каталог древесных растений Переславского дендросада [Текст] / Л.И. Телегина. – М.: Изд-во «Информпечать» ИТРК РСФСР, 1999. – 192 с.

Поступила 14.10.08

*A.A. Zakharova*  
Moscow State Forest University

**Preliminary Results of Introducing Abies Genus Species in Central Russia**

---

---

The results of introducing *Abies* genus species in the experimental plantations of II-III age class are provided.

Keywords: forest cultures, *Abies*, introduction, growth success.

---

---

Показатели роста видов рода *Abies*

Вид пихты	Число деревьев в биогруппе, шт.	Высота, м				Диаметр, см			
		$M \pm m$	$\sigma$	V, %	P, %	$M \pm m$	$\sigma$	V, %	P, %
35 лет									
Белокожая ( <i>A. nephrolepis</i> Maxim.)	16	10,9 ± 0,3	1,1	10,4	2,6	19,5 ± 0,9	3,6	18,4	4,6
Изящная ( <i>A. gracilis</i> Kom.)	5	5,0 ± 1,0	2,2	44,5	19,9	9,4 ± 1,6	3,6	38,5	17,2
Вича ( <i>A. veitchii</i> Lindl.)	9	10,7 ± 0,3	0,9	8,6	2,9	13,4 ± 1,6	2,8	20,8	12,0
Субальпийская ( <i>A. lasiocarpa</i> Nutt.)	7	5,3 ± 0,4	1,1	21,3	8,0	7,7 ± 1,5	2,7	34,6	20,0
Кавказская ( <i>A. nordmanniana</i> (Stev.) Spach.)	4	7,6 ± 0,2	0,5	7,0	3,1	12,6 ± 0,7	1,5	12,0	5,4
50 лет									
Белая ( <i>A. alba</i> Mill.)	10	4,9 ± 0,7	2,3	47,2	15,0	7,1 ± 1,2	3,7	52,1	16,5
Майра ( <i>A. mayriana</i> Miyabe et Kudo)	13	10,1 ± 0,6	2,0	19,9	5,5	15,8 ± 1,8	6,5	41,4	11,5
Сахалинская ( <i>A. sachalinensis</i> Mast.)	8	14,1 ± 0,7	1,9	13,5	4,8	16,9 ± 0,8	2,1	12,5	4,4
Цельнолистная ( <i>A. holophylla</i> Maxim.)	17	11,2 ± 0,4	1,7	15,2	3,7	18,3 ± 1,3	4,1	22,5	7,1
Бальзамическая ( <i>A. balsamea</i> Mill.)	6	16,4 ± 0,5	1,3	9,4	3,8	21,4 ± 1,4	3,4	16,0	6,5
55 лет									
Одноцветная ( <i>A. concolor</i> Lindl. et Gord.)	3	10,7 ± 2,0	3,5	30,2	17,4	21,3 ± 5,0	8,7	40,6	23,4
Вича ( <i>A. veitchii</i> Lindl.)	3	17,7 ± 2,9	5,0	28,1	16,2	26,2 ± 3,4	6,0	22,6	13,0
Бальзамическая ( <i>A. balsamea</i> Mill.)	24	16,5 ± 0,4	2,0	12,2	2,5	24,4 ± 1,2	5,9	24,1	4,9
Сибирская ( <i>A. sibirica</i> Ldb.)	7	13,7 ± 1,2	3,2	23,5	8,9	20,4 ± 2,1	5,6	27,3	1,7





**В.И. Малыгин, В.А. Стенин**

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

Стенин Валерий Александрович родился в 1941 г., окончил в 1963 г. Архангельский лесотехнический институт, доктор технических наук, профессор филиала СПбМТУ «Севмашвтуз». Имеет около 150 печатных работ в области энергосбережения.

E-mail: rector@sevmashvtuz.edu.ru

**МАТЕМАТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ТЕПЛОПРОВОДНОСТИ ПРИ РЕЗАНИИ ДРЕВЕСИНЫ**

Предложен способ решения задачи нестационарной теплопроводности численным методом. Проведено моделирование процесса теплопроводности с граничными условиями первого рода.

*Ключевые слова:* режущий элемент, краевая задача, нестационарная теплопроводность, метод конечных разностей, метод конечных элементов, метод переменных состояний, дифференциальное уравнение.

Необходимость исследования теплофизики процесса резания древесины обусловлена высочайшими требованиями к качеству производимой продукции и вытекающими отсюда требованиями к элементам деревообрабатывающих технологических систем, прежде всего к режущему инструменту. Если в машиностроении точность сборных фрез по радиальному биению двух диаметрально расположенных зубьев режущих элементов в пределах 0,03 мм считается уровнем, то для дереворежущих фрез требуется микронная точность. Кроме того, специфика обработки древесины заключается в малой теплопроводности этого материала и концентрации практически всей образующейся при резании теплоты (за исключением конвекционных потоков) в режущем инструменте. В связи с этим актуальность учета тепловых деформаций с точки зрения потери точности инструмента в процессе резания не вызывает сомнений. Особенно важно это на этапе выбора конструкторского решения сборных инструментов, где вариативность возможных способов крепления режущего ножа достаточно высока, а выбор вариантов решений в рамках одного способа еще выше. В целом набор таких решений может достигать нескольких десятков.

Тепловые источники при резании древесины возникают как результат перехода в теплоту энергии деформации обрабатываемого материала и работы трения на поверхностях контакта древесины, стружки и режущего инструмента. Источниками отрицательной интенсивности (стоками), при воздействии которых теплота отводится от режущего инструмента, могут быть теплопроводность от лезвия к корпусу режущего инструмента, тепловое излучение, передача тепла в стружку и обрабатываемую деталь, конвективный теплообмен. Для открытых процессов резания, в частности при

пилении древесины, с достаточной степенью точности все источники теплоты можно рассматривать как плоские, а определяющим процессом отвода теплоты считать теплопроводность [2].

Для решения краевых задач нестационарной теплопроводности используют в основном численные методы, из которых наибольшее применение (в силу своей универсальности) получили методы конечных разностей и конечных элементов. Каждый из этих методов имеет свои преимущества и недостатки, причем их реализация требует своего, как правило, сложного и дорогостоящего математического обеспечения [1].

В связи с этим представляет интерес объединение методов решения задач нестационарного теплообмена на основе использования общего математического подхода в доступной для инженерных расчетов форме – теории пространства состояний (ТПС).

Рассмотрим объединяющие особенности численных методов при расчете нестационарной теплопроводности. Применение метода прямых основано на замене производных по всем переменным, кроме одной (например, времени), конечными разностями. Это приведет к системе дифференциальных уравнений (в общем случае нелинейных), для численного решения которой можно использовать методы Рунге – Кутты, Адамса и др. Методы конечных разностей и конечных элементов также позволяют привести нестационарное уравнение теплопроводности вида (в частности, для одномерной задачи)

$$\frac{\partial u}{\partial t} = a \frac{\partial^2 u}{\partial x^2} \quad (1)$$

с начальными и краевыми условиями

$$u(x, 0) = 0; \quad 0 < x < s;$$

$$u(0, t) = \varphi(t); \quad u(s, t) = \varphi(t)$$

к системе дифференциальных уравнений первого порядка.

В качестве общего математического подхода в этом случае может быть принят метод переменных состояний (МПС), основанный на теории матричного исчисления и векторном анализе. Для системы, описываемой совокупностью обыкновенных дифференциальных уравнений, пространство состояний может быть представлено следующими зависимостями [5]:

$$\begin{aligned} \dot{u}(t) &= A(t)u(t) + B(t)z(t); \\ y(t) &= C(t)u(t) + D(t)z(t), \end{aligned} \quad (2)$$

где  $A(t)$  – основная матрица состояния системы;

$u(t)$  – вектор переменных состояний объекта;

$B(t)$  – матрица задания граничных условий;

$z(t)$  – вектор управляющих воздействий;

$y(t)$  – вектор выходных переменных;

$C(t)$  – матрица связи переменных состояний с выходом системы;

$D(t)$  – матрица задания начальных условий.

В методе прямых с конечно-разностной аппроксимацией для задачи (1) разобьем интервал  $0 \leq x \leq s$  узлами  $x_i$  с шагом  $h$ . По формуле численного дифференцирования для внутренних линий  $1 \leq i \leq n-1$  получим систему уравнений

$$\frac{du_i}{dt} = mu_{i-1} - 2mu_i + mu_{i+1}; \quad 1 \leq i \leq n-1, \quad (3)$$

которая может быть представлена уравнениями состояния (2), когда учитываются следующие граничные условия первого рода (симметричная задача):

$$A(t) = \begin{bmatrix} -2m & m & \dots & 0 \\ m & -2m & \dots & 0 \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ 0 & 0 & \dots & -2m \end{bmatrix}; \quad B(t) = \begin{bmatrix} \varphi(t) \\ 0 \\ \dots \\ \varphi(t) \end{bmatrix}; \quad C(t) = \begin{bmatrix} 0 \\ 0 \\ 1 \\ \dots \\ 0 \end{bmatrix};$$

$$D(t) = [0]; \quad z(t) = [1],$$

где  $m = \frac{\lambda}{c\rho\delta^2}$ ;

$\lambda, c, \rho, \delta$  – соответственно теплопроводность, теплоемкость, плотность, толщина слоя модели;

$\varphi(t)$  – температура на поверхности стенки, изменяющаяся во время испытаний;

$u(t)$  – температура текущего слоя модели;

$y(t)$  – температура центрального слоя модели.

Использование предлагаемого подхода для конечно-элементного способа расчета можно показать на примере полудискретного метода Галеркина [6]. Применяя этот метод, преобразуем уравнение (1):

$$\frac{1}{6} \frac{du_{i-1}}{dt} + \frac{2}{3} \frac{du_i}{dt} + \frac{1}{6} \frac{du_{i+1}}{dt} = mu_{i-1} - 2mu_i + mu_{i+1}; \quad 1 \leq i \leq n-1. \quad (4)$$

Запишем уравнения состояния для системы (4):

$$N\dot{u}(t) = A(t)u(t) + B(t)z(t);$$

$$y(t) = C(t)u(t) + D(t)z(t);$$

где  $N = \begin{bmatrix} 0,666 & 0,166 & \dots & 0 \\ 0,166 & 0,666 & \dots & 0 \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ 0 & 0 & \dots & 0,666 \end{bmatrix}$ .

Сопоставление метода МПС с точным аналитическим решением [4] показало, что при  $Fo > 1,5$  погрешность вычислений не превышает 1%. Оценка численных свойств позволила установить аппроксимируемость,

сходимость и устойчивость схем дискретизации МПС. При использовании граничных условий второго рода матрица для них имеет следующий вид:

$$B(t) = \begin{bmatrix} \frac{q(t)}{ср\delta} & 0 & \dots & 0 & \frac{q(t)}{ср\delta} \end{bmatrix}.$$

Результаты исследований хорошо согласуются с данными работы [3], где предложена математическая модель первого рода для обратной задачи теплопроводности, основанная на математическом описании фильтра Калмана.

#### *Выводы*

1. Рассмотрен подход к решению задач нестационарной теплопроводности численным методом, базирующимся на теории пространства состояний (ТПС).
2. Методом ТПС проведено моделирование процесса теплопроводности с граничными условиями первого рода, показавшее сходимость и устойчивость схем дискретизации.
3. Метод ТПС может быть использован для решения задачи выбора конструкции дереворежущего инструмента на стадии его проектирования.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Боглаев, Ю.П.* Вычислительная математика и программирование [Текст] / Ю.П. Боглаев. – М.: Высш. шк., 1990. – 544 с.
2. *Зотов, Г.А.* Повышение стойкости дереворежущего инструмента [Текст] / Г.А. Зотов, Е.А. Памфилов. – М.: Экология, 1991. – 384 с.
3. *Коздоба, Л.А.* Методы решения обратных задач теплопереноса [Текст] / Л.А. Коздоба, П.Г. Круковский. – К.: Наук. думка, 1982. – 360 с.
4. *Лыков, А.В.* Теория теплопроводности [Текст] / А.В. Лыков. – М.: Высш. шк., 1967. – 599 с.
5. *Сигорский, В.П.* Математический аппарат инженера [Текст] / В.П. Сигорский. – К.: Техника, 1975. – 768 с.
6. *Ши Д.* Численные методы в задачах теплообмена [Текст] / Ши Д. – М.: Мир, 1988. – 544 с.

Поступила 15.11.07

*V.I. Malygin, V.A. Stenin*

«Sevmashvtuz», Branch of Saint-Petersburg State Marine Technical University

#### **Mathematic Simulation of Heat Conductivity in Wood Cutting**

The method of solving problem of unsteady heat conductivity by numerical method is proposed. The simulation of the heat conductivity process with first-order boundary conditions is carried out.

Keywords: cutting element, boundary problem, unsteady heat conductivity, method of finite differences, differential equation.

