

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

---

СЕВЕРНЫЙ (АРКТИЧЕСКИЙ) ФЕДЕРАЛЬНЫЙ УНИВЕРСИТЕТ ИМЕНИ М.В. ЛОМОНОСОВА

ИЗВЕСТИЯ  
ВЫСШИХ УЧЕБНЫХ  
ЗАВЕДЕНИЙ

---

# *Лесной журнал*

**Научный журнал**

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

3 (321)

2011

ИЗДАТЕЛЬ – СЕВЕРНЫЙ (АРКТИЧЕСКИЙ)  
ФЕДЕРАЛЬНЫЙ УНИВЕРСИТЕТ ИМЕНИ М.В. ЛОМОНОСОВА

Главный редактор – д-р техн. наук, проф. **А.Л. Невзоров**  
Заместитель главного редактора – 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.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. Мозолева**, д-р техн. наук, проф. **Д.Г. Мясисhev**, 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 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 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» № 3

Подписной индекс 70368

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

---

Сдан в набор 17.05.2011. Подписан в печать 30.06.2011. Заказ № 159  
Форм. бум. 70×108 1/16. Гарнитура Таймс. Усл. печ. л. 16,728. Усл. кр.-отт. 16,728.  
Уч.-изд. л. 22,468. Тираж 1000 экз. В розничную продажу не поступает.  
Северный (Арктический) федеральный университет имени М.В. Ломоносова

---

Адрес редакции: 163002, г. Архангельск, наб. Сев. Двины, 17,  
тел./факс: 8 (818-2) 28-76-18, тел. 21-89-01  
e-mail: forest@agtu.ru http://www.lesnoizhurnal.ru

---

Свидетельство о регистрации ПИ № ФС77-42283 от 11.10.2010.

Издательство Северного (Арктического) федерального университета имени М.В. Ломоносова  
163002, г. Архангельск, наб. Сев. Двины, 17

## СОДЕРЖАНИЕ

## ЛЕСНОЕ ХОЗЯЙСТВО

- РОБАКИДЗЕ Е.А., ПАТОВ А.И. Рост хвой ели сибирской (*Picea obovata Ledeb.*) в зависимости от экологических факторов. 7
- ВАСИЛЬЕВ С.Б., ЛЕДЕНЕВ Д.А., СЕМАЕВ С.В. Особенности роста сосны кедровой сибирской на техногенных субстратах Егорьевского месторождения фосфоритов. 15
- ФЕДОРКОВ А.Л. Изменчивость хозяйственно-ценных признаков лиственницы Сукачева в клоновом архиве. 20
- КЕКИШЕВА Ю.Е., НАКВАСИНА Е.Н. Анализ ценофлоры сосудистых растений еловых лесов Плесецкого района Архангельской области. 24
- ПАНЮШКИНА Н.В. Особенности роста, развития и способы размножения можжевельника обыкновенного в Среднем Поволжье. 29
- БУЗЫКИН А.И., ПШЕНИЧНИКОВА Л.С. Изреживание и продуктивность разнотравных молодняков лиственницы сибирской. 33
- РОМАНОВ Г.Г. Симбиотическая азотфиксация ольхи серой в условиях средней подзоны тайги. 39
- ГАВРИЛОВ В.Н. Динамика формирования сосновых молодняков различного происхождения на осушенных осоково-кустарничково-сфагновых болотах в южной Карелии. 45

## ЛЕСОЭКСПЛУАТАЦИЯ

- ДРАПАЛЮК М.В., БАТИЩЕВ С.Н. Результаты теоретического исследования виброударной машины для удаления пней. 51
- ПISКУНОВ М.В. Алгоритм построения оптимальной сети лесных дорог. 58
- ДОРОХОВ С.П. Сравнительное исследование времени циклов двухзвенного манипулятора при различной организации движения его звеньев. 64

## МЕХАНИЧЕСКАЯ ОБРАБОТКА ДРЕВЕСИНЫ

## И ДРЕВЕСИНОВЕДЕНИЕ

- МОРОЗОВ В.С., БЕЛЯЕВ И.Н. Автоматизированный фотометрический метод сортировки древесины. 69
- АЛЕКСЕЕВ А.Е., ДУМАНСКИЙ И.О.,

- КОРОЛЕВ И.Ю., ЕЛЬКИН В.П., ЕРШОВ С.В., ВАСКАН Ю.В. Повышение эффективности механической переработки усыхающей древесины. 74
- МЕРКУШЕВ И.М. Динамика бездефектной сушки пиломатериалов. 83
- АГЕЕВ С.П. Энергетические режимы работы лесопильных рам. 87
- ДАВЫДОВ В.Д. Интенсификация сушки волокнистых материалов. 92

## ХИМИЧЕСКАЯ ПЕРЕРАБОТКА ДРЕВЕСИНЫ

- СМОЛИН А.С., МУРАШОВ Я.С. Влияние физико-механических характеристик материала на показатель сопротивления сжатию на коротком расстоянии. 96
- НИКОЛАЕВ Е.С., КАЯНТО И., СМОЛИН А.С., КАЗЫМОВ Д.С., МЕЩЕРЯКОВ Е.В. Изучение влияния процесса размола на электрокинетические свойства волокон и волокнистых суспензий. 103
- ДУБОВЫЙ В.К., МАРКЕЕВ Д.П., СЫСОЕВА Н.В. Влияние массы 1 м<sup>2</sup> и плотности на свойства бумагоподобных фильтровальных материалов из различных минеральных волокон. 111
- ДУБОВЫЙ В.К., МАРКЕЕВ Д.П., СЫСОЕВА Н.В. Влияние массы 1 м<sup>2</sup> и плотности на свойства бумагоподобных тепло- и шумоизоляционных материалов из различных минеральных волокон. 117

## ЭКОНОМИКА И ОРГАНИЗАЦИЯ ПРОИЗВОДСТВА

- ГОРБОВ Н.М., СЕРЕБРЯКОВ Н.В. Инновационное управление развитием малых предприятий ЛПК. 123
- КУЗМИНЫХ Ю.В., БОГАЧЕВ Ю.К. Государственное регулирование лесного экспорта в Российской Федерации. 127

## КРАТКИЕ СООБЩЕНИЯ И ОБМЕН ОПЫТОМ

- МАЛЬЦЕВ А.Н., САБУРОВ Э.Н. Физическое и численное моделирование аэродинамики циклонно-вихревой камеры с распределенным вводом газа. 134
- ЛЮБОВ В.К., РОМАНОВ А.Ю. Исследование эффективности работы отопительных котельных. 142

---

ТЕЛЬМИНОВ И.В., НЕВЗОРОВ А.Л. Исследование фильтрационных свойств верхового торфа.....	152	ВАРФОЛОМЕЕВ Ю.А. Проблемы и перспективы безопасного освоения ресурсов Арктики.....	160
ВАРФОЛОМЕЕВ Ю.А., БОГДАНОВИЧ Н.И., БОКОВА Е.М. Интеграция инновационной деятельности по разработке и производству средств защиты от последствий техногенных аварий и катастроф в Арктике и Субарктике с использованием местных сырьевых ресурсов...	155	<b>ЮБИЛЕИ</b> РЕКТОРАТ СЕВЕРНОГО (АРКТИЧЕСКОГО) ФЕДЕРАЛЬНОГО УНИВЕРСИТЕТА ИМЕНИ М.В. ЛОМОНОСОВА, РЕДКОЛЛЕГИЯ И РЕДАКЦИЯ «ЛЕСНОГО ЖУРНАЛА». Юбилей Ефима Дмитриевича Гельфанда.....	

---

## CONTENTS

**FORESTRY**

- ROBAKIDZE E.A., PATOV A.I. Needles Growth of Siberian Spruce Depending on Environmental Factors..... 7
- VASILIEV S.B., LEDENEV D.A., SEMAEV S.V. Peculiarities of Cedar Pine Growth on Anthropogenic Substrates of Egorievsky Phosphorite Deposit..... 15
- FEDORKOV A.L. Variability of Economic-valuable Characteristics of Siberian Larch in Clone Archive..... 20
- KEKISHEVA YU.E., NAKVASINA E.N. Coenflora Analysis of Vascular Plants of Spruce Forests in the Plesetsk Region of the Arkhangelsk Province..... 24
- PANYUSHKINA N.V. Peculiarities of Growth, Development and Reproduction Modes of Common Juniper in the Middle Volga Region..... 29
- BUZYKIN A.I., PSHENICHNIKOVA L.S. Thinning and Productivity of Siberian Larch Young Stands of Different Density... 33
- ROMANOV G.G. Symbiotic Nitrogen Fixation of White Alder in Middle Taiga Subzone..... 39
- GAVRILOV V.N. Formation Dynamics of Pine Young Growth of Different Origin on Drained Sedge-subshrub-sphagnum Marsh in Southern Karelia..... 45

**WOODEXPLOITATION**

- DRAPALYUK M.V., BATISHCHEV S.N. Theoretical Study Results of Vibratory Impact Machine for Stump Removal..... 51
- PISKUNOV M.V. Algorithm of Building Optimal Forest Road Network..... 58
- DOROKHOV S.P. Comparative Study of Two-link Manipulator Cycle Time under Different Organization of Its Links Motion. 64

**MECHANICAL TECHNOLOGY OF WOOD AND WOODSCIENCE**

- MOROZOV V.S., BELYAEV I.N. Automated Photometric Method of Logs Sorting..... 69
- ALEKSEEV A.E., DUMANSKY I.O., KOROLEV I.YU., ELKIN V.P., ERSHOV S.V., VASKAN YU.V. Effi-

- ciency Increase of Mechanical Processing of Drying Timber..... 74
- MERKUSHEV I.M. Dynamics of Faultless Drying of Sawn Timber..... 83
- AGEEV S.P. Energy Operation Conditions of Frame Sawmills..... 87
- DAVYDOV V.D. Intensification of Fibrous Materials Drying..... 92

**CHEMICAL TECHNOLOGY OF WOOD**

- SMOLIN A.S., MURASHOV YA.S. Influence of Physical-mechanical Characteristics of Material on Compression Strength at Short Distance..... 96
- NIKOLAEV E.S., KAYANTO I., SMOLIN A.S., KAZYMOV D.S., MESHCHERYKOV E.V. Study of Refining Effect on Electrokinetic Properties of Fibrous Slurry and Fibers..... 103
- DUBOVY V.K., MARKEEV D.P., SYSOEVA N.V. Effect of 1 m<sup>2</sup> Mass and Density on Properties of Papery Filter Materials from Different Mineral Fibers.... 111
- DUBOVY V.K., MARKEEV D.P., SYSOEVA N.V. Effect of 1 m<sup>2</sup> Mass and Density on Properties of Papery Heat- and Noise-Insulating Materials from Different Mineral Fibers..... 117

**ECONOMICS AND MANAGEMENT**

- GORBOV N.M., SEREBRYAKOV N.V. Innovation Management of Small Enterprises Development in Forest Industry..... 123
- KUZMINYKH YU.V., BOGACHEV YU.K. State Regulation of Forest Export in the Russian Federation..... 127

**SUMMARIES AND EXCHANGE OF TEACHING**

- MALTSEVA N., SABUROV E.N. Physical and Numerical Simulation of Cyclone-Vortex Chamber Aerodynamics with Distributed Gas Inlet..... 134
- LYUBOV V.K., ROMANOV A.YU. Operating Efficiency Analysis of Heating Boilers..... 142

---

TELMINOV I.V., NEVZOROV A.L. Investigation of Filtration Properties of High-moor Peat.....	152	VARFOLOMEEV YU.A. Challenges and Perspectives of Safe Development of the Arctic Resources.....	160
VARFOLOMEEV YU.A., BOGDANOVICH N.I., BOKOVA E.M. Integration of Innovation Activity on Development and Production of Protection Facilities against Industrial Accidents Consequences and Catastrophes in the Arctic and Subarctic with Use of Local Raw Resources.....	155		

---

**JUBILEES**

ADMINISTRATION OF NORTHERN ARCTIC FEDERAL UNIVERSITY NAMED AFTER M.V. LOMONOSOV, EDITORIAL BOARD AND EDITORIAL STAFF OF “LESNOI ZHURNAL”. Jubilee of Efim D. Gelfand.....

---



УДК 630\*18:582.475.2-114.44 (1-924.82)

**Е.А. Робакидзе, А.И. Патов**

Институт биологии Коми НЦ УрО РАН

Робакидзе Елена Александровна родилась в 1966 г., окончила в 1988 г. Сыктывкарский государственный университет, кандидат биологических наук, научный сотрудник отдела лесобиологических проблем Севера Института биологии Коми НЦ УрО РАН. Имеет около 50 печатных работ по изучению сезонной динамики роста хвой ели, углеводного обмена хвойных, влияния аэротехногенного загрязнения целлюлозно-бумажного производства на хвойные фитоценозы.

E-mail: robakidze@ib.komisc.ru



Патов Александр Иванович родился в 1953 г., окончил в 1979 г. Архангельский лесотехнический институт, ведущий инженер-электроник Института биологии Коми НЦ УрО РАН. Имеет около 40 печатных трудов по изучению сезонной динамики прироста сосново-еловых древостоев средней подзоны тайги и роста надземных органов сосны и ели.

Тел.: 8(8212) 24-50-03



## РОСТ ХВОИ ЕЛИ СИБИРСКОЙ (*Picea obovata* Ledeb.) В ЗАВИСИМОСТИ ОТ ЭКОЛОГИЧЕСКИХ ФАКТОРОВ

Рассмотрен рост хвой ели сибирской в ельнике черничном средней тайги. Начало роста определяется биологическими особенностями вида и экологическими факторами. Выявлена тесная связь между ростом хвой и температурой воздуха и почвы. Не обнаружена связь с влажностью почвы. Окончание роста хвой не зависит от экологических факторов и отмечается после полного развития зачаточных органов, заложенных в почке в предшествующий вегетационный период.

**Ключевые слова:** ель, хвоя, динамика роста, прирост по длине, прирост по массе, экологические факторы, температура, влажность воздуха и почвы.

Рост растений представляет собой необратимое увеличение их размеров и массы, связанное с новообразованием элементов их структуры. Он складывается из роста клеток, тканей, органов и происходит благодаря деятельности специальных образовательных тканей – меристем, где клетки активно делятся, проходят стадии растяжения и дифференциации [18]. Процесс накопления органического вещества древостоем определяется, прежде всего, интенсивностью и продолжительностью роста отдельных частей дерева. Большое внимание уделяется листу как органу, фотосинтетическая активность которого в основном обуславливает биологическую продуктивность ценозов. Хвоя является структурной

единицей побега у хвойных растений. Она играет важную роль в запасании метаболитов, расходуемых в течение многолетних циклов на построение вегетативной массы растения [7].

Каждый вегетационный сезон терминальный побег у хвойных растений начинается и завершается заложением морфологических структур почки, отчего годичный цикл его развития приобретает вид замкнутого кольца. Считается, что формирование почки вегетативного побега у *Picea* начинается весной [12]. Согласно данным В.А. Артемова [1], это справедливо лишь в отношении ее латеральных побегов. Верхушечная же меристема терминального побега образует первичные структуры почки еще в начале осени

предыдущего года. Образование зачатков хвои у *Picea* продолжается до конца вегетации. Общее их количество на побеге варьирует в зависимости от погодных условий в течение лета, положения побега в кроне и порядка ветвления [19, 12]. За период вегетации в почках закладывается различное число зачатков хвои в зависимости от положения материнских побегов в кроне дерева, порядка их ветвления, а также уровня их освещения. Переход конусов нарастания – зачатков побегов к зимнему покою сопровождается затуханием митозов, снижением содержания нуклеопротеидов, гидролизом крахмала и переводом в осмотически активные растворимые формы углеводов, повышающие устойчивость меристем к низким температурам. В период зимнего покоя в конусах нарастания практически нет морфологических изменений. К весне (в апреле) при наступлении положительных дневных температур меристематические зачатки побегов выходят из состояния зимнего покоя [21]. Н.В. Ладановой, В.В. Тужилкиной [9] в развитии листа ели сибирской выделены следующие этапы онтогенеза: 1) заложение листового бугорка, 2) апикальный рост, 3) маргинальный рост, 4) интеркалярный рост, 5) рост растяжением клеток, 6) формирование зрелой хвои. Первые три этапа в год заложения листовых зачатков внутри почки отмечены с июля до конца сентября – времени перехода к зимнему покою. В этот период закладывается вся хвоя молодых побегов. На третьем этапе (маргинальный рост) формируются инициалы мезофилла и трансфузионной ткани, детерминируется форма поперечного сечения хвои. На второй год (весной, в конце апреля) начинается четвертый этап интеркалярного роста хвои, который продол-

жается до распускания почек. В этот период внутривершинного развития происходит деление клеток и дифференциация всех тканей. Пятый этап (рост клеток растяжением) непродолжительный и завершается после освождения хвои из-под покровов почечных чешуй за 7...10 дн. На этом этапе формируются межклетники мезофилла. После завершения роста на шестом этапе (формирование зрелой хвои) оболочки клеток гиподермы, лубяных волокон, трахеид ксилемы теряют пластичность и утолщаются.

Цель данной работы – изучение роста хвои ели в зависимости от экологических факторов в ельнике черничном средней тайги.

Исследование проводили в елово-лиственном насаждении черничного типа на территории Ляльского лесо-экологического стационара (62°16' с.ш., 50°41' в.д.). Состав древостоя ЗЕЗСЗОс1Б+Пх. Ель выполняет эдифицирующую роль и представлена несколькими возрастными генерациями. Основу древостоя формируют особи 70...90 лет, встречаются единичные деревья 100–150-летнего возраста. Запас накопленной древесины – 364 м<sup>3</sup>·га<sup>-1</sup>. Древостой полнотой 1,0 относится к III классу бонитета [2].

При исследовании динамики роста хвои ели использовали метод средней хвоинки, массу которой определяли как среднее арифметическое из массы нескольких сотен хвоинок [13]. Для этого в течение вегетации каждую декаду с одних и тех же десяти деревьев ели II–III классов роста по Крафту из средней части кроны срезали 10 осевых побегов текущего года. Их длина равнялась длине эталонного побега, выбранного на каждом модельном дереве. Замеры делали обычной линейкой с точностью 1 мм. Одновременно отмечали фазы фенологического

развития дерева. Хвоинки в навеске пересчитывали для каждого дерева. По общей их массе и числу определяли массу средней хвоинки. Разница в значениях между наблюдениями составляла текущий прирост хвои по массе. В наших экспериментах в каждой навеске однолетней хвои ели на 10 побегах I–II порядка насчитывалось от 490 до 768 хвоинок (в среднем 574), III порядка – от 326 до 508 (в среднем 419). По массе этого числа хвоинок определяли массу средней. Исследованиями [20, 14] было показано, что масса хвои 2 лет и старше в абс. сухом состоянии не различается. Сезонные колебания происходят лишь за счет изменения влажности.

Температурный режим воздуха и почвы изучали в летние месяцы в 1997–1999 гг. Температуру поверхности почвы и верхних горизонтов до 20 см измеряли срочными почвенными, до 60 см – почвенными вытяжными термометрами. Влажность почвы определяли один раз в декаду по методике, разработанной А.А. Роде [17]. По данным наблюдений за ростом и развитием хвои и динамикой экологических факторов собраны результаты, обработанные с помощью корреляционного и регрессионного анализа [10].

В зависимости от метеорологических особенностей и географического положения объекта отдельные фазы роста хвои ели проявляются в различные сроки [20, 21, 3]. Отмечено, что на 2/3 она формируется внутри почки, а в стадии освобождения от почечных чешуй длина хвои уже близка к полной.

Заметное увеличение размеров почек ели в 1997 и 1998 гг. в ельнике черничном наблюдалось в третьей декаде мая. Одним из параметров, позволяющих охарактеризовать тепловой режим среды за период с момента перехода температуры воздуха через 0 °С

до начала той или иной фазы, является сумма положительных температур [20, 6]. Эмпирически установлено, что в природных условиях растения активны только тогда, когда среднесуточная температура воздуха равна или выше +5 °С [22]. Сумма положительных температур в период набухания почек достигала 252, среднесуточная температура воздуха составляла 4,8...9,8, температура органогенного горизонта почвы 0,5...4,5 °С. По данным Н.В. Ладановой [8], весной, в конце апреля, начинается этап интеркалярного роста хвои, который продолжается до распускания почек. До этого момента и после освобождения хвои из-под почечных покровов не отмечается какого-либо заметного изменения числа клеток. По нашим наблюдениям, распускание почек ели как в 1997, так и в 1998 гг. проходило во второй пятидневке июня при среднесуточной температуре воздуха соответственно 16...18 и 13...14 °С, температуре органогенного горизонта почвы 4...5 и 2...4 °С. К этому времени длина хвои в среднем составила 5...6 мм.

После раскрытия почек отмечен ее интенсивный рост (рис. 1). В период роста вне почки (к концу второй декады июня) хвоя удлиняется почти в два раза. Средние суточные приросты за этот период в 1997 г. составляли 0,07 мм (от 0,10 до 0,41 мм), в 1998 г. 0,12 мм (от 0,20 до 0,58 мм). Наибольший прирост в длину (до 0,41 мм/сут в 1997 и 0,58 мм/сут в 1998 гг.) наблюдался во второй декаде июня. В период кульминации прироста среднесуточная температура воздуха составляла 19,0...19,5 °С, а сумма положительных температур 727°. Согласно исследованиям Н.В. Ладановой [8] в процессе роста хвои в длину и формирования межклетников происходит увеличение клеток эпидермы, эндодермы и при-

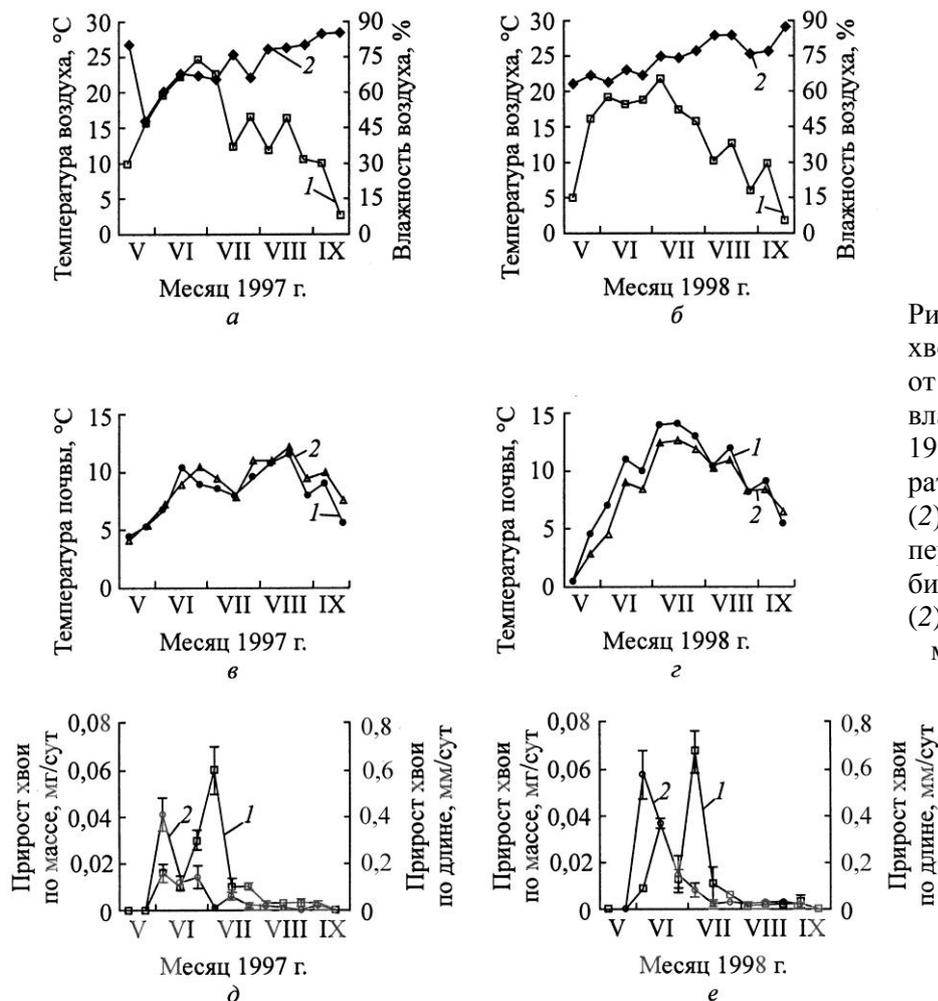


Рис. 1. Динамика роста хвой ели в зависимости от температуры и влажности в 1997 и 1998 гг.: а, б – температура (1) и влажность (2) воздуха; в, г – температура почвы на глубине 5 см (1) и 20 см (2); д, е – рост хвой по массе (1) и длине (2)

легающей к ней паренхимы трансфузионной ткани. Утолщаются оболочки клеток эпидермы, гиподермы, ксилемы, мезофилла. После увеличения линейных размеров начинается этап формирования зрелой хвой, характеризующийся увеличением ее массы, потерей эластичности и утолщением клеток гиподермы, лубяных волокон, трахеид ксилемы. Как показали наши наблюдения, средний суточный прирост массы хвой за этот период в 1997 г. составлял 0,013 мг (от 0,003 до 0,060 мг), в 1998 г. 0,014 мг (от 0,002 до 0,070 мг). Наибольший прирост хвой по массе в 1997 и 1998 гг. (до 0,06 и 0,07 мг/сут) нами отмечен во второй декаде июля. Среднесуточная температура воздуха колебалась от 21,6 до 22,5 °С.

В августе, несмотря на благоприятную погоду, ростовые процессы затухали, хотя температура воздуха и

сумма положительных температур в годы исследований находились в пределах 10,1...16,4 °С и 1744° соответственно. Полученные данные свидетельствуют о том, что прекращение роста хвой ели не связано с температурным режимом. Это подтверждается результатами исследований роста хвой *Pinus silvestris* L. [5, 6]. Вероятнее всего, подобное явление обусловлено генотипом вида.

Для выявления зависимости динамики роста хвой ели от погодных условий мы использовали линейный регрессионный анализ. Расчеты проводили с использованием данных метеостанции Усть-Вымь, представленных в «Агроклиматических бюллетенях» Коми республиканского центра по гидрометеорологии за 1997–1998 гг., а также материалов наблюдений за температурой и влажностью воздуха и

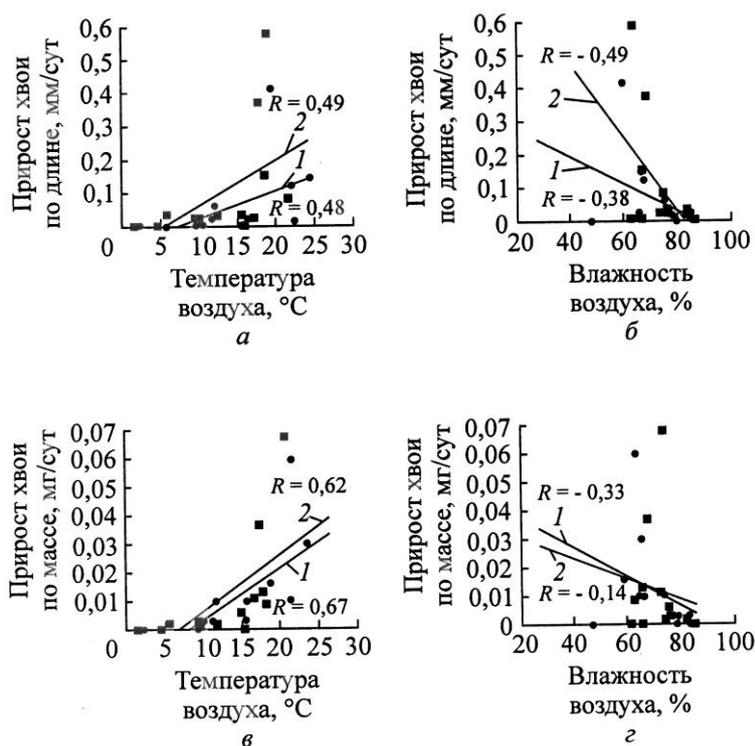


Рис. 2. Зависимость прироста хвой ели по длине (а, б) и массе (в, г) от температуры и влажности воздуха в 1997 г. (1) и 1998 г. (2)

почвы в исследуемом ценозе. Выявлена положительная динамика прироста массы хвой ели в зависимости от температуры воздуха (рис. 2). Коэффициент корреляции между этими показателями в мае – июне, июле и августе – сентябре составил в 1997 г. соответственно 0,8; 0,7 и 0,7, в 1998 г. – 0,5; 1,0 и 0,8. Прирост хвой по длине также зависит от температуры воздуха. Коэффициент корреляции между данными показателями в 1997 г. был равен 0,6; 0,3 и 0,6, в 1998 г. – 0,7; 0,3 и 0,7.

Важное лесоводственно-физиологическое значение имеет влажность воздуха. В.В. Протопопов [16] считает, что существование темнохвойного леса возможно лишь при большой влажности воздуха в течение всего года. Для лесных растений оптимальный уровень относительной влажности воздуха составляет 60...80 %. При ее дефиците усиливается физическое испарение и транспирация, снижается тургор клеток, а при большом и устойчивом дефиците проявляется увядание растений и может наступить их гибель. Высокая относительная

влажность (>80 %), удерживающаяся в течение длительного времени, также вредна. При этом могут практически прекратиться испарение влаги и транспирация, снизиться до минимума ростовые процессы [11]. Показано, что ель произрастает лишь в местностях с высокой влажностью воздуха.

Полученные результаты свидетельствуют о том, что между ростом хвой и влажностью воздуха имеет место отрицательная связь (рис. 2). Коэффициент корреляции между влажностью воздуха и приростом хвой в длину в 1997 и 1998 гг. составил соответственно – 0,4 и – 0,5. Взаимосвязь между приростом хвой по массе и влажностью практически отсутствует: – 0,3 в 1997 г. и – 0,1 в 1998 г. При изучении корреляционных связей динамики прироста хвой с относительной влажностью воздуха И.Т. Кищенко [6] отмечал, что в условиях Карелии для *Pinus silvestris* L. они либо недостоверны, либо незначительны по силе и отрицательны по характеру, а для *P. primula* и *P. sibirica* постоянно отрицательны.

Факторы почвенной среды во многом определяют направленность ростовых процессов в биогеоценозах и продуктивность фитоценозов. В 1997–1998 и 1998–1999 гг. оттаивание корнеобитаемого слоя подзолистых почв ельников наблюдалось во второй половине мая (третьей декаде). Вегетационный период 1997 г. выдался прохладным, сумма температур была ниже средних многолетних данных. В начале июня температура подстилки не превышала 5 °С, в минеральных горизонтах составляла 1...4 °С. В июне в корнеобитаемом слое почвы температура была в основном в пределах 6...8 °С. Биологически активные температуры в этом слое держались в течение 10 дн. в конце июня – начале июля и несколько дней в августе. Здесь она оставалась 8...9 °С в течение всего сезона (с кратковременными перерывами). Весной 1998 г. почва прогревалась медленно, на глубине 15...20 см и ниже находилась в мерзлом состоянии в течение всего мая и полностью оттаяла лишь в первой декаде июня. До середины июня температура почвы на глубине 0...60 см была в пределах 1...5 °С. Во второй половине июня температура воздуха поднялась выше средних многолетних значений, поэтому верхние горизонты почвы быстро прогрелись [4].

Для определения влияния температуры почвы на рост хвой мы исследовали 5- и 20-сантиметровые слои. В целом за весь период вегетации не выявлено четкой зависимости между ростом хвой и температурой почвы (рис. 3). Вместе с тем зависимость роста хвой ели в длину от температуры почвы на глубине 5 и 20 см в изучаемые годы в июне была положительной.

В 1997 и 1998 гг. коэффициент корреляции между этими показателями на глубине 5 см составил соответственно 0,3 и 0,7; на глубине 20 см – 0,5 и 0,6. В августе 1997 г., а в 1998 г. уже в июле, по мере прекращения активного роста хвой, эта зависимость имела отрицательный характер. Прирост хвой по массе также зависит от температуры почвы. Коэффициенты корреляции между данными показателями были положительными в период активной вегетации.

Исследования динамики водного режима типичной подзолистой почвы исследуемого елового сообщества выявили достаточное обеспечение хвойного фитоценоза влагой в течение большей части вегетационных периодов 1997–1998 гг. [4].

Взаимосвязь прироста хвой с влажностью почвы четко не выражена, вместе с тем она имела положительный характер, а прирост по массе – отрицательный (рис.3).

Рост хвой ели по длине и массе завершается к концу первого года вегетации. Исследованиями В.В. Смирнова [21], А.А. Молчанова и В.В. Смирнова [13], А.И. Патова [15] показано, что масса двухлетней хвой ели в абс. сухом состоянии в течение вегетации практически одинакова, сезонные изменения зависят лишь от ее влажности.

Таким образом, начало роста хвой и его скорость в течение вегетации определяются как биологическими особенностями вида, так и экологическими факторами, в частности температурой и влажностью воздуха и почвы. Распускание почек ели в условиях средней тайги в черничном типе сообщества проходило во второй пятидневке июня при среднесуточной температуре воздуха 14...18, органогенного горизонта почвы – 2...5 °С. К этому времени длина хвой в среднем составляла 5...6 мм. Наиболее интенсивный прирост хвой в длину (до 0,58 мм/сут)

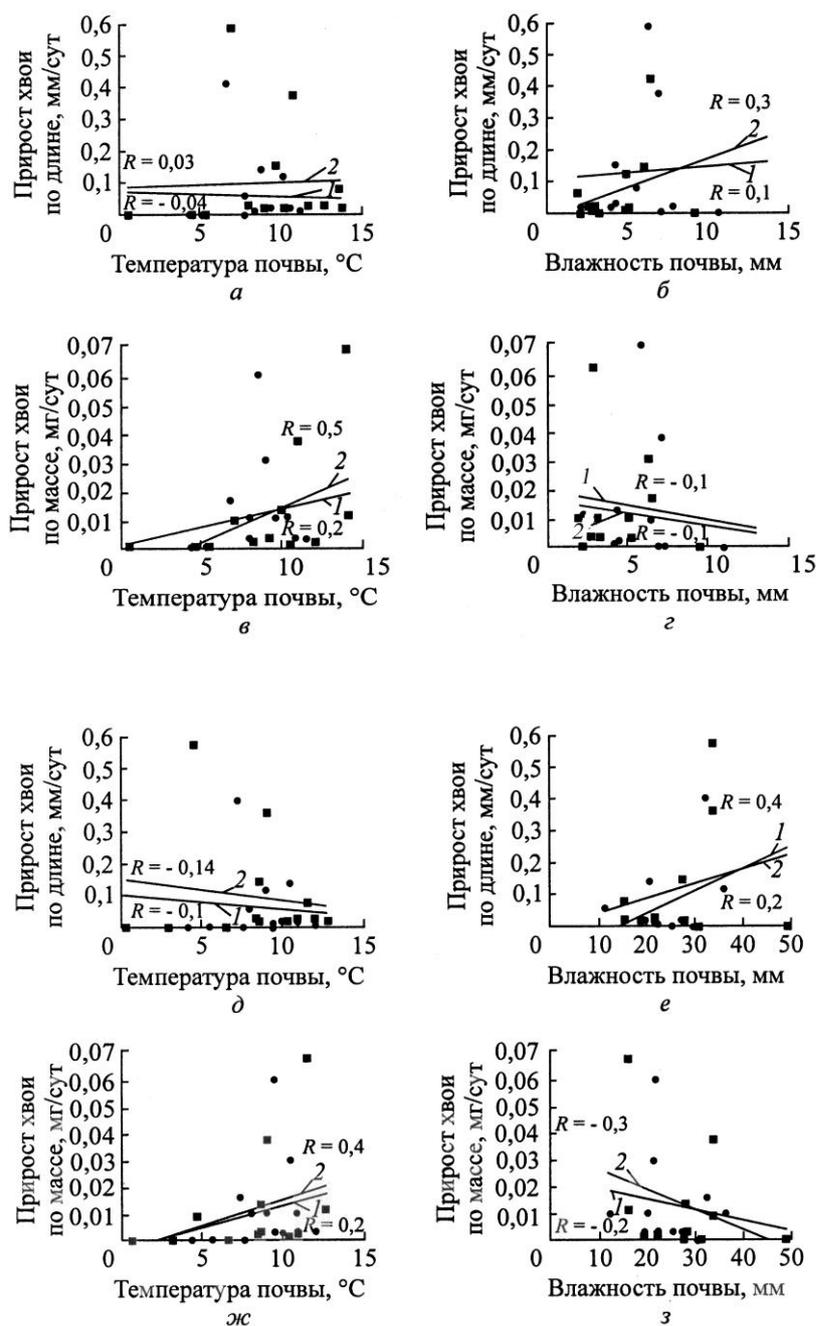


Рис. 3. Зависимость прироста хвой ели по длине (а, б, д, е) и массе (в, г, ж, з) от температуры и влажности почвы в 1997 г. (1) и 1998 г. (2) на глубине 5 см (а – г) и 20 см (д – з)

наблюдался во второй декаде июня, по массе (до 0,07 мг/сут) – во второй декаде июля. Степень влияния экологических факторов на формирование хвой в разные периоды развития различна. Выявлена тесная связь между ее ростом и температурой воздуха и почвы, не обнаружена связь с влажностью почвы. Окончание роста хвой не зависит от экологических факторов и отмечается после полного развития зачаточных органов, заложенных в почке в предшествующий вегетационный период.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Артемов В.А. Морфогенез побегов *Pinaceae*. Сыктывкар, 1976. 57 с. (Тр. Коми фил. АН СССР; Вып. 24).
2. Бобкова К.С. Еловые леса // Биопродукционный процесс в лесных экосистемах Севера. СПб.: Наука, 2001. С. 20–30.
3. Бобкова К.С., Патов А.И. Сезонная динамика роста побегов и корней // Эколого-биологические основы повышения продуктивности таежных лесов Европейского Севера / под ред. А.В. Веретенникова. Л.: Наука, 1981. С. 93–103.
4. Забоева И.В. Почвенно-экологические условия еловых сообществ //

Биопродукционный процесс в лесных экосистемах Севера / отв. ред. К.С. Бобкова, Э.П. Галенко. СПб.: Наука, 2001. С. 112–130.

5. *Кищенко И.Т.* Влияние погодных условий на сезонный рост хвой в условиях Карелии // Лесоведение. 1978. № 5. С. 36–43.

6. *Кищенко И.Т.* Сезонный рост хвой некоторых видов *Pinus L.*, интродуцированных в южную Карелию // Растительные ресурсы. 2000. Т. 36, вып. 2. С. 53–60.

7. *Козина Л.В.* Метаболизм фотоассимилятов и передвижение веществ у хвойных. Владивосток: Дальнаука, 1995. 126 с.

8. *Ладанова Н.В.* Возрастные и сезонные изменения структуры мезофилла *Picea obovata* Ledeb.: автореф. дис. ... канд. биол. наук. Воронеж, 1989. 17 с.

9. *Ладанова Н.В., Тужилкина В.В.* Структурная организация и фотосинтетическая активность хвой ели сибирской. Сыктывкар, 1992. 97 с.

10. *Лакин Г.Ф.* Биометрия. М.: Высш. шк., 1990.

11. *Луганский Н.А., Залесов С.В., Щавровский В.А.* Лесоведение. Екатеринбург, 1996. 376 с.

12. *Минина Е.Г., Ларионова Н.А.* Морфогенез и проявление пола у хвойных. М.: Наука, 1979. 216 с.

13. *Молчанов А.А., Смирнов В.В.* Методика изучения прироста древесных растений М.: Наука, 1967. 99 с.

14. *Патов А.И.* Сезонная динамика прироста сосново-елового древостоя средней подзоны тайги // Проблемы ботаники на европейском Северо-Востоке РСФСР. Сыктывкар, 1981. С. 38–44.

15. *Патов А.И.* Сезонная динамика роста надземных органов сосны и ели // Комплексные биогеоэкологические исследования хвойных лесов европейского Северо-Востока. Сыктывкар, 1985. С. 15–25. (Тр. Коми фил.; Вып. 73).

16. *Протопопов В.В.* Средообразующая роль темнохвойного леса. Новосибирск, 1975. 328 с.

17. *Роде А.А.* Методы изучения водного режима почв. М.: Изд. АН СССР, 1960. 243 с.

18. *Сабинин Д.А.* Физиология развития растений. М., 1963. 196 с.

19. *Серебряков И.Г.* Морфология вегетативных органов высших растений. М.: Сов. наука, 1952.

20. *Скупченко В.Б., Ладанова Н.В.* Дифференциация прироста побегов в кроне ели // Эколого-биологические основы повышения продуктивности таежных лесов Европейского Севера. Л., 1981. С. 103–108.

21. *Смирнов В.В.* Сезонный прирост главных древесных пород. М.: Наука, 1964. 167 с.

22. *Хильми Г.Ф.* Энергетика и продуктивность растительного покрова суши. Л., 1976. 60 с.

Поступила 31.03.09

*E.A. Robakidze, A.I. Patov*

Institute of Biology, Komi Scientific Center, Ural Branch of RAS

### **Needles Growth of Siberian Spruce Depending on Environmental Factors**

The needles growth of Siberian spruce in the bilberry spruce forest of the middle taiga is considered. The growth start is determined by biological peculiarities of the species and environmental factors. The close interrelation between needles growth and air and soil temperature is revealed. No interrelation with soil humidity is found. The end of the needles growth is not dependent on the environmental factors and is observed after the complete development of the germinative organs initiated in the bud in the preceding vegetation period.

Keywords: spruce, needles, growth dynamics, length increment, volume increment, environmental factors, temperature, air and soil humidity.

УДК 630\*22

**С.Б. Васильев, Д.А. Леденев, С.В. Семаев**

Московский государственный университет леса

Васильев Сергей Борисович родился в 1971 г., окончил в 1993 г. Московский лесотехнический институт, кандидат сельскохозяйственных наук, доцент кафедры лесных культур Московского государственного университета леса. Имеет 12 печатных работ в области рекультивации техногенно-нарушенных земель.  
E-mail: svasilyev@mgul.ac.ru



Леденев Дмитрий Александрович родился в 1986 г., окончил в 2008 г. Московский государственный университет леса, аспирант кафедры лесных культур МГУЛ. Имеет 1 печатную работу в области рекультивации техногенно-нарушенных земель.  
E-mail: ledjan86@mail.ru



Семаев Сергей Викторович родился в 1985 г., окончил в 2007 г. Московский государственный университет леса, аспирант кафедры лесных культур МГУЛ. Имеет 3 печатные работы в области интродукции сосны кедровой сибирской в европейскую часть России.  
E-mail: semaev-rosleshoz@mail.ru



## **ОСОБЕННОСТИ РОСТА СОСНЫ КЕДРОВОЙ СИБИРСКОЙ НА ТЕХНОГЕННЫХ СУБСТРАТАХ ЕГОРЬЕВСКОГО МЕСТОРОЖДЕНИЯ ФОСФОРИТОВ**

Приведены результаты исследований хода роста культур сосны кедровой сибирской, созданных на нарушенных землях Егорьевского месторождения фосфоритов.

*Ключевые слова:* сосна кедровая сибирская, интродукция, рекультивация, техногенные субстраты, Егорьевское месторождение фосфоритов.

Егорьевское месторождение фосфоритов (ЕМФ) является одним из самых крупных в России по добыче фосфоритного сырья.

Разработка месторождений полезных ископаемых сопровождается разрушением природных ландшафтов и вызывает перестройку всех составных частей, формируя новый техногенный ландшафт со всеми его отрицательными свойствами.

Для использования в хозяйстве нарушенных земель и предотвращения их вредного влияния на окружающую среду проводится рекультивация, под которой понимают искусственное восстановление земель и растительного покрова после техногенного нарушения ландшафта [6]. Наиболее перспективным видом

преобразования техногенных ландшафтов ЕМФ является лесная рекультивация земель, которая занимает более 75 % от общего объема рекультивации. Введение в искусственные лесные насаждения ценных интродуцированных пород имеет немалое лесоэкологическое значение. Расширяются ареалы ценных лесообразователей, увеличивается породное разнообразие насаждений, повышаются возможности их функционального использования [2].

Одной из перспективных пород при интродукции является сосна кедровая сибирская (*Pinus sibirica* Du Tour), входящая в подрод *Strobus*, секцию *Sembra*, ряд 3-Sibiricae. Л.П. Баранник, А.М. Шмонов [1] отмечали, что она способна расти на

Таблица 1

## Варьирование показателей роста деревьев сосны кедровой сибирской

Регион исследований	Возраст, лет	Коэффициент вариации, %			
		Высота	Диаметр	Текущий прирост в высоту	Поперечник кроны
ЕМФ	5	37,2	31,4	47,1	47,1
	9	39,4	16,1	49,9	34,2
	12	46,4	–	51,7	33,2
	20	37,0	40,0	50,1	35,0
Зона смешанных лесов [6]	5	31,0	35,0	41,0	29,0
	10	31,0	32,0	41,0	29,0
	15	28,0	47,0	34,0	33,0
	20	22,0	35,0	43,0	23,0

сравнительно бедных грунтах. Проведенные этими авторами опыты по интродукции сосны кедровой сибирской на отвалах угольных разрезов дали положительные результаты, что позволило рекомендовать ее в качестве лесообразующей при рекультивации отвалов, сложенных вскрышными горными породами.

Выполненные нами биометрические исследования роста культур сосны кедровой сибирской на ЕМФ изменяют высказываемое в основной дендрологической литературе мнение о том, что на глубоких песках она растет плохо. Изучение роста чистых культур показало, что до 5...6 лет деревья растут медленно. Далее интенсивность роста заметно повышается и с 10-летнего возраста относительно стабилизируется. Подобные временные сдвиги в росте сосны кедровой сибирской отмечены ранее и в других регионах страны как в ареале естественного произрастания, так и за его пределами [3, 4].

Хорошо известно, что в естественных условиях и при интродукции высота, диаметр и другие показатели роста сильно варьируют [4, 5]. Результаты наших исследований на техногенных субстратах также свидетельствуют о высокой вариабель-

ности показателей роста сосны кедровой сибирской (табл. 1).

Как видно из таблицы, изменчивость всех приведенных признаков деревьев сосны кедровой сибирской, произрастающих на ЕМФ, превышает 30 %, что свидетельствует о большом потенциале и перспективности этой породы для интродукции [5].

Максимальная изменчивость всех признаков наблюдается у 12-летних культур, которые растут неравномерно. Площадь участка 2,3 га, культуры сохранились на 1,8 га, а на 0,5 га произошел их полный отпад ввиду заболачивания.

Приживаемость в рядах составила 75 %, но растут деревья по-разному: от сидячих (0,3...0,4 м) до лидеров (2,4...2,7 м). В связи с этим данный участок был разбит на три выдела (табл. 2). Согласно приведенным данным различия по высоте на всех выделах достоверны ( $t_{\phi} > t_{0,05} = 2,01$ ).

Более интенсивно крона формируется у деревьев, произрастающих на выделе № 1, что связано с разным количеством питательных веществ в субстратах. Агрохимический анализ (табл. 2) показал, что на выделе № 1 больше подвижных форм азота, фосфора и калия. Содержание обменного калия ( $K_2O$ ) в субстратах

Таблица 2

**Агрохимические свойства субстрата на выделках с разными темпами роста сосны кедровой сибирской  
в 12-летних культурах (слой 0...40 см)**

№ выдела	<i>H</i> , м	<i>D</i> , см	Месяц	рН (H <sub>2</sub> O)	рН (KCl)	Гумус, %	Подвижный азот, мг/100г			P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> мг/100 г	K <sub>2</sub> O	<i>S</i> мг-экв. на 100 г	<i>H</i>	<i>V</i> , %
							N-NH <sub>4</sub>	N-NO <sub>3</sub>	N(NH <sub>4</sub> +NO <sub>3</sub> )					
1	2,03	2,2	V	5,68	4,10	0,20	3,53	0,22	3,75	7,8	10,5	0,42	1,64	20,4
			VII	5,60	4,14	0,22	1,32	0,24	1,56	11,3	17,5	0,79	1,64	32,5
			IX	5,70	4,09	0,22	1,32	0,26	1,58	8,6	11,1	1,37	1,64	45,5
2	1,47	3,4*	V	5,44	3,71	0,20	1,44	0,22	1,66	5,4	10,5	0,79	1,97	28,6
			VII	5,80	4,20	0,16	1,32	0,22	1,54	5,6	11,0	1,73	1,97	53,9
			IX	5,70	4,24	0,14	1,08	0,20	1,28	7,0	17,0	1,37	1,15	66,2
3	0,57	1,5*	V	5,71	4,08	0,20	0,96	0,18	1,14	5,4	4,5	0,79	1,97	28,6
			VII	5,65	4,05	0,24	1,57	0,25	1,62	6,3	3,5	0,61	1,97	23,6
			IX	5,80	4,12	0,20	1,32	0,28	1,60	5,0	4,5	0,79	1,64	32,5

Примечание. Звездочкой обозначен диаметр у корневой шейки; *S* – сумма обменных оснований; *H* – гидролитическая кислотность; *V* – степень насыщенности основаниями.

имеет первостепенное значение при росте культур сосны кедровой сибирской. По данным многолетних исследований [3–6] выявлено своеобразие минерального питания данной породы, в частности высокая калиефильность. Лучшие показатели роста на выделах № 1 и 2 связаны с максимальным содержанием обменного калия в субстратах. Лимитирование роста культур происходит при его минимуме (выдел № 3).

Наблюдения за сезонным ростом сосны кедровой сибирской показали, что эта порода и при интродукции сохраняет присущий ей в естественном ареале ритм процесса вегетации [5]. Появление вторичного прироста центрального побега на всех исследуемых участках свидетельствует о достаточно благоприятных условиях для роста в течение вегетационного периода на техногенных субстратах ЕМФ. На глубоких песках 10-летняя сосна кедровая сибирская формирует наиболее развитую горизонтальную корневую систему (до 10...20 м в диаметре), но без стержневого корня.

#### *Выводы*

1. Сосна кедровая сибирская на техногенных субстратах зарекомендовала себя достаточно пластичным видом. 10–12-летние культуры по приживаемости и росту не уступают культурам на естественных почвах Подмосковья.

2. В чистых культурах сосны кедровой сибирской на рекультивируемых субстратах имеет место большая вариабельность по высоте, что вполне согласуется с показателями полиморфизма в естественных популяциях и свидетельствует о высоком потенциале при интродукции, в

том числе в условиях нарушенных земель ЕМФ.

3. Первостепенное значение для успешного роста имеет содержание в субстратах доступных форм калия. Лучшие показатели роста культур отмечены в вариантах с максимумом обменного калия. Минимальное его содержание значительно (в 3–4 раза) лимитирует рост культур этой породы.

4. Сосна кедровая сибирская сохраняет присущие ей ритмы вегетации. Проявление вторичного прироста центрального побега здесь свидетельствует о перспективности этого вида в культурах на техногенных субстратах ЕМФ.

5. Многосторонняя хозяйственная ценность и положительный опыт интродукции сосны кедровой сибирской позволяют считать эту породу перспективной для разведения в лесных насаждениях защитного, орехоплодового и декоративно-рекреационного назначения на нарушенных землях ЕМФ.

6. Наши эксперименты показали возможность не только хорошего роста сосны кедровой сибирской на глубоких песках ЕМФ, но и наилучшее соответствие таким условиям произрастания, несмотря на ряд отрицательных для роста леса факторов (загазованность атмосферы, кратковременные засухи, рекреационное использование).

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Баранник Л.П., Шмонов А.М. Рекультивация земель Кемерово. Кемерово: Кемер. кн. изд-во, 1988. 67 с.
2. Васильев С.Б. Типы лесных культур на промышленных отвалах Подмосковья (на примере Егорьевского месторождения фосфоритов): автореф. дис. ... канд. с.-х. наук. М.: МГУЛ, 2000. 24 с.

3. Джафаров А.Ф., Рязанов О.А. Биохимический состав плодов облепихи на рекультивируемых землях // Садоводство. 1984. № 5. С. 24.

4. Дроздов И.И. Искусственное лесовыращивание кедра сибирского. М.: МЛТИ, 1989. 4 с.

5. Дроздов И.И. Хвойные интродуценты в лесных культурах. М.: МГУЛ, 1998. 137 с.

6. Дроздов И.И., Янгутов А.И. Методические рекомендации по изучению лесных культур интродуцированных пород. М.: МЛТИ, 1984. 40 с.

*S.B. Vasiliev, D.A. Ledenev, S.V. Semaev*

Moscow State Forest University

### **Peculiarities of Cedar Pine Growth on Anthropogenic Substrates of Egorievsky Phosphorite Deposit**

The results of growth progress studies of cedar pine on disturbed lands of Egorievsky phosphorite deposit are provided.

Keywords: cedar pine, introduction, reclamation, anthropogenic substrates, Egorievsky phosphorite deposit.

Поступила 17.11.10

УДК 582.475:630\*165

**А.Л. Федорков**

Институт биологии Коми НЦ УрО РАН

Федорков Алексей Леонардович родился в 1956 г., окончил в 1979 г. Архангельский лесотехнический институт, кандидат сельскохозяйственных наук, ведущий научный сотрудник Института биологии Коми НЦ УрО РАН. Имеет около 60 печатных работ в области лесной селекции, генетики и экологии.  
E-mail: directorat@ib.komisc.ru



## **ИЗМЕНЧИВОСТЬ ХОЗЯЙСТВЕННО-ЦЕННЫХ ПРИЗНАКОВ ЛИСТВЕННИЦЫ СУКАЧЕВА В КЛОНОВОМ АРХИВЕ**

Дана оценка генетической изменчивости высоты, диаметра, качества ствола, суковатости, доли ядровой древесины лиственницы Сукачева в клоновом архиве 20-летнего возраста.

*Ключевые слова:* лиственница Сукачева, архив клонов, изменчивость, коэффициент наследуемости.

Лиственница Европейского Севера России – быстрорастущая древесная порода с высококачественной древесиной [6, 7]. Ее ценность определяется в основном хорошей естественной устойчивостью к гниению ядровой части, образование которой у лиственницы начинается уже в 5–6-летнем возрасте [16]. Однако в Архангельской области площадь насаждений с участием лиственницы за последние 100 лет сократилась в 2–3 раза [13], в Республике Коми за последние 50 лет примерно в 1,5 раза (по данным учета лесного фонда). Причинами такого сокращения являются рубки и плохое естественное возобновление породы [6–8]. Исследователи считают, что одним из путей решения проблемы может стать создание культур лиственницы [1] с применением методов селекции [2, 9].

Лиственница, произрастающая на севере европейской части России, была отнесена Н.В. Дылисом [5] к самостоятельному виду – лиственница Сукачева (*Larix sukaczewii* Dyl.). Однако это признается не всеми исследователями [3]. В последние годы опубликованы результаты молекулярно-генетических исследований как под-

тверждающие ее генетическую обособленность [10–12, 18], так и отвергающие ее [4]. В нашей работе принята точка зрения о видовой самостоятельности лиственницы Сукачева.

Объектом исследования послужил архив клонов, заложенный посадкой 2-летних прививок плюсовых деревьев лиственницы Сукачева осенью 1989 г. в кв. 38 Эжвинского лесничества Сыктывкарского лесхоза на полностью раскорчеванной вырубке. Материнские деревья отобраны по фенотипическим признакам в 1988 г. в том же лесничестве. Площадь архива 0,6 га, размещение 6×8 м. В исследование, проведенное осенью 2008 г., были включены 11 клонов (по 3–4 раметы в каждом). Методика работы состояла в измерении высоты и диаметра, определении качества ствола, суковатости и доли ядровой древесины каждого дерева (раметы). Выделяли следующие классы качества ствола: 1 – прямой, 2 – слабо искривленный, 3 – средне искривленный и 4 – сильно искривленный. Суковатость оценивалась визуально с учетом размера сучьев, их числа и угла ветвления. Выделены следующие классы деревьев: 1 – с тонкими,

относительно короткими сучьями с острым углом ветвления; 3 – с толстыми длинными сучьями, растущими перпендикулярно к стволу; 2 – занимающие промежуточное положение между 1-м и 3-м классами. Для оценки доли ядровой древесины у каждого дерева были взяты керны на высоте груди. Долю ядровой древесины рассчитывали как отношение диаметра ядра к диаметру ствола.

Для того чтобы провести дисперсионный анализ данных, балльные оценки (качество ствола и суковатость) были приведены к нормальным величинам (NSC – normal score values), выраженным в единицах стандартного отклонения [14, 15].

Коэффициент наследуемости в широком смысле ( $H^2$ ) определяли по формуле

$$H^2 = \sigma_G^2 / \sigma_P^2,$$

где  $\sigma_G^2$  – генетическая дисперсия;

$\sigma_P^2$  – общая фенотипическая дисперсия.

Компоненты изменчивости рассчитывали путем дисперсионного анализа с помощью программы Statistica 6.0.

Дисперсионный анализ показал, что клоновая принадлежность значимо ( $p < 0,05$ ) влияет на все исследованные признаки деревьев, кроме суковатости ( $p > 0,05$ ) – табл. 1. Значительная межклоновая дифференциация этих признаков (см. лимиты в табл. 2) свидетельствует о перспективности искусственного отбора. В связи с выровненными условиями среды в архиве внутриклоновая (межраметная) изменчивость, как и следовало ожидать, была несущественной для всех признаков ( $p > 0,05$ ) (табл. 1).

Коэффициент наследуемости представляет собой долю генетической изменчивости в общей изменчивости признака. Ростовые признаки (высота и диаметр) генетически контролируются (табл. 2), и на этом строится большинство селекционных программ по повышению продуктивности искусственных насаждений.

Самый высокий коэффициент наследуемости был получен для доли ядровой древесины, самый низкий для суковатости (табл. 2). По-видимому, развитие суковатости ствола в большей мере определяется условиями

Таблица 1

## Дисперсионный анализ полученных данных

Признак	Источник варьирования	Число степеней свободы	Средний квадрат отклонений	F-критерий	p-значение
Высота ствола	Клоны	10	3,563	2,755	0,026
	Раметы	4	0,853	0,660	0,627
Диаметр ствола	Клоны	10	23,403	2,616	0,032
	Раметы	4	6,646	0,743	0,574
Качество ствола	Клоны	10	0,010	2,560	0,035
	Раметы	4	0,001	0,350	0,840
Суковатость ствола	Клоны	10	0,159	2,231	0,061
	Раметы	4	0,107	1,502	0,239
Доля ядровой древесины	Клоны	10	0,151	8,405	0,000
	Раметы	4	0,002	1,097	0,385

Таблица 2

## Значение показателей и коэффициент наследуемости признаков

Признак	Среднее (взвешенное) значение	Лимиты	$H^2$
Высота ствола, м	9,20	6,9...10,7	0,62
Диаметр ствола, см	16,00	12...22	0,60
Класс качества ствола	1,78	1...3	0,66
Класс суковатости ствола	1,89	1...3	0,47
Доля ядра	0,59	0,48...0,74	0,80

внешней среды, чем наследственностью. Очевидно, для формирования в культурах стволов лиственницы с хорошим очищением от сучьев следует применять скорее лесоводственные приемы (регулирование густоты и породного состава), чем селекционные. Оценки наследуемости, полученные в различных по лесорастительным условиям и возрасту полевых экспериментах, могут существенно различаться. В то же время значение коэффициента наследуемости, вычисленное в данной работе для доли ядровой древесины лиственницы Сукачева ( $H^2 = 0,80$ ), соответствует оценке наследуемости этого признака у лиственницы европейской ( $H^2 = 0,78$ ) во Франции [17]. Поскольку доля ядра определяет устойчивость древесины лиственницы к гниению, этот признак должен учитываться в селекционных программах.

Одной из основных причин искривлений ствола лиственницы являются осенние заморозки, повреждающие не полностью одревесневшие побеги [6, 7]. В свою очередь, ритм роста генетически обусловлен, что делает возможным индивидуальный отбор по этим скоррелированным признакам.

Таким образом, доля генетической изменчивости у ряда хозяйственно-ценных признаков лиственницы Сукачева значительна, что свидетельствует о перспективности их генетического улучшения методами селекции.

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Бабич Н.А., Гаевский Н.П. Формирование, рост и продуктивность культур лиственницы в условиях Архангельской области // Лиственничные леса Архангельской области, их использование и воспроизводство: материалы регион. рабочего совещ. Архангельск, 2002. С. 51–52.
2. Барабин А.И., Елисеев А.А. Основы закладки клоновых плантаций лиственницы в Архангельской области // Экологические проблемы Севера: межвуз. сб. науч. тр. / отв. ред. П.А. Феклистов. Архангельск: СОЛТИ, 2001. Вып.4. 231 с.
3. Бобров Е.Г. Лесообразующие хвойные СССР. Л.: Наука, 1978. 189 с.
4. Гончаренко Г.Г., Шевцова Л.А. К вопросу о генетико-таксономических взаимоотношениях между лиственницей сибирской (*Larix sibirica* Ledeb.) и лиственницей Сукачева (*Larix sukachevii* Dyl.) // Изв. Гомел. гос. ун-та. 2004. № 3. С. 43–50.
5. Дылис Н.В. Сибирская лиственница: материалы к систематике, географии и истории. М.: МОИП, 1947. 139 с.
6. Калинин В.И. Лиственница Европейского Севера. М.: Лесн. пром-сть, 1965. 91 с.
7. Кашин В.И., Козобродов А.С. Лиственничные леса Европейского Севера России. Архангельск: Изд-во Архангельск. филиала Рус. геогр. об-ва РАН, 1994. 222 с.
8. Лазарев Н.А. Рубка и возобновление леса на крайнем севере Коми АССР. Сыктывкар: Коми кн. изд-во, 1957. 40 с.
9. Попов В.Я., Файзулин Д.Х. Пути развития постоянной лесосеменной базы лиственницы Сукачева на Европейском Севере России // Лиственничные леса Архангельской области, их использование и воспроизводство: материалы регион. рабочего совещ. Архангельск, 2002. С. 126–129.

10. Путенихин В.П., Фарукишина Г.Г., Шуганов З.Х. Лиственница Сукачева на Урале. М.: Наука, 2004. 276 с.

11. Реконструкция систематического положения лиственницы Сукачева (*Larix sukachewii* Dylis) по данным секвенирования *trnK* интрона хлоропластной ДНК / С.И. Башалханов [и др.] // Генетика. 2003. Т. 39, № 10. С. 1322–1327.

12. Семериков В.Л., Ирошников А.И., Ласко М. Структура изменчивости митохондриальной ДНК и послеледниковая история лиственницы сибирской (*Larix sibirica* Ledeb.) // Экология. 2008. № 3. С. 163–171.

13. Торхов С.В., Трубин Д.В. Лиственница в лесах Архангельской области: состояние, динамика, использование // Лиственничные леса Архангельской области, их использование и воспроизводство: материалы регион. рабочего совещ. Архангельск, 2002. С. 5–21.

14. Ericsson T., Danell O. Genetic evaluation, multiple-trait selection criteria, and genetic thinning of *Pinus contorta* var. *latifolia* seed orchards in Sweden // Scandinavian Journ. of Forest Research. 1995. N 10. P. 313–325.

15. Gianola D., Norton H.W. Scaling threshold characters // Genetics. 1981. N 99. P. 357–364.

16. Martinsson O., Lesinski J. Siberian larch forestry and timber in a Scandinavian perspective. Bispgården. 2007. 92 p.

17. Pâques L.E. Genetic control of heartwood content in larch // Silvae Genetica. 2001. N 2. P. 69–75.

18. Phylogeography of *Larix sukaczewii* Dyl. and *Larix sibirica* L. inferred from nucleotide variation of nuclear genes / H.T. Neyton [et al.] // Tree genetics and genomics. 2008. N 4. P. 611–623.

Поступила 07.07.09

A.L. Fedorkov

Institute of Biology, Komi Scientific Center, Ural Branch of RAS

#### Variability of Economic-valuable Characteristics of Siberian Larch in Clone Archive

The genetic variability of height, diameter, stem quality, knots availability and share of the core wood is assessed for the Siberian larch in the 20-year old clone archive.

Keywords: Siberian larch, clone archive, variability, heritability coefficient.

УДК 581.55:630\*187

**Ю.Е. Кекишева<sup>1</sup>, Е.Н. Наквасина<sup>2</sup>**<sup>1</sup>Поморский государственный университет имени М.В. Ломоносова<sup>2</sup>Северный (Арктический) федеральный университет

Кекишева Юлия Евгеньевна родилась в 1975 г., окончила в 2004 г. Поморский государственный университет, аспирант кафедры ботаники и общей экологии ПГУ. Имеет 7 публикаций по вопросам ценотической и флористической структуры еловых лесов.

E-mail: nakvasina@agtu.ru



Наквасина Елена Николаевна родилась в 1952 г., окончила в 1975 г. Архангельский лесотехнический институт, доктор сельскохозяйственных наук, профессор кафедры лесоводства и почвоведения Северного (Арктического) федерального университета. Имеет более 200 печатных работ в области лесовосстановления и экологии экосистем.

E-mail: nakvasina@agtu.ru



## **АНАЛИЗ ЦЕНОФЛОРЫ СОСУДИСТЫХ РАСТЕНИЙ ЕЛОВЫХ ЛЕСОВ ПЛЕСЕЦКОГО РАЙОНА АРХАНГЕЛЬСКОЙ ОБЛАСТИ**

Проведен таксономический, биоморфный, типологический (географический, эколого-ценотический) анализ ценофлоры еловых лесов средней подзоны тайги (Плесецкий район). Рассмотрены особенности флоры сосудистых растений ельников в сравнении с аборигенной флорой региона.

*Ключевые слова:* ценофлора, сосудистые растения.

Активное вовлечение в хозяйственную деятельность таежных экосистем Европейского Севера обусловило потребность сохранения биологического разнообразия растительного покрова и разработки способов неистощимого его использования и обогащения. Решению этих задач должны предшествовать инвентаризация видового состава растений, оценка состояния и структуры флоры бореальных сообществ.

Плесецкий район отличается высоким уровнем ландшафтного и ценотического разнообразия, обусловленного как географическим положением региона, так и особенностями его природы. Здесь широко распространены подзолистые контактно-глееватые почвы на двучленных отложениях с близким залеганием коренных карбонатных пород, перекрытых четвертичными отложениями.

В районе широко представлены зональные темнохвойно-таежные сообщества средней подзоны тайги. На еловые леса (из *Picea abies* s. l.) приходится 60 % площади, покрытой лесом. Средний возраст древостоев 80...100 лет, полнота 0,6–0,8, класс бонитет II–Va [6]. Характерно преобладание ельников зеленомошной группы (60 %), на пониженных местоположениях с торфяно-глеевыми и перегнойно-торфяными почвами произрастают заболоченные ельники долгомошные (23 %) и сфагновые (7 %), на аллювиях в поймах рек и ручьев – травяные (10 %).

Однако коренной лесной покров нарушен рубками и пожарами. В современной структуре лесного фонда района значительную роль играют формации мелколиственных видов деревьев – осины, березы, ольхи. Значительная часть еловых лесов развивается на месте бывших рубок в ходе восстановительных сукцессий.

В ценофлоре еловых лесов отмечено не менее 160 видов сосудистых растений (17 % от региональной аборигенной флоры [10]) из 115 родов и 49 семейств. В 10 «ведущих» семействах сосредоточено 58 % всего видового богатства. Первая «тройка» в семейственно-видовом спектре типична для флор бореальной области [9] и для региональной аборигенной флоры [11]. В спектре ведущих семейств ценофлоры еловых лесов по сравнению с региональной флорой возрастает роль *Ericaceae* Juss. и *Rubiaceae* Juss. и снижается роль *Caryophyllaceae* Juss. (см. таблицу), что отражает как зональное положение сообществ, так и роль ели как почвообразователя.

В спектре широтных геоэлементов ценофлоры преобладают бореальные виды (70 %), как и в региональной аборигенной флоре. Доля бореально-неморальных видов повышена (13 % против 4 %), плюризональных – снижена (10 % против 17 %). Это свидетельствует о меньшей нарушенности ельников по сравнению со всей растительностью региона, в силу чего снижается представленность луговых и

сорно-луговых полизональных видов, а также отражает специфику ценофлоры ельников на известняках. Известно, что в бореальных лесах на карбонатных горных породах возрастает роль более «южных» (бореально-неморальных и неморальных) видов, тяготеющих к более теплым и лучше аэрируемым почвам [5].

Среди долготных геоэлементов преобладают виды с евразийским типом распространения (60 % от общего числа видов ценофлоры), что соотносится с евразийским генезисом темнохвойной тайги как класса формаций [8].

По данным анализа биоморфного спектра ценофлоры, преобладающей группой жизненных форм в ельниках являются многолетние вегетативно-подвижные травы.

В спектрах экологических групп видов по отношению к влажности почвы доминируют мезофиты (61 %), что характеризует свойства ельников как формации, но также соответствует преобладающей доле среднеувлажненных зеленомошных ельников (60 %) в общем ценоспектре еловых лесов региона.

#### «Ведущие» семейства ценофлоры еловых лесов

Семейство	Число (%) видов / ранг во флоре		% от региональной флоры
	ельников Плесецкого района	аборигенной региона [11]	
<i>Poaceae</i> Barnhard	17 (11) / 1	90 (10) / 1	19
<i>Asteraceae</i> Dumort.	16 (10) / 2	87 (9) / 2	18
<i>Cyperaceae</i> Juss.	13 (8) / 3	85 (9) / 3	15
<i>Rosaceae</i> Juss.	12 (8) / 4	46 (5) / 5	26
<i>Ranunculaceae</i> Juss.	7 (4) / 5	43 (5) / 6	16
<i>Ericaceae</i> Juss.	7 (4) / 6	9 (1) / 19	78
<i>Orchidaceae</i> Juss.	6 (4) / 7	25 (3) / 10	24
<i>Scrophulariaceae</i> Juss.	5 (3) / 8	40 (4) / 7	13
<i>Rubiaceae</i> Juss.	5 (3) / 9	9 (1) / 26	56
<i>Fabaceae</i> Lindl.	4 (3) / 10	35 (4) / 8	11
<i>Salicaceae</i> Mirb.	2 (1) / 22	29 (3) / 9	7
<i>Caryophyllaceae</i> Juss.	2 (1) / 24	49 (5) / 4	4
Итого в 10 ведущих семействах	92 (58)	529 (56)	–
В целом во флоре	160 (100)	941 (100)	17

Значительно меньше гигромезофитов и мезогигрофитов (в сумме 21 %), а также гигрофитов (14 %). Для лесов зеленомошной группы характерны наилучшие условия аэрации и дренажа почвы, что приводит к снижению роли мезогигрофитов и гигрофитов (особенно в ельниках, формирующихся на известняках). Наименее значима роль ксеромезофитов (< 5 %).

В аналогичных спектрах по отношению к фактору богатства почвы преобладают мезотрофы и мезоэвтрофы (42 и 39 %). Намного меньше олигомезотрофов (14 %), еще меньше типичных эвтрофов (4 %) и олиготрофов (1 %).

В спектре распределения видов по отношению к кислотности корнеобитаемых горизонтов почвы [10] лидируют виды из групп мезоацидофилов и субацидофилов (42 и 35 %). Вдвое меньше (17 %) перацидофилов, характерных для сильнокислых почв. Незначительно количество нейтрофилов (5 %), а также видов, предпочитающих почвы с тенденцией к повышению pH в сторону щелочной среды. Повсеместное преобладание мезо- и субацидофилов в коренных и условно-коренных хвойных лесах таежной зоны обусловлено выраженной биогенной трансформацией верхнего горизонта почвенного профиля.

В еловых лесах наблюдается большое разнообразие микроэкотопов. Это связано с существованием «оконной» мозаики [13, 3], ветровально-почвенного комплекса [1], естественных и антропогенных нарушений верхних горизонтов почвы, а также с иными причинами, определяющими возможность совместного произрастания трав и кустарничков разной экологии. На основании анализа

сводного списка флоры лесов Европейской России было предложено 10 эколого-ценотических групп растений [2], из которых в ценофлоре еловых лесов региона преобладают бореальная (совокупность таежных кустарничков и мелкотравья) и луговая (по 20 %), неморальная, высокотравная и водно-болотная (по 14 %). Немного меньше роль растений олиготрофных болот (6 %), незначительно участие видов опушечной и боровой групп.

По своему постоянству в сообществах формации виды сосудистых растений распределены следующим образом: очень часто (IV–V классы постоянства) – 11 видов (7 %), часто – 28 (18 %), спорадически – 21 (13 %), редко – 40 (25 %), очень редко – 60 (38 %). Основную роль в сложении напочвенного покрова еловых лесов играют 11 «активных» [12] видов: *Vaccinium myrtillus* L., *V. vitis-idaea* L., *Equisetum sylvaticum* L., *Maianthemum bifolium* (L.) F.W. Schmidt, *Pyrola rotundifolia* L., *Trientalis europaea* L., *Geranium sylvaticum* L., *Luzula pilosa* (L.) Wild., *Melica nutans* L., *Oxalis acetosella* L., *Linnaea borealis* L. Эти растения являются верными лесным экотопам и по преимуществу входят в темнохвойно-таежный флороценотический комплекс [9].

Подводя итоги, можно заключить, что основной группой в составе флоры еловых лесов Плесецкого района являются теневыносливые темнохвойно-таежные мезотрофные мезофиты (*Vaccinium vitis-idaea*, *V. myrtillus*, *Maianthemum bifolium*, *Oxalis acetosella*, *Pyrola rotundifolia* и др.). Их господство отражает экологические и флороценогенетические особенности ельника как формации. Условия избыточного увлажнения способствуют поселению в ель-

никах мезогигрофитов (*Equisetum sylvaticum*, *Filipendula ulmaria* (L.) Maxim., *Geum rivale* L.) и гигрофитов (виды рода *Carex* L., *Caltha palustris* L.). При накоплении торфа появляются болотные оксилофиты (*Ledum palustre* L., *Rubus chamaemorus* L. и др.). Геохимическая специфика силикатных ландшафтов при проточном переувлажнении способствует возрастанию обилия мезогигрофитов – мезоэвтрофов (*Filipendula ulmaria*, *Geum rivale* и др.). Напротив, в условиях свободного дренажа, что более обычно для ельников на известняках, усиливают свои позиции ксеромезофиты и луговые мезофиты, приуроченные к нарушенным участкам с истонченной подстилкой (*Trifolium medium* L., *Hypericum perforatum* L.). В еловых лесах района отмечено четыре редких вида сосудистых растений. Из них два (*Cypripedium calceolus* L. и *Epipogium aphyllum* (F.W. Schmidt) Sw.) подлежат охране на территории всей России [7] и два (*Epipactis helleborine* (L.) Crantz, *Pulsatilla patens* (L.) Mill.) – на территории Архангельской области [4]. Находки *Epipogium aphyllum* являются новыми для области. Большинство находок редких видов приурочено к сообществам ландышево-черничных ельников (*Piceetum myrtillosum* subass. *rubosum* var. *Convallaria majalis*), формирующихся на выходах известняков. Указанные сообщества заслуживают охраны в качестве как рефугиумов охраняемых растений, так и специфичных для региона редких сообществ на северном пределе ареала *Convallaria majalis* L.

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Васнев И.И., Таргульян В.О. Ветро-вал и таежное почвообразование (режимы, процессы, морфогенез почвенных условий). М.: Наука, 1995. 247 с.
2. Заугольнова Л.Б., Морозова О.В. Типология и классификация лесов Европейской России: методические подходы и возможности их реализации // Лесоведение. 2006. № 1. С. 20–48.
3. Коротков В.Н. Современная лесная парадигма (или Гар-парадигма) // Восточноевропейские широколиственные леса. М.: Наука, 1994. С. 62–74.
4. Красная книга Архангельской области. Архангельск: Администрация Архангельской обл., 2008. 351 с.
5. Лархер В. Экология растений. М.: Мир, 1976. 384 с.
6. Лесной фонд России (по данным государственного учета лесного фонда по состоянию на 01.01.1998): справочник. М.: Изд-во ЛФ РФ, 1999. 211 с.
7. Об утверждении перечней (списков) объектов растительного мира, занесенных в Красную книгу Российской Федерации и исключенных из Красной книги Российской Федерации (по состоянию на 1 июня 2005 г.): Приказ Министерства природных ресурсов РФ № 289 от 25 октября 2005 г. // Информационно-правовой портал КАДИС, [http://www.kadis.ru/texts/index\\_phtml?id=10375](http://www.kadis.ru/texts/index_phtml?id=10375), вход от 20.09.2008.
8. Толмачев А.И. К истории возникновения и развития темнохвойной тайги. М.; Л.: Изд-во АН СССР, 1954. 156 с.
9. Толмачев А.И. Введение в географию растений. Л.: Изд-во ЛГУ, 1974. 244 с.
10. Цыганов Д.Н. Фитоиндикация экологических режимов в подзоне хвойно-широколиственных лесов. М.: Наука, 1983. 197 с.
11. Шмидт В.М. Флора Архангельской области. СПб.: Изд-во С.-Петербург. ун-та, 2005. 346 с.
12. Юрцев Б.А. Флора Сунтар-Хаята: Проблемы истории высокогорных ландшафтов Северо-Востока Сибири. Л.: Наука, 1968. 236 с.

13. *Watt A.S.* On the ecology of the British beechwoods with special reference to their regeneration. 2, sect. 2, 3: The development and structure of beech communities of the Sussex Downs // *J. Ecol.* 1925. Vol. 13. P. 27–73.

Поступила 09.02.09

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

<sup>1</sup>Pomor State University named after M.V. Lomonosov

<sup>2</sup>Northern (Arctic) Federal University

### **Coenflora Analysis of Vascular Plants of Spruce Forests in the Plesetsk Region of the Arkhangelsk Province**

The taxonomic, biomorphological, typological (geographical, ecological) analysis for spruce forests coenflora of the middle taiga subzone (the Plesetsk region) is carried out. The peculiarities of vascular plants flora in spruce forests are analyzed in comparison with the native flora of the region.

Keywords: coenflora, vascular plants.



УДК 674.032.477.62:581.16(470.4)

**Н.В. Панюшкина**

Марийский государственный технический университет

Панюшкина Наталья Владимировна родилась в 1975 г., окончила в 1997 г. Марийский государственный технический университет, аспирант кафедры лесных культур и механизации лесохозяйственных работ МарГТУ. Область научных интересов – озеленение, размножение декоративных древесных растений.  
E-mail: nmr@marstu.net



## **ОСОБЕННОСТИ РОСТА, РАЗВИТИЯ И СПОСОБЫ РАЗМНОЖЕНИЯ МОЖЖЕВЕЛЬНИКА ОБЫКНОВЕННОГО В СРЕДНЕМ ПОВОЛЖЬЕ**

Исследовано формовое разнообразие можжевельника обыкновенного в различных лесорастительных условиях Среднего Поволжья. Исследованы урожайность и посевные качества семян. Рассмотрено влияние стимуляторов роста на укоренение черенков можжевельника при его вегетативном размножении.

*Ключевые слова:* можжевельник обыкновенный, формовое разнообразие, семеношение, стимуляторы роста, укореняемость.

Можжевельник обыкновенный *Juniperus communis* L. (сем. *Cupressaceae*) в Среднем Поволжье встречается в основном как представитель подлеска сосновых лесов. Он обладает декоративностью, высокой фитонцидностью, почвоулучшающей способностью, является ценным лекарственным растением. Весьма перспективно использование можжевельника для зеленого строительства в загазованных и задымленных районах, промышленных центрах и вокруг химических предприятий. В настоящее время в рекреационных лесах Среднего Поволжья он находится на грани исчезновения и занесен в Красную книгу [4].

Изучением особенностей размножения можжевельника занимались А.И. Северова [6], К.Д. Мухамедшин, Н.К. Таланцев [5], С.В. Харламова [7] и др., но малая изученность таких вопросов, как формовое разнообразие, технология создания насаждений с его участием и более широкое использование в практике озе-

ления городов и создания ландшафтных культур, требует проведения дальнейших исследований.

Целью нашей работы являются: изучение формового разнообразия, особенностей роста, развития и семенного размножения, а также исследование влияния некоторых современных стимуляторов роста на укоренение черенков можжевельника обыкновенного при его вегетативном размножении. Были заложены постоянные пробные площади (ПП) с учетом рекомендаций А.А. Корчагина [3] и М.Д. Данилова [1]. На этих площадях учитывали урожай шишкочагод и измеряли биометрические показатели растений можжевельника: высоту растения, прирост в высоту, диаметр ствола на высоте груди.

При детальном обследовании особое внимание уделяли учету формового разнообразия и оценке общего состояния можжевельника обыкновенного на пробных площадях. Было выявлено, что в лесах Среднего Поволжья встречаются три его формы:

Таблица 1

Лесхоз	Год закладки пробной площади	№ ПП	Число экземпляров на 1 га, шт.	Встречаемость особей, %			
				древовидных	кустарниковых	мужских	женских
Кокшайский	2007	1	5 000	25,0	75,0	83,3	16,7
		2	1 176	–	100,0	76,5	23,5
		3	8 289	26,3	73,7	63,2	36,8
Мариинско-Посадский	2005	1	5 510	57,0	43,0	34,0	66,0
		2	4 546	100,0	–	54,0	46,0
		3	2 679	66,0	34,0	54,0	46,0
«	2007	4	1 228	79,0	21,0	36,0	64,0
		1	9 167	77,0	23,0	56,7	43,3
		2	16 333	66,7	33,3	37,0	63,0
		3	16 154	80,8	19,2	50,0	50,0
		4	4 500	68,2	31,8	54,5	45,5

две древовидные (узкопирамидальная и повислая) и кустарниковая. Характеристика можжевельниковых насаждений на пробных площадях приведена в табл. 1 (в Кокшайском лесхозе – тип лесорастительных условий А<sub>2</sub>, в Мариинско-Посадском – D<sub>2</sub>).

На пробных площадях с хорошей освещенностью и плодородными почвами на 1 га насчитывается до 16 000 экземпляров, в условиях сухих и свежих боров и под пологом древостоя густота меньше. На площадях, заложенных в сухих и свежих борах, преобладает кустарниковая форма можжевельника обыкновенного; мужских особей почти в два раза больше, чем женских. В дубравах лидирует древовидная форма высотой от 3 до 8 м; доля мужских и женских особей почти одинакова.

Для изучения урожайности и качества семян в начале сентября производили сбор шишкоягод. Их количество на одном кусте зависит от условий произрастания и индивидуальных особенностей растений. Масса шишкоягод на одном растении в условиях свежей дубравы составляет для кустарниковой формы 77...78, для древовидной 250...300 г. Выявлены различия в размерах, показателях массы, доброкачественности семян, собранных в разные годы.

Семена можжевельников прорастают медленно, всходы появляются только на второй год после посева. Отмечается очень низкая грунтовая всхожесть семян (до 5 %) [7]. Высота однолетних сеянцев варьирует в пределах 2,0...4,5 см. Средний ежегодный прирост составляет 2...3 см, что свидетельствует о медленном росте сеянцев можжевельника обыкновенного в первые годы жизни.

Для получения качественного посадочного материала в короткие сроки можжевельник размножают черенками. Повысить вероятность укоренения и ускорить процесс корнеобразования можно с помощью стимуляторов роста. Использовали такие препараты, как эпин-экстра (д. в. – эпибрасинолид) – регулятор и адаптоген широкого спектра действия, обладающий сильным антистрессовым действием, синтезированный аналог природного вещества, и корнерост (д. в. – гетероауксин). Для опыта были приготовлены водные растворы эпин-экстры концентрацией 0,2 мл/л и корнероста концентрацией 200 мг/л. Контролем служили черенки, замоченные в воде. Концентрации растворов стимуляторов и продолжительность обработки подбирали в зависимости от состояния черенков [2].

Таблица 2

Стимулятор	Прирост				Длина корня			
	<i>M</i> , см	$\sigma$ , см	<i>m</i> , см	<i>C</i> , %	<i>M</i> , см	$\sigma$ , см	<i>m</i> , см	<i>C</i> , %
Эпин-экстра	1,28	1,12	0,29	87,75	4,75	3,57	0,84	75,06
Корнерост	2,41	1,58	0,38	65,56	9,26	6,45	1,56	69,64
Контроль	1,50	1,27	0,30	85,01	7,11	4,81	1,13	67,59

Зеленые черенки можжевельника обыкновенного нарезали с «пяткой» в конце мая. Влажность побегов составляла 60 % к абс. сухой массе. Обработанные в течение 10 ч черенки высаживали в пленочный парник по схеме 4 см в рядах и 9 см между ними. Субстрат представляет собой смесь легкой листовой земли и песка, верхний слой – просеянный речной песок толщиной 3...4 см. Влажность почвы и воздуха поддерживали систематическими поливами. В солнечные дни с высокой температурой воздуха парник проветривали, растения притеняли.

Учет, проведенный в конце вегетационного периода (сентябрь 2006 г.), показал наиболее высокую укореняемость черенков можжевельника обыкновенного, обработанных эпин-экстрой (85 %). При обработке корнеростом укореняемость была также выше, чем у контрольных.

Весной следующего года выжившие растения были высажены в открытый грунт, в качестве субстрата использована смесь листовой земли и песка. Длина корней пересаживаемых растений варьировала в широких пределах, от 1 до 28 см. Данные о приросте растений и длине их корней представлены в табл. 2.

Наилучшие показатели наблюдались у черенков, обработанных раствором корнероста: средняя длина корней 9,26 см, прирост в среднем 2,41 см. Черенки, обработанные раствором эпин-экстры, пострадали в зимний период и имели низкую сохранность. Прирост двухлетних саженцев в среднем составил 8,0...12,5 см.

Высота и диаметр ствола у корневой шейки у трехлетних саженцев приведены в табл. 3. Необходимо отметить, что около 45 % трехлетних саженцев имеют высоту ствола более 50 см. Наилучших показателей достигли растения из черенков, обработанных раствором корнероста.

Проведенные исследования позволяют сделать следующее заключение. Сеянцы можжевельника обыкновенного растут медленно, в трехлетнем возрасте они имели высоту в среднем 9...12 см. При вегетативном размножении зелеными черенками растения к этому возрасту достигли высоты в среднем 27...32 см. Отдельные экземпляры имеют высоту 70...80 см, что дает возможность отбирать быстрорастущие биотипы и использовать их в качестве маточников для вегетативного размножения.

Таблица 3

Стимулятор	Высота растения					Диаметр ствола у корневой шейки			
	Lim, см	<i>M</i> , см	$\sigma$ , см	<i>m</i> , см	<i>C</i> , %	<i>M</i> , см	$\sigma$ , см	<i>m</i> , см	<i>C</i> , %
Эпин-экстра	6...69	27,93	16,99	4,90	60,82	41,9	24,49	5,22	35,55
Корнерост	22...80	32,04	11,80	3,15	36,82	53,3	28,58	7,14	53,61
Контроль	16...70	30,03	9,29	2,25	30,92	53,1	25,84	5,51	48,62

Наиболее декоративной является древовидная форма можжевельника обыкновенного, которую целесообразно более широко применять для озеленения городов и населенных пунктов.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Данилова М.Д. Растительность Марийской АССР. Йошкар-Ола, 1956. 146 с.
2. Комиссаров Д.А. Биологические основы размножения древесных растений черенками. М.: Лесн. пром-сть, 1964. 291 с.
3. Корчагина А.А. Методы учета семенности кустарников. Полевая геоботаника. М.; Л., 1960. Т. 2.
4. Красная книга Чувашской Республики / Гос. ком. Чуваш. Респ. по охране окружающей среды и др.; авт.-сост. Л.Н. Иванов; гл. ред. А.В. Дмитриев. Чебоксары. Т. 1. 4.1. Редкие и исчезающие растения и грибы. 2001. 274 с.
5. Мухамедшин К.Д., Таланцев Н.К. Можжевельниковые леса. М.: Лесн. пром-сть, 1982. 184 с.

6. Северова А.И. Вегетативное размножение хвойных древесных пород. М.; Л.: Гослесбумиздат, 1958. 144 с.

7. Харламова С.В. Размножение можжевельника обыкновенного в республике Марий Эл: дис. ... с.-х. наук. Йошкар-Ола, 1997. 150 с.

Поступила 03.02.09

*N.V. Panyushkina*

Mari State Technical University

#### **Peculiarities of Growth, Development and Reproduction Modes of Common Juniper in the Middle Volga Region**

The form diversity of common juniper is studied in the different forest-growing conditions of the Middle Volga Region as well as its productivity and seed quality. The influence of growth-promoting factors on juniper grafts rooting under its vegetative reproduction is considered.

Keywords: common juniper, form diversity, seed-bearing, growth-promoting factors, rooting.

УДК 630\*232.324.3

**А.И. Бузыкин, Л.С. Пшеничникова**

Институт леса им. В.Н. Сукачева СО РАН

Пшеничникова Лариса Семеновна родилась в 1946 г., окончила в 1968 г. Сибирский технологический институт, кандидат сельскохозяйственных наук, старший научный сотрудник лаборатории лесоведения Института леса им. В.Н. Сукачева СО РАН. Имеет 150 печатных работ по вопросам лесоведения, лесоводства.  
E-mail: taiga@ksc.krasn.ru



## ИЗРЕЖИВАНИЕ И ПРОДУКТИВНОСТЬ РАЗНОГУСТОТНЫХ МОЛОДНЯКОВ ЛИСТВЕННИЦЫ СИБИРСКОЙ

Рассмотрена роль густоты посадок лиственницы сибирской в регулировании собственной плотности и продуктивности 25-летних ценозов.

*Ключевые слова:* густота ценоза, естественное изреживание, особенности отпада, продуктивность молодняков.

Естественные древесные ценозы в однородных лесорастительных условиях и в пределах одного возраста очень вариабельны по густоте. Фактор густоты в лесоэкологических, лесоводственных и таксационных исследованиях существенно усложняет получение однозначной информации о структуре и продуктивности лесных экосистем вследствие того, что адекватная оценка роли густоты возможна на основе анализа многовариантных разногустотных рядов. Использование несистемных, а также случайных или отдельных вариантов обычно не приносит значимого результата сверх того, что густоту древесных ценозов надо как-то учитывать [1, 2, 4, 8]. Можно ожидать, что лишь многовариантные ряды, характеризующие густоту в широких пределах (от роста деревьев в свободном стоянии до загущенных и очень густых древесных ценозов, имеющих десятки и сотни тысяч особей на 1 га), являются наиболее информативными и адекватными объектами исследования и оценки роли плотности древесных ценозов.

Выбор объектов должен удовлетворять следующим основным требо-

ваниям: 1) одновозрастность разногустотных объектов; 2) однородность лесорастительных условий на достаточной площади для закладки 15...20 пробных площадей; 3) существенно бóльшая амплитуда древесных ценозов по густоте, представляющая густотный ряд. Опыт показывает, что указанные требования и ограничения сложно реализовать в естественно сформировавшихся ценозах [2]. Эти трудности снимаются созданием разногустотных посадок и наблюдениями за их состоянием, структурой, ростом и продуктивностью.

В обширных районах Восточной Сибири с разнообразными лесорастительными условиями нет посадок древесных пород разной густоты, представляющих густотный ряд, хотя на значительных площадях создаются лесные культуры и ведутся другие лесовосстановительные работы.

В 1982 г. сотрудниками Института леса СО РАН под руководством А.И. Бузыкина в южной подзоне тайги (Большемуртинский лесхоз Красноярского края) на серых лесных почвах в однородных условиях плакорной растительности созданы посадки 2-летних

сеянцев лиственницы, сосны и ели сибирской 18 вариантов густоты: 0,5, 0,75, 1, 1,5, 2, 3, 4, 6, 8, 10, 12, 16, 24, 32, 48, 64, 96, 128 тыс. экз.·га<sup>-1</sup>. В каждом варианте высаживалось не менее 500 растений, а для вариантов с густотой 48...128 тыс. экз.·га<sup>-1</sup> на 10...40 % больше. Площадь каждого участка определялась густотой варианта и была близка к квадратной. Варианты посадок каждой породы примыкали друг к другу, образуя блоки, отделяемые 5-метровым разрывом. Общая площадь экспериментальных посадок составила 17 га. Ряды, контактирующие с разрывами, исключались из рассмотрения для устранения опушечных (краевых) эффектов. Эксперимент рассчитан на получение информации о структуре, росте, продуктивности, биометрических и других зависимых от густоты ценозов характеристик. Работа выполнялась по известным методикам [2].

Особый интерес представляет изменение густоты в процессе естественного изреживания (рис. 1). Рост древесных ценозов разной плотности – от загущенного состояния до свободного роста в редких посадках – сопровождается уменьшением их густоты с возрастом в процессе стохастического в первые годы, а затем и дискриминационного отпадов. Основой выживания

и противостояния дискриминационному отпаду каждой особи является способность адаптироваться к среде существования и конкурировать за жизненно важные экологические ресурсы. Она закодирована в генотипе древесных растений, что позволяет им изменять свою индивидуальную фитомассу при различном положении в ярусе естественных одновозрастных ценозов до 10<sup>2</sup>–10<sup>3</sup> раз. В разногустотном ряду 25-летних экспериментальных посадок лиственницы деревья минимальных и максимальных диаметров (1 и 27 см) и высот (1,8 и 12,7 м) по массе различаются в сотни раз. Способность деревьев как особой жизненной формы регулировать физиолого-биохимические и ростовые процессы в беспрецедентно широкой амплитуде в пределах одного возраста и одних лесорастительных условий можно рассматривать как генетически обусловленное приспособление к существованию в сформированных ими различных по плотности ценозах. Эта способность, вероятно, является причиной различных результатов и точек зрения в исследованиях по густотной тематике в лесоведении.

Особенности роста деревьев в высоту и по диаметру отражает соотношение  $H/D$ , именуемое относительной высотой [3]. Конкуренция за свет

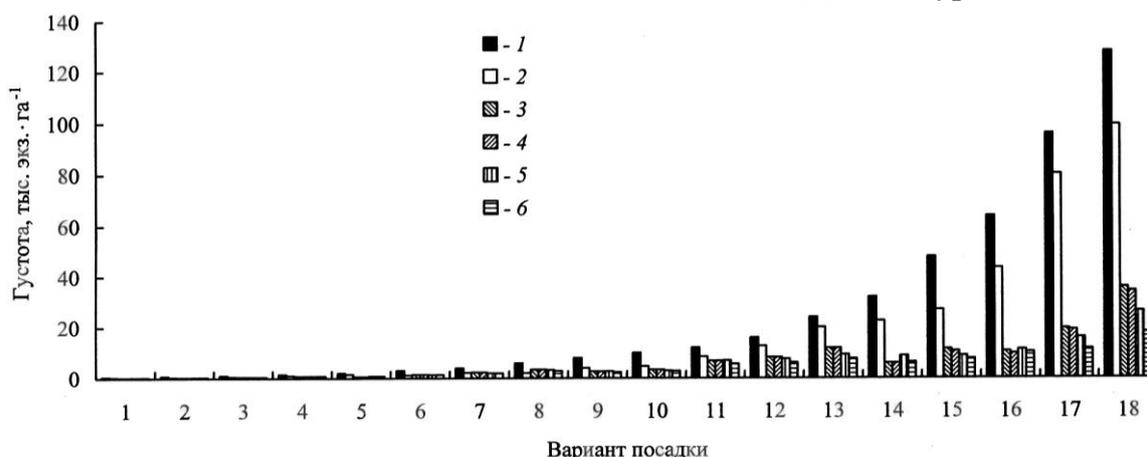


Рис. 1. Начальная (1) и последующая (2–6) густота лиственничных ценозов соответственно в 5-, 12-, 17-, 20- и 25-летнем возрасте по вариантам посадки

и другие ресурсы в густых ценозах «подгоняет» рост деревьев в высоту и ослабляет его по диаметру. В молодняках лиственницы использовано соотношение  $H/D_{0,1H}$ , поскольку часть деревьев, особенно в раннем возрасте, не достигает высоты 1,3 м. Амплитуда  $H/D$  деревьев в разнототных ценозах находится в широких пределах: максимальна в самых густых (120...360) и минимальна в самых редких (50...110) – рис. 2. Дискриминационный отпад происходит среди деревьев с наибольшими значениями  $H/D$ . В условиях свободного роста различия в  $H/D$  с большей вероятностью можно объяснить генотипической изменчивостью роста деревьев.

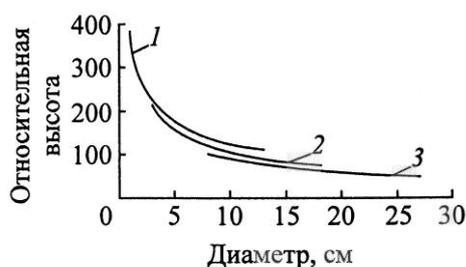


Рис. 2. Относительная высота деревьев в 25-летних лиственничных ценозах разной густоты посадки: 1 – 128 тыс. экз.·га<sup>-1</sup>,  $y = 381,72x^{-0,4748}$ ,  $R^2 = 1$ ; 2 – 10 тыс. экз.·га<sup>-1</sup>,  $y = 409,3x^{-0,5831}$ ,  $R^2 = 1$ ; 3 – 1 тыс. экз.·га<sup>-1</sup>,  $y = 317,12x^{-0,5524}$ ,  $R^2 = 1$

Средние показатели  $H/D$  по всем ценозам густотного ряда демонстрируют эффект плотности ценозов за счет изменения формы стволов. Он проявляется в увеличении с 5- до 25-летнего возраста амплитуды средних показателей отношения  $H/D$  в 3,5 раза. Возрастное размаха амплитуды  $H/D$  произошло за счет вариантов густых посадок (16...128 тыс. экз.·га<sup>-1</sup>). Верхний и нижний пределы амплитуды и изменение средних  $H/D$  для всего густотного ряда аппроксимируются уравнениями параболической функции (рис. 3).

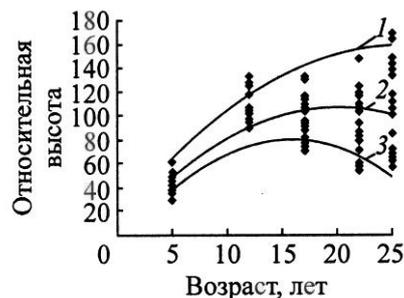


Рис. 3. Изменение средней относительной высоты разнототных лиственничных ценозов с возрастом: 1, 3 – верхний и нижний пределы амплитуды относительных высот, соответственно  $y = -0,2064x^2 + 10,95x + 16,1$ ,  $R^2 = 0,9252$  и  $y = -0,3761x^2 + 11,891x - 14,169$ ,  $R^2 = 0,7102$ ; 2 – средняя относительная высота для густотного ряда,  $y = -0,2564x^2 + 10,426x + 1,4927$ ,  $R^2 = 0,79$

Характеристикой изреживания ценозов разнототного ряда с возрастом является сужение амплитуды показателей текущего отпада и густоты сохранившейся живой части ценозов. Если по всему густотному ряду крайние значения густоты начальной посадки различались в 256 раз, то в 25-летних ценозах – в 89. Исходя из фактической численности живых деревьев и отпада, следует, что разнототность абсолютно одновозрастных ценозов в одних и тех же лесорастительных условиях за 25 лет сохраняется на очень высоком уровне, хотя амплитуда показателей густотного ряда от посадки (0,5...128 тыс. экз.·га<sup>-1</sup>) сужается к 25-летнему возрасту до 0,2...18 тыс. экз.·га<sup>-1</sup>, т. е. в 7,2 раза (рис. 4, кривые соответствуют вариантам густоты посадки).

Показательна роль густоты в ростовых (продукционных) процессах древесных ценозов. В течение 25 лет разнототные лиственничные молодняки по результатам таксации в 12, 17, 20 и 25 лет демонстрируют тесную связь запаса стволовой древесины с густотой

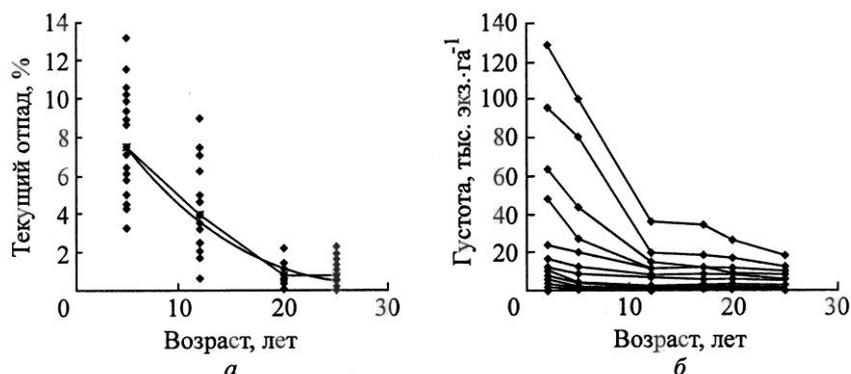


Рис. 4. Изменение амплитуды значений годовичного текущего отпада (а) и густоты (б) ценозов лиственницы с возрастом,  $y = 0,0161x^2 - 0,8311x + 11,259$ ,  $R^2 = 0,9911$

ценозов в ряду от свободного роста деревьев до сильного загущения (рис. 5). На начальном отрезке кривых запас древесины увеличивается пропорционально густоте, затем приближается к «плато» возможной колоколообразной кривой [2]. При этом максимум запаса с возрастом приходится на ценозы с меньшей густотой. При густоте 18 тыс. экз.·га<sup>-1</sup> лиственничные 25-летние ценозы имеют запас 350 м<sup>3</sup> и средний годовой прирост 14 м<sup>3</sup>·га<sup>-1</sup>, что в 2 раза выше продуктивности лиственничников Ia–I классов бонитета с полнотой 1,0.

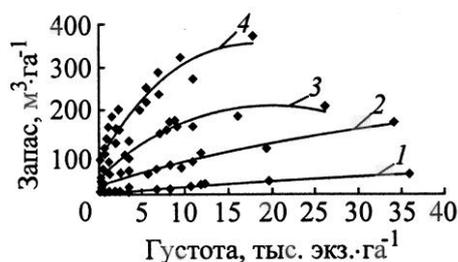


Рис. 5. Зависимость запаса стволовой древесины от густоты лиственничных ценозов: 1 – в возрасте 12 лет,  $y = -0,0061x^2 + 1,5474x + 2,2787$ ,  $R^2 = 0,9654$ ; 2 – 17 лет,  $y = -0,0533x^2 + 5,9997x + 21,026$ ,  $R^2 = 0,8918$ ; 3 – 20 лет,  $y = -0,347x^2 + 15,681x + 36,401$ ,  $R^2 = 0,8926$ ; 4 – 25 лет,  $y = -0,7212x^2 + 29,346x + 74,548$ ,  $R^2 = 0,8718$

Рост древесных ценозов происходит на фоне разнообразных взаимодействий между растениями, основными из которых являются конкурентные. Степень и характер взаимодействий растений зависят от их плотности

(густоты) в ценозах. В свою очередь, ценозы сами выступают регулятором густоты. Основой такой саморегуляции системы «взаимодействия организмов в ценозе ↔ плотность ценоза» является относительно замкнутый биокруговорот веществ и ограниченность ресурсов среды или некоторых ее элементов в лесных биогеоценозах [5, 7].

Густота представляет собой важный структурно-функциональный показатель ценоза, с ней связаны жизненно важные ресурсы среды, приходящиеся на одну особь. Если бы естественные механизмы регуляции однозначно приводили численность ценоза в соответствие с экологическими условиями и ресурсами среды, то задача выявления целевой и оптимальной густоты или ее экологической роли решалась бы сравнительно просто. Однако функционирование этих механизмов регуляции осложняется широкой амплитудой морфофизиологической адаптации к эколого-фитоценотической среде. В пределах ценоза (ценопопуляции) показатели фитомассы растений одного и того же возраста, как уже отмечалось, могут различаться в  $10^2$ – $10^3$  раз и более.

Размеры деревьев в реальном ценозе и его густоту нужно рассматривать как результат существования в нем подвижного единства экологически и биологически детерминированных

механизмов регуляции плотности ценопопуляции и реакции древесных растений через ростовые процессы и соответствующие им размеры особей на экологическую и фитоценотическую обстановку. В условиях высокой плотности в процессе роста ценоза первый механизм направлен на элиминацию лишних особей, второй – на выживание возможно большего числа индивидуумов и поддержание высокой численности за счет депрессии роста, снижения размеров особей, перестройки их морфоструктуры и физиолого-биохимических процессов. В последнее время дендрофизиологами и биохимиками получены весьма интересные данные о зависимости метаболизма древесных растений от густоты ценозов, обусловленные влиянием ценотического стресса на рост деревьев [6, 9]. Выделение результатов действия этих механизмов в «чистом» виде представляет значительные трудности. Есть основание полагать, что биологически детерминированная реакция древостоя на загущение без анализа густотных рядов может приниматься за экологически обусловленные густоту и рост древостоев.

#### *Выводы*

Фактическая плотность древесных ценозов и ее густотные градиенты определяют величину ресурсов среды, включая пространство роста, используемые каждой особью и ценозами в целом в процессе роста и развития. В лесоэкологических исследованиях целесообразно оперировать прямыми, а не расчетными показателями плотности некоторого множества разнототных объектов, представляющих густотный ряд, для того, чтобы знать степень зависимости полученных ре-

зультатов от плотности древесных ценозов как атрибута лесных экосистем.

Густотой определяются экологически и биологически детерминированные механизмы регуляции собственной плотности, ростовых и продукционных процессов древесных ценозов.

Несмотря на определенную однотипность изменения с возрастом изначально существенно различных по густоте лиственных ценозов, их плотность в 25-летнем возрасте остается разной. Механизм регулирования густоты древесных ценозов сопряжен с механизмом регулирования роста и, очевидно, обуславливает индивидуальную траекторию изреживания и продуктивности ценозов в зависимости от их густоты в течение всей жизни древесного поколения.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Биологическая продуктивность сосны в лесостепной зоне / В.И. Рубцов [и др.]. М.: Наука, 1976. 224 с.
2. Бузыкин А.И., Пишеничникова Л.С., Суховольский В.Г. Густота и продуктивность древесных ценозов. Новосибирск: Наука, 2002. 152 с.
3. Высоцкий К.К. Закономерности строения смешанных древостоев. М.: Лесн. пром-сть, 1962. 177 с.
4. Мартынов А.Н. Густота культур хвойных пород и ее значение. М.: ЦБНТИ Гослесхоз СССР, 1974. 60 с.
5. Основы лесной биогеоценологии / под ред. В.Н. Сукачева и В.Н. Дылиса. М.: Наука, 1964. 575 с.
6. Плаксина И.В., Судаchkova Н.Е., Бузыкин А.И. Влияние густоты посадки на ксилогенез и метаболизм сосны обыкновенной и лиственницы сибирской // Лесоведение. 2001. № 4. С. 47–53.
7. Пономарева В.В., Сотникова Н.С. Закономерности процессов миграции и аккумуляции элементов в подзолистых почвах // Биогеохимические процессы в подзолистых почвах. Л.: Наука, 1972. С. 6–56.

8. Рубцов В.И. Культуры сосны в лесостепи (их рост и производительность). М.: Лесн. пром-сть, 1969. 285 с.

9. Судаchkova H.E. Состояние и перспективы изучения влияния стрессов на древесные растения // Лесоведение. 1998. № 2. С. 3–9.

Поступила 15.12.09

A.I. Buzykin, L.S. Pshenichnikova

Institute of Forest, Siberian Branch of RAS

### **Thinning and Productivity of Siberian Larch Young Stands of Different Density**

The role of planting density for Siberian larch in regulating the density and productivity of 25-year old cenoses is analyzed.

Keywords: cenosis density, natural thinning, peculiarities of attrition, young growth productivity.

---

УДК 581:674.031.632.154.4

**Г.Г. Романов**

Сыктывкарский лесной институт – филиал С.-Петербургской государственной лесотехнической академии

Романов Геннадий Григорьевич родился в 1956 г., в окончил 1979 г. Сыктывкарский государственный университет, кандидат сельскохозяйственных наук, доцент кафедры воспроизводства лесных ресурсов, декан сельскохозяйственного факультета Сыктывкарского лесного института – филиала С.-Петербургской государственной лесотехнической академии. Имеет более 40 работ в области биологической фиксации азота атмосферы растениями и почвенными микроорганизмами в условиях тундровой и таежной зон Европейского Северо-Востока.  
E-mail: gennadyr@sfi.komi.com



## СИМБИОТИЧЕСКАЯ АЗОТФИКСАЦИЯ ОЛЬХИ СЕРОЙ В УСЛОВИЯХ СРЕДНЕЙ ПОДЗОНЫ ТАЙГИ

Представлены данные о суточной и сезонной азотфиксирующей активности ольхи серой. Показано, что процесс азотфиксации в клубеньках ольхи в течение вегетации идет круглосуточно и наибольшей активностью характеризуется в светлое время суток в период формирования листовой поверхности растения.

*Ключевые слова:* ольха серая, корневые клубеньки, симбиотическая азотфиксация.

Согласно данным Государственной лесной регистрации по Республике Коми, по состоянию на 01.01.2009 г. площадь лесов, занятая ольхой серой (*Alnus incana* (L.) Moench.), составляла 3,5 тыс. га (0,01 % от общей площади лесов). Несмотря на незначительную площадь, занимаемую ольхой серой, за счет способности к биологической азотфиксации и обогащения почвы азотом она представляет значительный интерес для работ по улучшению лесорастительных свойств почвы [7] и ускоренному лесовосстановлению. Возможность использования ольхи серой как компонента в культуре ели с целью ускорения ее роста была показана для условий Белоруссии [3] и южной подзоны тайги [12]. На территории Республики Коми подобные исследования ранее не проводились, а работы по изучению активности азотфиксации ольхой серой в условиях средней подзоны тайги были начаты нами в 1996 г. [1]. В данной статье приведены сведения о суточной и сезонной активности симбиотической

азотфиксации и ее продуктивности у ольхи серой, изученные в 1997 и 2005 гг.

### *Характеристика условий местообитания ольхи серой и методика исследований*

Участок исследований находится в верхней части пологого склона водораздельного возвышения и представляет собой площадку на склоне и вершине насыпного увала вдоль реконструированной автодороги в 17 км к юго-западу от г. Сыктывкара. Сообщество ольхи серой площадью около 1 га образовалось в процессе самозаращения оголенного суглинистого субстрата. В начале исследований древостой был представлен ольхой серой 20–25-летнего возраста, высота которой 5...8 м, диаметр стволов 6...10 см, сомкнутость крон 0,9...1,0 [9]. Через 9 лет ольха серая достигла высоты 10...12 м, диаметр стволов увеличился в среднем до 10,6 см. Как и прежде, единично к ольхе была примешана береза пушистая (*Betula pubescens* Ehrh.).

В подросте, кроме ольхи, отмечены экземпляры ели (*Picea obovata* Ldb.), сосны (*Pinus sylvestris* L.), осины (*Populus tremula* L.), березы (*B. pubescens*), в подлеске – ивы козьей (*Salix caprea* L.) и филиколистной (*S. phylicifolia* L.), рябины обыкновенной (*Sorbus aucuparia* L.), с опушечной стороны впервые отмечена малина (*Rubus idaeus* L.). Напочвенный моховой покров, как и прежде, отсутствовал.

В травяном покрове участка насчитывалось около 30 видов сосудистых растений. Среди них, как и прежде, преобладает хвощ лесной (*Equisetum sylvaticum* L.), предпочитающий рыхлые субстраты. В роли наполнителей выступают иван-чай узколистный (*Chamaenerion angustifolium* (L.) Scop.), вероника дубравная (*Veronica chamaedrys* L.), звездчатка ланцетолистная (*Stellaria holostea* L.). Остальные виды представлены единично.

Под сероольшаником исследуемого участка сформировалась новообразованная лесная суглинистая почва с рыхлой слаборазложившейся подстилкой, ниже находится гумусированный суглинистый слой мощностью до 5 см, где сосредоточена основная масса корней растений. Еще ниже расположен слабо уплотненный суглинок буровато-коричневого цвета, в котором корни встречаются редко. Почва участка (горизонт  $A_0A_1$ ) характеризуется слабокислой реакцией (рН 6,0) и содержанием азота легкогидролизуемого ( $N_{лг}$ ), подвижных  $P_2O_5$  и  $K_2O$  соответственно 20,4; 18,2 и 24,3 мг/100 г почвы.

Почва под сероольшаником богата микрофлорой и обладает высокой биологической активностью: убыль опада составляла 56 % за счет преобладания в нем бактерий и микромикров [9].

Изучение корневой системы, листового опада ольхи серой и над-

земной травянистой растительности в сероольшанике проводили по общепринятым методам [8]. Для изучения связи между клубеньками ольхи и наземной массой травянистых растений закладывали траншеи, представляющие собой последовательно расположенные площадки 10×10 см, раскопанные на глубину до 15 см. Длина траншей определялась расстоянием от одного дерева до другого. Всего заложено 22 траншеи внутри сообщества и 2, направленные из него. Азотфиксирующую активность клубеньков ольхи измеряли ацетиленовым методом [14] с использованием прибора нашей конструкции [11]. Время экспозиции клубеньков в ацетилене было установлено нами экспериментально в процессе предварительных исследований [9] и составило 15...20 мин. Контролем служили сосуды с клубеньками, куда ацетилен не вводили. Повторность опытов 4-кратная.

Компонентный состав газа в сосудах с клубеньками анализировали на газовом хроматографе «Кристалл 2000»; сорбент – Porapak-Q, газ-носитель – гелий. Конверсионный фактор пересчета этилена в азот был принят равным 3:1.

#### Результаты исследований и их обсуждение

При закладке траншей внутри и вне сообщества предполагалось, что масса клубеньков по мере удаления от стволов деревьев будет снижаться. Однако анализ ее пространственного распределения показал, что это справедливо только для траншей, направленных вне сообщества, в то время как внутри фитоценоза такая закономерность не выявлена. Это может объясняться тем, что корни ольхи сильно изогнуты в горизонтальном и вертикальном направлениях и часто направлены

**Распределение площадок в траншеях, корневых клубеньков  
и надземной массы травянистых растений в сероольшанике хвощовом**

Число площадок, шт.		Абс. сухая масса клубеньков	Абс. сухая надземная масса травянистых растений
в одной траншее	общее в траншеях		
г/м <sup>2</sup>			
Внутри сообщества			
1	8	37,20	14,20
2	8	37,70	13,60
3	9	30,50	13,20
4	12	34,20	14,99
6	6	16,20	14,31
11	11	33,40	14,80
12	12	11,30	14,33
14	14	13,90	14,00
Вне сообщества			
9	18	6,35	11,11

в противоположную сторону, в результате попадают на одну и ту же площадку дважды [6].

Подсчет клубеньков на площадках показал (см. таблицу), что внутри сообщества их масса варьировала от 1,4 до 110 и в среднем составляла 24,5 г/м<sup>2</sup>. В траншеях, направленных из сообщества, число и масса клубеньков уменьшались до полного их отсутствия на расстоянии 1,6 м от опушечных деревьев. В целом общая масса сухих клубеньков в сероольшовом сообществе составила 245 кг/га, что сопоставимо с приводимыми в литературе данными. Так, в северо-восточной части Белоруссии в естественных ассоциациях ольхи серой в возрасте 20...23 лет масса абс. сухих клубеньков колебалась от 170 до 365 кг/га [4].

Сопоставление массы клубеньков и надземной массы травянистых растений с площадок показало слабую положительную связь между ними (коэффициент корреляции  $r = 0,58$ ). Это свидетельствует о незначительном влиянии клубеньков ольхи на рост и развитие травянистых растений, что подтверждается и литературными данными. Так, по исследованиям Н.И. Мильто [4], отмершие клубеньки после

разложения освобождают в течение года всего около 3 кг/га азота, что не может оказывать значительного влияния на формирование биомассы травянистых растений.

Изучение активности азотфиксации в сероольшанике показало, что данный процесс идет круглосуточно, различаясь по интенсивности в течение суток и в разные периоды вегетации растений. Как видно из данных, приведенных на рис. 1, наибольшей активности процесс азотфиксации достигал в светлое время суток, снижаясь в ночные часы. Так, в последней декаде июля в условиях длинного светового дня отмечено 3...5 пиков активности азотфиксации (рис. 1), в то время как в относительно темное время суток (с 22.00 до 3.00 ч) всплесков не наблюдалось. В целом в светлое время суток ольха фиксировала около 90 % азота, остальное количество – в ночные часы. При этом максимальная активность азотфиксации, отмеченная в начале исследований, составляла 23...37 мг N·г<sup>-1</sup>·ч<sup>-1</sup> [9]. Эти значения ниже известных в литературе для ольхи серой. Так, согласно G. Bond [цит. по 2] ольха может фиксировать до 814 мг N·г<sup>-1</sup>·ч<sup>-1</sup>. Отмеченные различия в максимальной интенсивности

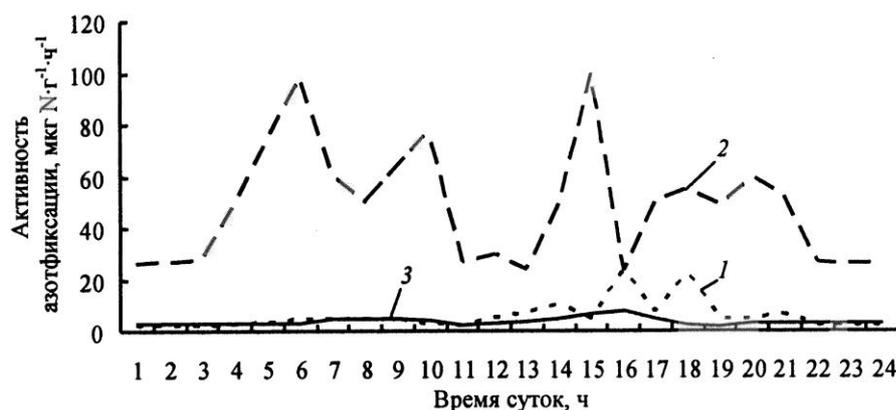


Рис. 1. Динамика суточной активности азотфиксации в клубеньках ольхи серой: 1 – 20 мая; 2 – 10 июля; 3 – 10 августа

азотфиксации ольхи в более южных регионах могут объясняться большими количеством и массой ее корневых наростов, а также лучшими почвенно-климатическими условиями произрастания.

Различия в активности азотфиксации в дневные и ночные часы могли быть связаны с суточным ходом процесса фотосинтеза в листьях ольхи серой и динамикой поступления фотоассимилятов в клубеньки для обеспечения энергией процесса симбиотической азотфиксации [13]. Рост активности азотфиксации в начальный период вегетации мог стимулироваться расходом азота на формирование общей листовой поверхности ольхи и прирост. Эти предположения подтверждаются данными о сезонной динамике активности симбиотической азотфиксации ольхи серой (рис. 2). Так, в последней декаде мая, когда листовой аппарат ольхи еще только начал формироваться, активность этого процесса была наиболее низкой, но продолжала активно нарастать и в июне оказалась заметно выше. К окончанию формирования листовой поверхности растений (первая – вторая декады июля) активность азотфиксации достигала пика и в дальнейшем заметно снижалась. Подобный ход сезонной динамики процесса подтверждается и литературными данными для ольхи серой, произрастающей в условиях южной подзоны тайги [10]. После окончательного

формирования листовой поверхности во второй половине вегетации снижение активности азотфиксации, возможно, было связано с началом старения листьев и, соответственно, уменьшением активности фотосинтеза [5].

Отмечено также в августе сокращение интенсивности и числа пиков активности азотфиксации, которые приходились исключительно на дневные часы (см. рис. 1). Соответственно уменьшалось количество азота, фиксированного за сутки. Анализ сезонного хода кривой активности азотфиксации и погодных условий показал, что в период со второй декады июня по первую декаду августа при устойчивой теплой погоде температура воздуха и влажность почвы не ограничивали процесс. Снижение суточной продуктивности фиксации атмосферного азота в конце первой декады августа могло быть связано с уменьшением светлого времени суток на три часа. В это время продолжительность фотосинтеза растений, по-видимому, сокращается и уменьшается снабжение клубеньков продуктами фотосинтеза.

Известно, что ольха способна фиксировать значительное количество атмосферного азота. В литературе отмечается [2], что продуктивность ее симбиотической азотфиксации за сезон может достигать  $362 \text{ кг N}\cdot\text{га}^{-1}$ . При этом количество фиксированного азота зависит от возраста и условий произрастания данной породы. К примеру,

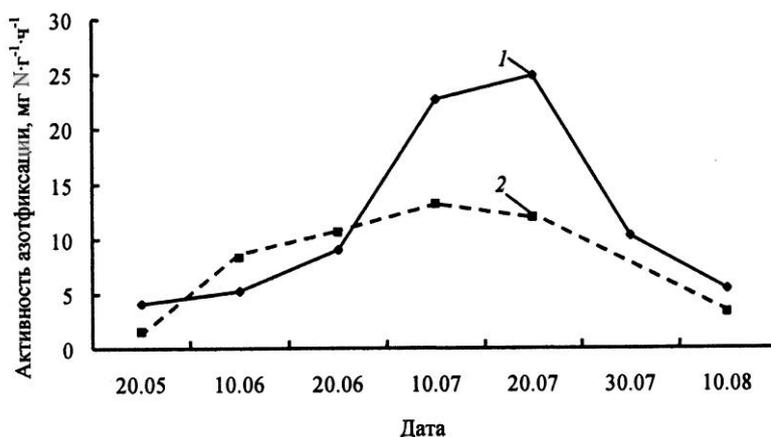


Рис. 2. Динамика сезонной активности азотфиксации в сероольшанике: 1 – 1997 г.; 2 – 2005 г.

в Эстонии ольха серая 5-летнего возраста на плантации, заложенной на бывших сельскохозяйственных землях, за сезон фиксировала 41,7 [16], а в Белоруссии естественные 23-летние насаждения ольхи – 117 кг N·га<sup>-1</sup> [4]. В нашем случае сезонная продуктивность симбиотической азотфиксации ольхи серой наибольшей была в 1997 г. в возрасте 20...25 лет и составляла 244...270 кг N·га<sup>-1</sup> [9]; через 9 лет она значительно снизилась до 147 кг N·га<sup>-1</sup>. По-видимому, в процессе освоения субстрата и обогащения его азотом ольха серая с возрастом компенсирует снижение активности симбиотической азотфиксации путем потребления части азотистых соединений из почвы.

Ольха серая обогащает почву азотом в основном через минерализацию листового опада в осенний период [4, 7]. В нашем случае на исследуемом участке масса опада составляла 154,2 г/м<sup>2</sup> в 1997 г. [9] и 161,3 г/м<sup>2</sup> в 2005 г. При содержании азота в листьях ольхи, равном примерно 3% [4, 15], в почву за сезон поступало 46,3...48,4 кг N·га<sup>-1</sup>.

Обогащение почвы азотом в основном через листовый опад подтверждается и сравнением содержания N<sub>лп</sub> на рядом расположенном участке травянистой растительности без ольхи. В новообразованном дерновом горизонте на насыпном грунте в период наших работ количество N<sub>лп</sub> было в 6 раз

меньше, чем в горизонте A<sub>0</sub>A<sub>1</sub> под сероольшаником. В условиях повышенного рельефа придорожного экотопа богатые азотом листья ольхи после опада подвергаются энергичной минерализации почвенными микроорганизмами и дождевыми червями (последних мы часто наблюдали в лесной подстилке). Высвобожденный минеральный азот перехватывался корневыми системами растений-нитрофилов, такими как хвощ лесной, способствуя их обильному разрастанию под пологом ольхи серой.

Учитывая площадь, занимаемую ольхой серой в лесах Республики Коми, можно рассчитать, что ее вклад в обогащение почвы азотом составляет около 175 т в год, в том числе более 90% приходится на листовый опад, остальное – на азот отмерших корневых клубеньков.

### Выводы

Ольха серая в условиях средне-таежной подзоны Республики Коми обладает способностью фиксировать азот атмосферы в значительных количествах.

В течение вегетации процесс азотфиксации в клубеньках идет круглосуточно и наибольшей активностью характеризуется в светлое время суток в период формирования листовых поверхностей растения.

Во второй половине вегетации в связи с началом старения листьев и увеличением возраста древостоя интенсивность симбиотической азотфиксации ольхи снижается. Экологическим фактором, снижающим продуктивность этого процесса, является сокращение светового периода.

Обогащая почву азотом через листовую опад, ольха влияет на видовой состав травянистых растений, их пространственное распределение и количество надземной фитомассы.

Указанные особенности позволяют рассматривать ольху серую в качестве перспективного фитомелиоранта при рекультивации нарушенных земель и ускоренном выращивании лесных культур хвойных пород в условиях средней подзоны тайги.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Дегтева С.В., Романов Г.Г. Ольха серая как возможный фитомелиорант для биологической рекультивации нарушенных земель в Республике Коми // Растительные ресурсы и биотехнология в агропромышленном комплексе: тез. докл. Владикавказ, 1998. С. 146–147.
2. Калакуцкий Л.В., Парийская А.А. Азотфиксирующие симбиозы актиномицетов с растениями // Изв. АН СССР. Сер. биол. 1982. № 2. С. 255–270.
3. Мильто Н.И. Использование почвоулучшающих свойств ольхи серой // Лесоведение и лесн. хоз-во. Минск, 1970. Вып. 3. С. 37–42.
4. Мильто Н.И. Образование клубеньков и азотонакопление у *Alnus incana* // Новое в изучении фиксации биологического азота. М.: Наука, 1971. С. 106–111.
5. Основы лесной биогеоценологии / под ред. В.Н. Сукачева и Н.В. Дылиса. М.: Наука, 1964. 575 с.
6. Петров В.В. К биологии размножения ольхи серой корневыми отпрысками // Бюл. МОИП. Отд. биол. 1968. Т. 71, вып. 3. С. 86–90.
7. Петров-Спиридонов А.А., Егорова С.В. Использование ольхи для улучшения лесорастительных свойств почвы // Лесоведение. 1992. № 1. С. 67–73.
8. Полевая геоботаника / под ред. В.М. Понятовской. М.; Л., 1964. Т. 3. 350 с.
9. Посттехногенные экосистемы Севера / под ред. И.Б. Арчеговой, Л.П. Капелькиной. СПб.: Наука, 2002. 159 с.
10. Разгулин С.М. Сезонная и суточная динамика азотфиксирующей активности ольхи серой // Лесоведение. 2003. № 5. С. 25–29.
11. Романов Г.Г., Костяев В.Я. Модификация ацетиленового метода измерения интенсивности биологической азотфиксации в тундре // Ботан. журн. 1996. Т. 81, № 12. С. 134–137.
12. Судницына Т.Н. Влияние ольхи серой на азотное питание, освещенность и рост ели европейской в культурах // Лесоведение. 2009. № 1 С. 18–24.
13. Dixon R.O.D., Wheeler C.T. Biochemical, physiological and environmental aspects of symbiotic nitrogen fixation // Biological nitrogen fixation in forest ecosystems: Foundations and applications. The Hague: Nijhoff and Junk. 1983. P. 107–171.
14. Hardy R., Burns R., Holsten B. Application of the acetylene-ethylene assay for measurement of nitrogen fixation // Soil Biol. Biochem. 1973. Vol. 5, N 1. P. 41–83.
15. Kurdali F. Seasonal nitrogen changes in *Alnus orientalis* and *Populus nigra* and N<sub>2</sub> fixation by exotic alder species in Syria // Commun. Soil Sci. and Plant Annal. 2000. Vol. 31, N 15–16. P. 2509–2522.
16. Uri V., Lohmus K., Tullus H. The budget of demand for nitrogen in grey alder (*Alnus incana* (L.) Moench.) plantation on abandoned agricultural land in Estonia // Baltic Forestry. 2004. Vol. 10, N 1. P. 12–18.

Поступила 20.10.2009

G.G. Romanov

Syktvkar Forest Institute, Branch of St.-Petersburg State Forest-Technical Academy

#### Symbiotic Nitrogen Fixation of White Alder in Middle Taiga Subzone

The data on diurnal and seasonal nitrogen fixation activity of white alder are presented. It is shown that that nitrogen fixation process in alder nodules goes round-the-clock in the vegetation period and is the most active in the daylight when the plant leaf area is formed.

Keywords: white alder, root nodules, symbiotic nitrogen fixation.

УДК 630\*385.1:582.475:630\*23(470.22)

**В.Н. Гаврилов**

Институт леса Карельского НЦ РАН

Гаврилов Виктор Николаевич родился в 1957 г., окончил в 1979 г. Петрозаводский государственный университет, кандидат сельскохозяйственных наук, старший научный сотрудник лаборатории лесоведения и лесоводства Института леса Карельского НЦ РАН. Имеет около 40 печатных работ в области изучения особенностей формирования и строения молодняков в условиях осушенных болотных почв.  
E-mail: gavrilov@krc.karelia.ru



## **ДИНАМИКА ФОРМИРОВАНИЯ СОСНОВЫХ МОЛОДНЯКОВ РАЗЛИЧНОГО ПРОИСХОЖДЕНИЯ НА ОСУШЕННЫХ ОСОКОВО-КУСТАРНИЧКОВО-СФАГНОВЫХ БОЛОТАХ В ЮЖНОЙ КАРЕЛИИ**

Выявлена хозяйственная потенциальная ценность растительности сосновых молодняков различного происхождения в условиях осушенных мезотрофных болотных почв южной Карелии.

*Ключевые слова:* гидролесомелиорация, формирование и рост молодняков, естественное и искусственное происхождение, ресурсы растительности, живой напочвенный покров.

Плановые работы по осушению лесных земель на Северо-Западе России, в том числе в Карелии, начали проводиться в начале второй половины прошлого столетия. В 1970-е гг. в республике ежегодно осушалось по 50 тыс. га заболоченных лесов и болот. В итоге к настоящему моменту в осушенном гидролесомелиоративном фонде насчитывается около 650 тыс. га. Эта площадь больше, чем в соседних Архангельской, Вологодской, Ленинградской областях и Республике Коми, однако составляет только 12 % от гидролесомелиоративного фонда республики, в то время как в Ленинградской области [1] этот показатель достигает 30 %. В лесном фонде Карелии на момент осушения 47 % площадей представляли собой открытые (безлесные и слабооблесенные) болота [3], в соседних областях их было не более 15 % [7].

Осушение болот с последующим формированием молодняков способствует повышению лесистости территории. На отдельных объектах гидролесомелиорации в Карелии покрытая лесом площадь за счет облесения болот

увеличилась на 25...45 % [6], при этом около 75 % естественным путем, лесные культуры созданы на площади примерно 70 тыс. га.

Исследования особенностей формирования молодняков различного происхождения на осушенных болотах проводились в южной Карелии в пределах среднетаежной подзоны. Наиболее перспективными для лесохозяйственного использования здесь считаются мезотрофные осушенные болота.

Для изучения их растительных ресурсов заложен ряд пробных площадей, на которых ведутся периодические наблюдения в течение 15 лет. Основное внимание уделялось древесному ярусу, геоботанические исследования которого выполнялись по упрощенной системе, принятой в лесоустройстве [4]. Однако оценивались и другие ярусы растительности.

Темпы трансформации болотных фитоценозов в лесоболотные во многом определяются условиями произрастания и способом зарастивания. Участки по изучению эффективности облесения болот после осушения при

различных способах образования молодняков расположены на одном болотном массиве на соседних межканальных полосах. Это позволило исключить при сравнении фактор различия в почвенном плодородии. Бедное переходное осоково-кустарничково-сфагновое болото осушено в 1970 г. сетью открытых каналов через 160 м. Состояние каналов удовлетворительное. Глубина на начало исследований (1990 г.) составляла 0,7...0,9 м (около 2/3 от первоначальной). Однако в связи с сильным зарастанием дна и откосов травянистой и древесной растительностью необходимо проведение ухода. Средний уровень почвенно-грунтовых вод в центре межканальной полосы за период с июня по сентябрь колебался в зависимости от количества осадков от 10 см (1991 г. – 385 мм) до 27 см (1992 г. – 240 мм).

Были заложены четыре пробные площади размерами от 0,12 до 0,24 га. Полоса, оставленная под естественное зарастание (пробные площади Е2-1 и Е2-2), располагается в 100...150 м от суходола, лесные культуры – в 300...400 м (К3-1 и К3-2). До осушения на слабооблесенном болоте древесные породы были представлены сосной и березой II-IV классов возраста в количестве 0,1 тыс. шт./га, подрост этих пород высотой 0,5...2,0 м приблизительно в равном соотношении – до 1 тыс. шт./га. Торфяная залежь переходного типа, за исключением самого верхнего 10-сантиметрового слоя торфа. Мощность торфа – 1,0...1,2 м. Через 20 лет после осушения в результате осадки и уплотнения слой верхнего торфа составляет 6...8 см от поверхности. Ниже (до глубины 0,4 м) располагается небогатый горизонт осоково-сфагнового торфа (степень разложения – 20 %, зольность – 3,2 %, кислотность рН в КС1 – 3,4); глубже –

древесно-осоковый торф (степень разложения – 35 %, зольность – 4,1 %, кислотность рН в КС1 – 3,8).

Лесные культуры сосны обыкновенной созданы в 1972 г. посадкой вручную двухлетних сеянцев в прикатанные пласты, образованные в результате нарезки плугом ПКЛН-500А лесокультурных борозд глубиной 0,4...0,5 м параллельно осушителям. Расстояние между бороздами в пределах межканальной полосы варьирует от 4 до 12 м при одинаковом шаге посадки (0,6...0,7 м), что сказалось на неоднородности первоначальной густоты (3,8...4,5 тыс. экз./га).

Наличие подроста, появление деревьев после осушения и создание на части болотного массива культур сосны способствовали в течение 20 лет формированию смешанных хвойно-лиственных молодняков. Как видно из результатов измерения (табл. 1), при обоих способах зарастания через 20 лет после осушения образовались древостои полнотой, позволяющей отнести участки к покрытой лесом площади. Однако их лесоводственные характеристики существенно различаются. При естественном облесении это низкополнотные березово-сосновые молодняки, независимо от расстояния до осушителя. За анализируемый 15-летний период относительная полнота практически не изменилась. Доля березы в составе по запасу через 35 лет после осушения достигает 55...60 %, что характерно в данных условиях произрастания без ухода за составом древостоя. По данным лесоустройства, в южной части Карелии естественно формирующиеся хвойные и хвойно-лиственные молодняки занимают около 60 % площади осушенных переходных болот и 40 % – с преобладанием березы пушистой. На участке лесных

Таблица 1

**Рост молодняков в условиях осушенного осоково-кустарничково-сфагнового болота  
при различных способах зарощивания**

Год учета	Состав по запасу (возраст, лет)	Густота, экз./га	Средний диаметр, см	Средняя высота, м	Запас растущий, м <sup>3</sup> /га	Изменение среднего годового запаса, м <sup>3</sup> /га	Полнота относительная
Е2-1 (5...30 м от осушителя), естественное зарощивание							
1990	7,7Б(20...40)	2967	4,0	4,3	9,82	–	–
	2,3С(20...40)	334	5,7	4,6	2,88	–	–
	<b>Итого</b>	3301	–	–	12,70	–	0,4
2005	4,3С	375	10,9	8,6	17,00	0,94	–
	5,7Б	1583	6,5	6,8	22,20	0,82	–
	<b>Итого</b>	1958	–	–	39,20	1,76	0,5
Е2-2 (30...80 м от осушителя)							
1990	4,4С	513	6,6	5,1	6,29	–	–
	5,6Б	1937	3,9	4,7	8,13	–	–
	<b>Итого</b>	2450	–	–	14,42	–	0,4
2005	6,4С	493	10,8	8,5	21,90	1,04	–
	3,6Б	744	6,9	7,0	12,20	0,27	–
	<b>Итого</b>	1237	–	–	34,10	1,31	0,4
К3-1 (5...30 м от осушителя), культуры сосны							
1991	4,2С <sub>иск</sub> (20)	3192	5,1	5,5	24,46	–	–
	1,6С(20...40)	651	6,4	5,6	9,11	–	–
	4,2Б(20...40)	9950	2,7	3,8	25,40	–	–
	<b>Итого</b>	13793	–	–	58,97	–	1,0
2003	5,2С <sub>иск</sub> (32)	1807	8,9	9,7	63,0	2,96	–
	1,6С	389	11,3	9,9	19,3	0,78	–
	3,2Б	2556	6,5	7,7	38,8	1,03	–
	<b>Итого</b>	4752	–	–	121,1	4,77	1,2
К3-2 (50...80 м от осушителя)							
1991	4,5С <sub>иск</sub> (20)	2663	5,1	5,4	19,85	–	–
	2,8С(20...40)	990	6,2	5,3	12,03	–	–
	2,7Б(20...40)	6568	2,5	3,8	12,02	–	–
	<b>Итого</b>	10221	–	–	43,90	–	0,8
2003	6,0С <sub>иск</sub> (32)	2243	7,8	8,8	55,30	2,73	–
	2,6С	479	11,0	9,4	23,70	0,90	–
	1,4Б	1798	5,2	5,6	12,70	0,05	–
	<b>Итого</b>	4520	–	–	91,70	3,68	0,9

культур относительная полнота молодняков составляет 0,8–1,0, доля хвойной части древостоя в составе по запасу достигает 60...70 %, а собственно сосны искусственного происхождения – 42...52 %, и заметно возрастает с удалением от осушителя. Обращает на себя внимание большое количество березы, особенно в приканальной зоне. Однако в данном случае явно преобладает (по количеству 70...90 % лиственной части) береза постмелио-

ративного поколения (семенного и порослевого происхождения). С увеличением возраста и средней высоты древостоев ее густота резко уменьшается (за 15-летний период) в 3,5–4,0 раза. Подобные закономерности отмечены в Карелии и при формировании листовенно-еловых молодняков на минеральных почвах [2]. В то же время береза, произраставшая до осушения, составляет жесткую конкуренцию сосновым посадкам. К концу I класса воз-

раста 25...30 % деревьев сосны в культурах располагаются под кронами березы и отстают в росте. Это стало одной из основных причин отпада сосны в посадках. В приканальной зоне за период наблюдений количество деревьев снизилось на 40 %, в зоне менее интенсивного осушения (пробная площадь КЗ-2) – на 15 %. За это же время количество сосны естественного происхождения, появившейся после осушения в междурядьях, на участке искусственного возобновления из-за высокой полноты снизилось в 2–3 раза. При естественном заращивании и сомкнутости полога старших деревьев 60...70 % сосна поселяется в основном в «окнах», и за 20 лет ее отпада практически нет.

Отчетливо различается производительность молодняков естественного и искусственного происхождения. Если при первом способе заращивания за 35 лет осушения запас древостоя составляет 35...40 м<sup>3</sup>/га, то на участке лесных культур сосны в 32 года он достигает 90...120 м<sup>3</sup>/га, из них 60...70 % – хвойная древесина. Это же касается и среднего годового изменения запаса. На участке лесных культур в целом по древостою он выше в 2,7–2,8 раза, а по хвойной древесине в 3,5–4,0 раза (3,6...3,8 м<sup>3</sup>/га).

Видовой состав других ярусов растительности относительно беден. В то же время выявляются различные жизненные формы. Очень редко представлен кустарниковый ярус (ивы). В живом напочвенном покрове прямостоячие (касандра, береза карликовая) и шпалерные (клюква) кустарнички, редко или единично травянистые многолетники, за исключением пушицы влагищной, мхи, лишайники. Независимо от происхождения древесного яруса в травяно-кустарничковом покрове доминируют три-четыре вида в

зависимости от сомкнутости и возраста древостоя. Если в фазе смыкания имелись заросли карликовой березы, особенно на участках лесных культур на бедных переходных болотах, то со снижением освещенности она теряет свои позиции и, как видно из табл. 2, доминантами становятся пушица влагищная, касандра и клюква. Общее проективное покрытие травяно-кустарничкового яруса на участке естественно формирующегося древостоя составляет 70...80, на площади лесных культур – 80...90 %.

Видовой состав травяно-кустарничкового яруса с увеличением возраста молодняков изменяется незначительно за счет редко встречающихся видов. Доминантные виды остаются прежними. Выходят из состава чисто болотные виды, такие как сибельник и вахта, которые произрастали на участке лесных культур по плужным бороздам. На более освещенных участках в приканальных зонах появляются лесные растения: брусника, черника, папоротники. Однако их участие в покрове незначительно. Из пищевых ресурсов можно отметить лишь два вида клюквы. Однако на участке лесных культур этот ягодный кустарничек практически не образует плодов, видимо, вследствие большой сомкнутости древостоя. На площади естественно формирующегося молодняка с сомкнутостью полога около 70 % урожай клюквы колеблется от слабого ( $\leq 50$  кг/га) до хорошего ( $\geq 150$  кг/га) в зависимости от погодных условий.

Близкая картина наблюдается и в мохово-лишайниковом ярусе. В составе явно доминируют два-три вида, главным образом сфагновые мхи (*Sphagnum angustifolium* (Russ.) С. Jens., *Sph. magellanicum* Brid.). Произрастание зеленых мхов и лишайников

Таблица 2

## Видовой состав травяно-кустарничкового яруса молодняков сосны

Вид растения*	Естественное возобновление		Лесные культуры	
	Обилие по шкале Друде	Процент состава	Обилие по шкале Друде	Процент состава
Через 20 лет после осушения				
Пушица влагалищная	Cop <sub>3</sub>	30...40	Cop <sub>2</sub>	20...30
Клюква (четырёхлепестная, мелкоплодная)	Cop <sub>3</sub>	30...35	Cop <sub>3</sub>	30...40
Хамедафне (кассандра)	Cop <sub>1</sub>	15...20	Cop <sub>1</sub>	10...15
Подбел многолистный	Sp	5...10	Sp-Sol	+
Осока косматоплодная	Sp	5	–	–
Береза карликовая	Sol	–	Sp	+
Вейник незамечаемый	Sol	–	–	–
Вахта трехлистная	–	–	Sp	+
Сабельник болотный	–	–	Sol	–
Через 35 лет после осушения				
Пушица влагалищная	Cop <sub>3</sub>	30...40	Cop <sub>2</sub>	20...30
Клюква (четырёхлепестная, мелкоплодная)	Cop <sub>3</sub>	30...50	Cop <sub>3</sub>	40...50
Хамедафне (кассандра)	Cop <sub>3</sub>	30...40	Cop <sub>2</sub>	20...30
Подбел многолистный	Sp	+	Sol	–
Осока косматоплодная	Sol	–	–	–
Береза карликовая	Sp-Cop <sub>2</sub>	5...20	–	–
Вахта трехлистная	–	–	Sol	–
Черника	–	–	Sol	–
Брусника	–	–	Sol	–
Ожика волосистая	Sol	–	–	–
Щитовник мужской	–	–	Sol	–

\* Видовое название растений дано по определителю М.Л. Раменской [5].

приурочено в основном к микроповышениям – кочкам вокруг стволов деревьев. Грибных пищевых ресурсов в 30-летних молодняках на исследуемой площади практически не было.

Сказанное свидетельствует, что из ресурсов растительности осушенных осоково-кустарничково-сфагновых болот в южной Карелии главным является хвойная древесная продукция, так как древесина березы пушистой характеризуется на осушенных болотах низким качеством. При этом формирующиеся при искусственном облесении древостои имеют большую хозяйственную ценность, обусловленную лучшей производительностью. Во II классе возраста в культурах сосны среднее годовое изменение запаса хвойной древесины составляет

3,6...3,8 м<sup>3</sup>/га. При надлежащем ведении хозяйства, заключающемся в уходе за осушительными системами и лесоводственном уходе, можно получить значительные объемы древесины, что при интенсивном лесопользовании в данном регионе имеет немаловажное значение. Кроме этого, высокая производительность искусственных молодняков способствует и улучшению экологической обстановки при использовании осушаемых земель, в частности углеродного цикла.

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Великанов Г.Б., Ильин В.А. Вопросы эффективности гидроресомелиорации в системе современных лесных отношений // Эколого-биологическое обоснование гидроресомелиорации и реконструкции лесосушитель-

ных систем: информ. материалы. Петрозаводск: ИЛ КарНЦ РАН, 1996. С. 4–6.

2. *Казимиров Н.И.* Рост и развитие листовенно-еловых молодняков // Рубки ухода в листовенно-еловых молодняках Карельской АССР. М.: Лесн. пром-сть, 1964. С. 5–20.

3. *Красильников Н.А.* Биологические особенности мелиорированных лесных земель. Минск.: Изд. В.М.Скакун, 1998. 216 с.

4. *Поздняков Л.К.* Лесное ресурсоведение. Новосибирск: Наука, 1973. 120 с.

5. *Раменская М.Л.* Определитель высших растений Карелии. Петрозаводск: Госиздат Карел. АССР, 1960. 486 с.

6. *Саковец В.И.* Результаты и перспективы исследований по ведению лесного хозяйства на осушенных землях Карелии // Гидротехническая мелиорация земель лесного фонда: результаты и проблемы: материалы выездного бюро МНТС. СПб. – Черняховск: СПбГЛТА; ФГУ СПбНИИЛХ, 2005. С. 68–77.

7. *Тараканов А.М.* Рост осушаемых лесов и ведение хозяйства в них. Архангельск, 2004. 228 с.

Поступила 24.06.09

*V.N. Gavrilov*

Forest Research Institute, Karelian Research Centre of RAS

### **Formation Dynamics of Pine Young Growth of Different Origin on Drained Sedge-subshrub-sphagnum Marsh in Southern Karelia**

The potential plant value of pine young stands of different origin is revealed in the conditions of drained mesotrophic marshy soils of Southern Karelia.

Keywords: drainage, young stands formation and growth, natural and artificial origin, plant resources, alive ground cover.



УДК 630\*332.2.001.57

**М.В. Драпалюк, С.Н. Батищев**

Воронежская государственная лесотехническая академия

Драпалюк Михаил Валентинович родился в 1975 г., окончил в 1997 г. Воронежскую государственную лесотехническую академию, доктор технических наук, профессор, заведующий кафедрой механизации лесного хозяйства и проектирования машин ВГЛТА. Имеет более 90 печатных работ в области механизации лесного хозяйства.

E-mail: Michael1@yandex.ru



Батищев Сергей Николаевич родился в 1985 г., окончил в 2007 г. Воронежскую государственную лесотехническую академию, аспирант кафедры механизации лесного хозяйства и проектирования машин ВГЛТА. Имеет 7 печатных работ в области механизации лесного хозяйства.

E-mail: Batishchev-vglta@mail.ru



## РЕЗУЛЬТАТЫ ТЕОРЕТИЧЕСКОГО ИССЛЕДОВАНИЯ ВИБРОУДАРНОЙ МАШИНЫ ДЛЯ УДАЛЕНИЯ ПНЕЙ

На основе математического моделирования выполнено теоретическое исследование новой виброударной машины для удаления пней. Изучено влияние инерционных свойств рубящих органов, а также частоты вращения вала механизма на эффективность работы машины. Уточнена ее конструкция и сформулированы рекомендации для этапа разработки серийной машины.

*Ключевые слова:* удаление пней, рубящий орган, виброударный механизм, компьютерное моделирование, теоретическое исследование.

При лесовосстановлении на вырубках используется технология понижения пней до уровня почвы. В настоящее время для реализации этой технологии применяют серийные машины, в частности МУП-4. Принцип ее действия основан на двух составляющих: срубании, когда зубья барабана входят в древесину поочередно через некоторый интервал времени, и резании, когда вошедший зуб движется в пне, срезая слой древесины. Специалисты немало потрудились над совершенствованием конструкции самих рабочих органов, параметры которых во многих случаях близки к оптимальным. В то же время недостаточно внимания уделяется другому пути энергосбережения – повышению КПД самого процесса резания за счет внедрения устройств, усиливающих непосредственное воздействие рабочих органов на объект обработки. Проведенная оценка рабо-

ты машин для удаления пней показывает, что производительность можно увеличить, сделав упор на рубящий принцип. Для этого в конструкцию рабочего органа следует включить элементы, запасующие больше кинетической энергии при вращении от вала отбора мощности и отдающие энергию в кратковременные моменты встречи рубящего органа с пнем. Таким рабочим органом является виброударный механизм, состоящий из трех виброударных блоков, расположенных на одной оси. На каждом из них шарнирно закреплено по три рубящих органа (рис. 1, а).

Для определения оптимальных конструктивных и эксплуатационных параметров виброударного рабочего органа была разработана математическая модель механизма. Моделирование в целом основано на методах классической динамики [3, 4, 6]. В рамках



$$M_{01} = c_{01}(\varphi_0 - \varphi_1) - k_{01}(\dot{\varphi}_0 - \dot{\varphi}_1), \quad (3)$$

где  $c_{01}, k_{01}$  – коэффициенты жесткости и демпфирования соответственно.

Со стороны рубящего органа на ротор действуют три момента: сил в шарнире  $M_{21}$ , упругого взаимодействия пружиной  $M_{пр}$ , ударной силы на бойке  $M_y$ . Момент взаимодействия пружиной рассчитывается как

$$M_{пр} = c_{пр}\Delta\varphi_{пр} - k_{пр}\frac{\Delta\varphi_{пр}}{dt}, \quad (4)$$

где  $c_{пр}, k_{пр}$  – коэффициенты жесткости и демпфирования соответственно;

$\Delta\varphi_{пр}$  – текущее сжатие пружины, пересчитанное в величину угла относительно шарнира.

$$\begin{cases} m_2\ddot{x}_2 = F_{12x} + F_{пр} + F_y - F_{тх} - F_{пх} - F_{шх}; \\ m_2\ddot{y}_2 = F_{12y} + F_{пу} - F_{ты} - F_{шы}; \\ J_2\ddot{\varphi}_2 = -F_{12x}h_{12x} - F_{12y}h_{12y} - F_{прх}h_{прх} - F_{пру}h_{пру} + F_{yx}h_{yx} + F_{yy}h_{yy} - \\ - F_{пх}h_{пх} + F_{пу}h_{пу} - F_{шх}h_{шх} - F_{шы}h_{шы}, \end{cases} \quad (6)$$

где  $F_{12x}, F_{12y}$  – декартовы составляющие силы взаимодействия в шарнире;

$F_{тх}, F_{ты}$  – составляющие силы тяжести рубящего органа;

$F_{пх}, F_{пу}$  – составляющие силы ударного взаимодействия со стороны обрабатываемой древесины;

$F_{шх}, F_{шы}$  – то же со стороны шара ударника;

$F_{прх}, F_{пру}$  – то же со стороны пружины;

$F_{yx}, F_{yy}$  – то же со стороны бойка;  $h_{12x}, h_{12y}, h_{прх}, h_{пру}, h_{yx}, h_{yy}, h_{шх}, h_{шы}, h_{пх}, h_{пу}$  – соответствующие плечи составляющих сил относительно центра тяжести  $S$ .

В рамках модели направляющая полость, в которой движется шар-

Момент ударной силы на бойке вычисляется по одной из следующих формул:

$$M_y = \begin{cases} 0, & \text{если } \varphi_{12} > \varphi_y; \\ c_y(\varphi_y - \varphi_{12}) - k_y\dot{\varphi}_{12}, & \text{если } \varphi_{12} \leq \varphi_y, \end{cases} \quad (5)$$

где  $c_y, k_y$  – жесткость и вязкость ударного взаимодействия соответственно;

$\varphi_{12}$  – угловое положение рубящего органа по отношению к ротору;

$\varphi_y$  – угловое положение рубящего органа, при котором он касается бойка ротора.

Благодаря шарнирному креплению рубящий орган может совершать как поступательное, так и вращательное движение в плоскости, перпендикулярной валу (рис. 1, б), поэтому его движение описывается тремя уравнениями:

ударник, представлена в виде тороидальной трубы круглого сечения с радиусом  $R_{п}$ , изогнутой с радиусом  $R_{и}$ . Полость ограничена двумя «наковальнями» (точки соударения  $O$  и  $C$  на рис. 1, в). Чтобы шар мог свободно перемещаться вдоль полости, его диаметр принимаем незначительно меньшим диаметра полости:  $d_{ш} = 0,95 \cdot 2R_{п}$ . Так как при работе виброударного рабочего органа ротор вращается в вертикальной плоскости, в модели рассматриваются случаи касания шаром полости только в диаметрально противоположных точках  $A$  и  $B$ , лежащих в плоскости, перпендикулярной оси ротора.

В зависимости от того, как движется полость в данный момент времени (равномерное вращательное движение относительно оси ротора, резкое торможение полости при ударе о пень,

разгон ротора после удара), шар-ударник скользит или катится вдоль полости. Возможна комбинация этих видов в кратковременные интервалы смены характера движения.

Принимаем, что на движение шара-ударника, не контактирующего с наковальнями, влияют три силы: тяжести  $F_T$ , реакции со стороны полости  $N$ , трения  $F_{тр}$  в точке соприкосновения с полостью. В зависимости от комбинации сил, положения шара-ударника в полости, скоростей поступательного и вращательного движения возможны различные варианты взаимодействия шара с рубящим органом.

Уравнения движения шара выглядят следующим образом:

$$\begin{cases} m_{ш} \ddot{x}_{ш} = N_x + F_{тшх} + F_{трх}; \\ m_{ш} \ddot{y}_{ш} = N_y + F_{тшы} + F_{тры}; \\ J_{ш} \ddot{\phi}_{ш} = M(N) + M(F_{тш}) + M(F_{тр}) \end{cases} \quad (7)$$

где  $m_{ш}$ ,  $x_{ш}$ ,  $y_{ш}$ ,  $\phi_{ш}$  – масса шара-ударника, его декартовы координаты и угол вращения соответственно;

$N_x$ ,  $N_y$  – составляющие силы реакции опоры о полость;

$F_{тшх}$ ,  $F_{тшы}$  – составляющие силы тяжести шара-ударника;

$F_{трх}$ ,  $F_{тры}$  – составляющие силы трения шара-ударника о полость.

При этом в модели учитывается, что сила реакции опоры зависит от глубины проникновения шара-ударника в полость, а сила трения – от силы реакции опоры, скорости поступательного и вращательного движения шара-ударника. Декартовы составляющие сил  $N$ ,  $F_T$  и  $F_{тр}$  рассчитываются, исходя из ориентации направляющей полости по отношению к ротору и ротора по отношению к пню. При дви-

жении шара-ударника по направляющей он может ударяться о крайние точки: главную наковальню (точка  $C$ ) или ответную (точка  $O$ ). От формы и расположения направляющей полости зависит эффективность передачи импульса от шара-ударника к рубящему органу. В свою очередь, она определяется возможностью разгона шара-ударника, правильной комбинацией вращательного и скользящего движения, быстротой возврата шара-ударника после удара в исходное положение, влиянием силы тяжести.

Взаимодействие рубящего органа с древесиной пня считается вязкоупругим [3], при этом в процессе компьютерного эксперимента постепенно удаляются «срубленные» элементы пня, т. е. происходит постоянная коррекция его формы.

Интегрирование системы дифференциальных уравнений (1)–(7), составляющих основу модели, осуществляется численным способом с использованием модифицированного метода Эйлера – Коши [1]. Для этой цели разработана компьютерная программа на языке Object Pascal в интегрированной среде программирования Borland Delphi 7 (рис. 2). Получено свидетельство об официальной регистрации программы для ЭВМ [5].

При раскручивании рубящего органа (между моментами удара о древесину) он запасает кинетическую энергию. В момент удара, в течение малого промежутка времени, кинетическая энергия высвобождается и превращается в энергию разрушения пня. При этом модель позволяет рассчитать силу  $F$ , оказываемую на пень со стороны рубящего органа. Решающее значение имеет максимальное значение силы  $F_{max}$ , так как отрыв щепы начинается, если  $F_{max}$  превышает некоторую предельную силу, пропорциональную

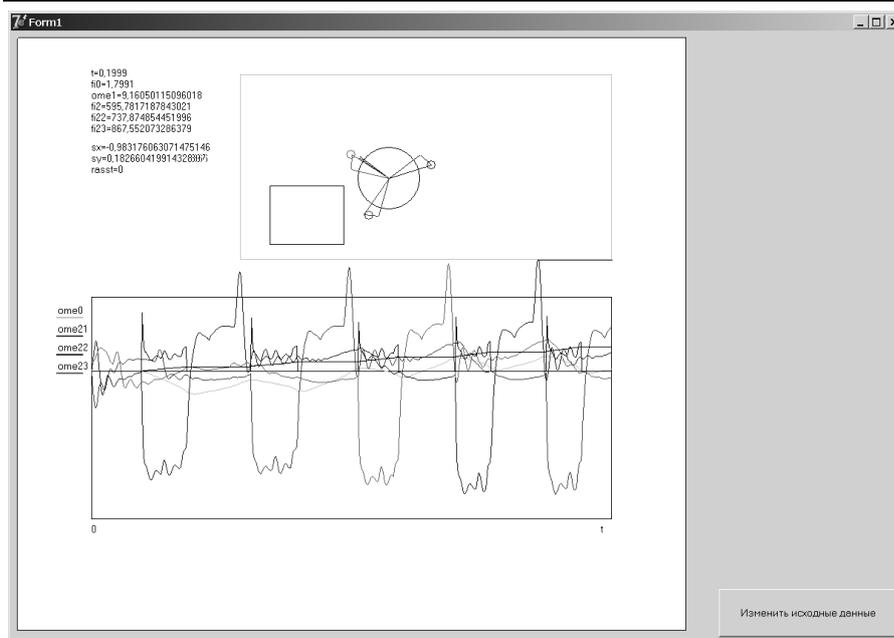


Рис. 2. Результаты моделирования, выводимые на экран разработанной программой

пределу прочности древесины на продольное скалывание. Поэтому в модели в качестве основной выходной характеристики рассматривается зависимость силы от времени  $F(t)$  (рис. 3). Подбором параметров механизма необходимо добиться того, чтобы при каждом ударе о древесину пиковое значение силы  $F_{\max}$  было как можно больше.

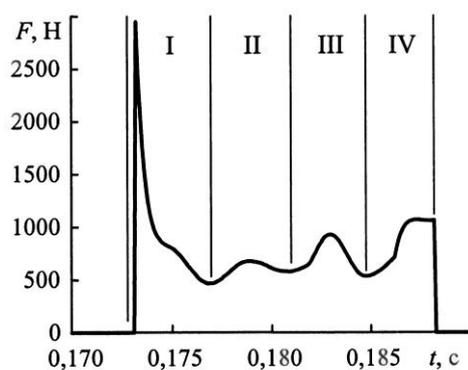


Рис. 3. Типичная зависимость силы  $F$  со стороны рубящего органа на древесину от времени  $t$

Несмотря на кажущуюся простоту, разработанный виброударный рабочий орган обеспечивает многоэтапный рубящий эффект. Первый этап (I на рис. 3) соответствует удару лезвия рубящего органа о древесину. Всплеск силы при этом наибольший, так как происходит быстрая остановка

тела значительной массы. На этапе II наблюдается всплеск силы от шара-ударника. Он тем больше, чем больше масса шара-ударника.

На этапе III остановившийся в древесине рубящий орган испытывает удар со стороны упорного бойка, догоняющего рубящий орган при вращении ротора. При этом удар передается древесине, что также вызывает всплеск силы. Наконец, на IV этапе сила начинает непрерывно расти из-за того, что приводной вал передает усилие на пень уже непосредственно, без выраженного участия качающихся масс. Взаимодействие виброударного рабочего органа практически полностью прекращается после того, как отрубается щепка; при этом рубящий орган сходит с пня. Виброударный рабочий орган должен обладать такими параметрами, чтобы всплески силы на этапах I, II и III были как можно больше. Этого можно достигнуть корректным выбором масс, геометрических параметров и подбором жесткостей пружин. Однако, добиваясь увеличения одного из пиков силы, мы сталкиваемся со снижением остальных двух пиков, что является следствием закона сохранения импульса. Поэтому параметры механизма намеренно подбираются

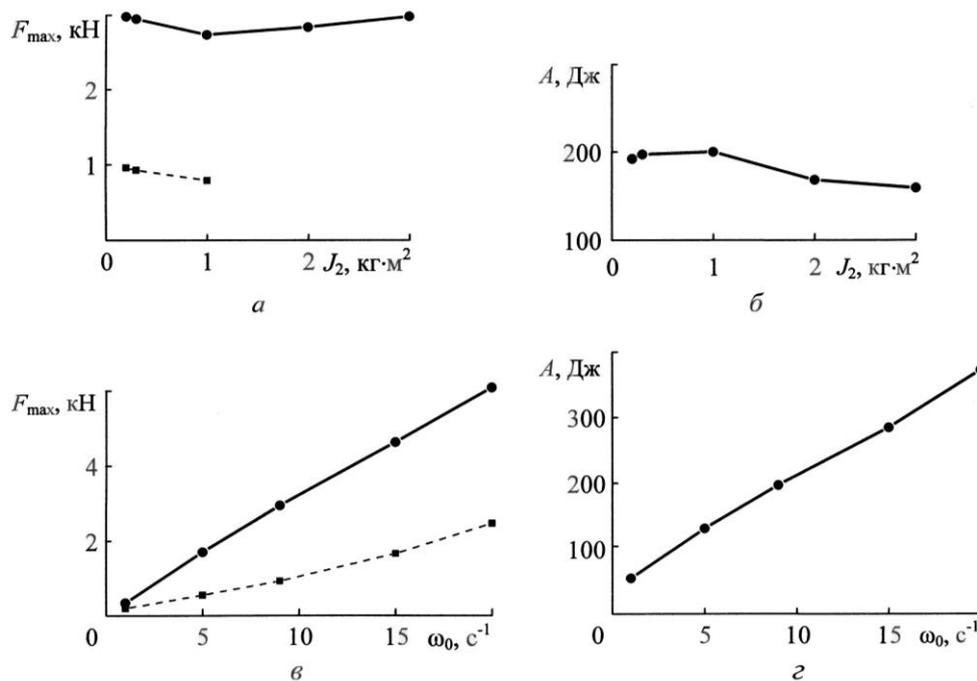


Рис. 4. Влияние момента инерции рубящего органа  $J_2$  (а, б) и частоты вращения вала механизма  $\omega_0$  (в, з) на эффективность скальвания древесины

таким образом, чтобы первый всплеск силы был наивысшим, а остальные два (резервные) хоть и меньше, но также явно выражены. На этапе IV ситуация противоположна. Здесь усилие не должно резко расти, в противном случае существенная нагрузка передается в систему привода виброударного механизма, что ведет к резкому увеличению затрачиваемой мощности и может вызвать его поломку.

Для дальнейшего исследования выбраны два наиболее важных параметра виброударного рабочего органа, которые можно изменять в модели [2]. Первым из них является момент инерции рубящего органа  $J_2$ , от которого зависит наибольший всплеск силы на I этапе взаимодействия. Чтобы изучить влияние момента инерции на эффективность удаления пня, проведена серия компьютерных экспериментов, в рамках которых параметру  $J_2$  придавали значения 0,2; 0,3; 1,0; 2,0; 3,0 кг·м<sup>2</sup>.

На рис. 4, а представлен график зависимости максимальной силы, передаваемой древесине от параметра  $J_2$ . Сплошная кривая соответствует высоте пика на этапе I, пунктирная – высоте следующего по величине пика на

этапе III. Моделирование показало, что максимальное значение силы  $F_{max}$  практически не зависит от момента инерции рубящего органа. При малых значениях  $J_2$  рубящий орган, будучи упруго связанным с ротором, имеет возможность хорошо раскручиваться в промежутки времени между двумя последовательными ударами, поэтому приобретает значительную кинетическую энергию за счет скорости. При больших же значениях  $J_2$  рубящий орган из-за высокой инерционности плохо раскручивается ротором, но приобретает необходимую кинетическую энергию за счет массы. Поэтому и при малых, и при больших значениях  $J_2$  виброударный механизм обеспечивает примерно постоянную силу срубания около 3 кН. Дополнительные всплески силы (на этапах II и III) с увеличением  $J_2$  становятся все менее выраженными и при  $J_2 > 1,0$  кг·м<sup>2</sup> исчезают вообще (пунктирная кривая на рис. 4, а обрывается). Причина такой зависимости в том, что с увеличением инерционности рубящего органа ему передается все меньший импульс со стороны как шара-ударника, так и ротора. При массивном рубящем органе практически

вся запасенная шаром-ударником и ротором кинетическая энергия гасится в местах удара металла о металл и почти не передается в место соприкосновения лезвия рубящего органа с древесиной. С этой точки зрения рубящий орган должен иметь момент инерции менее  $1,0 \text{ кг}\cdot\text{м}^2$ . Получена также зависимость затрачиваемой работы  $A$  на одно скалывание от момента инерции  $J_2$  (рис. 4, б). Работа  $A$  плавно уменьшается с увеличением момента инерции  $J_2$ , однако незначительно, поэтому рекомендация об использовании легкого рубящего органа ( $J_2 < 1,0 \text{ кг}\cdot\text{м}^2$ ) остается в силе.

Вторым важным параметром виброударного рабочего органа, определяющим его производительность, является частота вращения вала механизма  $\omega_0$ . С использованием модели провели серию компьютерных экспериментов, в которой параметру  $\omega_0$  придавали значения 1, 5, 9, 15 и  $20 \text{ с}^{-1}$  (рис. 4, в, г). Кривые на рис. 4, в соответствуют кривым на рис. 4, а. И максимальная сила  $F_{\text{max}}$ , и работа  $A$ , затрачиваемые на одно скалывание, возрастают практически линейно с увеличением частоты вращения вала. С точки зрения максимизации пиковой силы  $F_{\text{max}}$  частота вращения вала должна быть как можно больше. Однако, учитывая рост работы, затрачиваемой на одно скалывание, частота вращения  $\omega_0$  не может быть больше некоторой максимальной, соответствующей доступной виброударному механизму мощности. Например, если для привода виброударного рабочего органа используется вал отбора мощности агрегируемого трактора класса ЛХТ-55, доступная мощность составит около 10 кВт.

Таким образом, разработанная модель позволила исследовать влияние основных параметров виброударного рабочего органа на эффективность

удаления пней и на этой основе уточнить конструкцию и сформулировать рекомендации для этапа создания серийной машины.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Инженерные расчеты на ЭВМ: справ. пособие / под ред. В.А. Троицкого. Л.: Машиностроение, 1979. 288 с.
2. Мельников С.В., Алешкин В.Р., Рощин П.М. Планирование эксперимента в исследованиях сельскохозяйственных процессов. 2-е изд., перераб. и доп. Л.: Колос, 1980. 168 с.
3. Моделирование сельскохозяйственных агрегатов и их систем управления: учеб. для вузов / под ред. А.Б. Лурье. Л.: Колос. Ленингр. отд-ние, 1979. 312 с.
4. Расчет и проектирование строительных и дорожных машин на ЭВМ / под ред. Е.Ю. Малиновского. М.: Машиностроение, 1980. 216 с.
5. Свидетельство о гос. регистрации программы для ЭВМ № 2009613218 РФ. Программа для моделирования виброударной машины удаления пней / С.Н. Батищев, М.В. Драпалюк, В.В. Посметьев; правообладатель ГОУ ВПО «ВГЛТА». № 2009612079; заявл. 04.05.2009; зарег. 19.06.2009.
6. Советов Б.Я., Яковлев С.А. Моделирование систем: учеб. пособие. М.: Высш. шк., 1998. 319 с.

Поступила 29.04.10

*M.V. Drapalyuk, S.N. Batishchev*

Voronezh State Academy of Forestry and Technology

#### **Theoretical Study Results of Vibratory Impact Machine for Stump Removal**

Theoretical study of a new vibratory impact machine for stump removal is carried out based on the mathematical model. The effect of cutting bodies inertia and shaft rotation frequency on the operating efficiency of the machine is studied. The machine design is specified and recommendations are formulated for the serial machine development.

Keywords: stump removal, cutting body, vibratory impact machine, computer simulation, theoretical study.

УДК 625.711.84

**М.В. Пискунов**

Северный (Арктический) федеральный университет

Пискунов Максим Владимирович родился в 1985 г., окончил в 2007 г. Архангельский государственный технический университет, ассистент кафедры автомобильных дорог Северного (Арктического) федерального университета. Имеет 1 печатную работу в области оптимизации дорожной сети.  
E-mail: avdor@agtu.ru, mackkss@mail.ru



## АЛГОРИТМ ПОСТРОЕНИЯ ОПТИМАЛЬНОЙ СЕТИ ЛЕСНЫХ ДОРОГ

Предложен алгоритм построения оптимальной сети лесных дорог с использованием электронной базы данных. С помощью запросов на языке SQL в базе формируются такие представления данных (таблицы), с помощью которых можно получить список путей, формирующих оптимальную дорожную сеть на некоторой лесной территории.

*Ключевые слова:* проектирование лесовозных дорог, оптимизация дорожной сети, применение географических информационных систем.

Строительство лесовозных дорог является одним из самых капиталоемких процессов в освоении лесных ресурсов. Европейский Север России располагает огромными запасами древесины, но в очень отдаленных и малозаселенных районах со слаборазвитой сетью лесных дорог и дорог общего пользования. В силу истощения лесных ресурсов на территориях, прилежащих к крупным транспортным магистралям, проблема освоения лесов в отдаленных районах становится все более актуальной. Строительство дорог на новых (как и на уже освоенных) территориях должно осуществляться максимально эффективно как с экономической, так и с экологической точек зрения.

Идея построения оптимальной сети лесных дорог с использованием электронно-вычислительных средств представлена в работе А.П. Мохирева [2]. Им предложена методика проектирования сети лесных дорог и определения экономической доступности ресурсов с учетом транспортной инфраструктуры и динамики лесного фонда. Оптимальная сеть при этом строится на основе алгоритма минимального

покрывающего дерева из теории графов дискретной математики. Территория лесозаготовительного предприятия представляется в виде связного взвешенного графа, в котором вершинами являются участки лесного фонда, а ребрами – возможные транспортные пути между ними, характеризующиеся соответствующими стоимостями строительства дорог.

Автором предложена реализация алгоритма минимального покрывающего дерева в терминах языка SQL (Structured Query Language). Целью настоящих разработок является автоматизация процесса оптимизации сети лесных дорог при помощи серии структурированных запросов к релятивистской базе данных.

В общем случае задачу построения минимального покрывающего дерева можно сформулировать так. Пусть дан связный неориентированный граф  $G(V, E)$ , в котором  $V$  – множество вершин, а  $E$  – множество их возможных попарных соединений (ребер). Пусть для каждого ребра  $(u, v)$  однозначно определен их вес  $w(u, v)$  (например, стоимость строительства дороги).

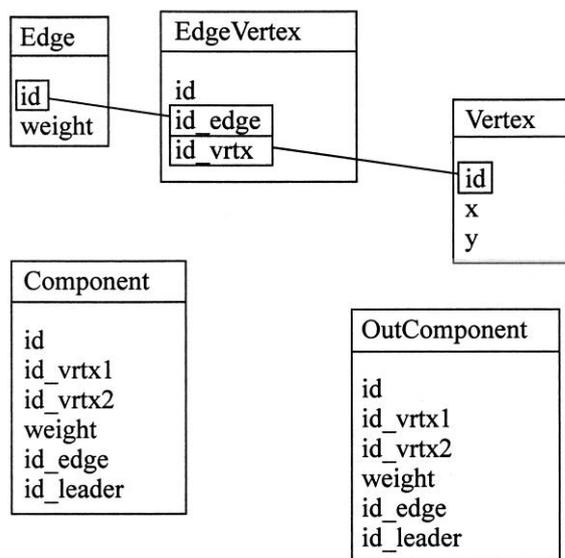


Рис. 1. Схема базы данных

Задача состоит в нахождении такого связного ациклического подграфа  $T$ , принадлежащего  $G$  и содержащего все вершины, при котором суммарный вес его ребер будет минимален.

Так как  $T$  связан и не содержит циклов, он является деревом и называется *остовным* или *покрывающим деревом*. Остовное дерево  $T$ , у которого суммарный вес его ребер минимален, называется *минимальным остовным* или *минимальным покрывающим деревом*.

Искомый остов строится постепенно. Алгоритм использует некоторый ациклический подграф  $A$  исходного графа  $G$ , который называется *промежуточным остовным лесом*. Изначально  $G$  состоит из  $n$  вершин-компонент, не соединенных друг с другом ( $n$  деревьев из одной вершины). На каждом шаге в  $A$  добавляется одно новое ребро. Граф  $A$  всегда является подграфом некоторого минимального остова. Очередное добавляемое ребро  $e = (u, v)$  выбирается так, чтобы не нарушить этого свойства.  $A \cup \{e\}$  тоже должно быть подграфом минимального. Такое ребро называется *безопасным* [3].

Используя функционал современной электронной базы данных,

можно решить эту задачу наиболее эффективным способом. В такой базе должны храниться координаты всех географических объектов, необходимые для расчета минимального покрывающего дерева сети дорог на определенной территории. Схема базы данных представлена на рис. 1.

В таблице *Vertex* (вершина) будут храниться вершины графа, которые располагаются в центре тяжести лесозаготовительных участков (их геометрических центрах или в центре тяжести по объему запасов древесины), а также координаты этих вершин, либо абсолютные (географические), либо относительные (например, относительно пункта доставки древесины). Соответственно поля  $x$  и  $y$  будут хранить такие координаты.

Таблица *Edge* (ребро) соответственно будет заполнена данными о тех транспортных путях, которые возможны между вершинами графа. Эти пути (ребра) имеют определенный вес, т. е. некоторую стоимость строительства дорог между лесозаготовительными участками, значение которой хранится в поле *weight*.

Таблица *EdgeVertex* используется для связи таблиц *Edge* и *Vertex*.

Для построения минимального остова в созданном графе используется алгоритм Борувки [3], который для реализации SQL-запросов наиболее приемлем. Для примера взят простой случай, когда исходный граф состоит всего из пяти вершин и семи ребер, соединяющих эти вершины (рис. 2). Каждому ребру назначается вес, т. е. стоимость строительства дороги между двумя точками, которые соединяет данное ребро. Соответственно вес ребра 1 будет равняться 200 000, 2 – 500 000, 3 – 300 000, 4 – 400 000, 5 – 700 000, 6 – 900 000, 7 – 950 000 р.

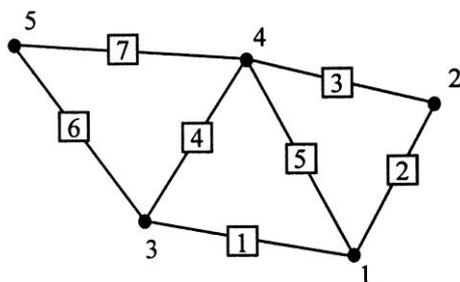


Рис. 2. Исходный граф для расчета

Вначале для каждой вершины определяются ребра с минимальным

весом. Сделать это можно при помощи SQL-запроса, объединяющего две таблицы *EdgeVertex* и *Edge*. Функция *min()* используется для поиска минимального значения веса ребра, инцидентного каждой вершине (исходящего из каждой вершины). Запрос группируется по идентификаторам вершин. В каждом запросе создается представление (*CREATE VIEW*) для удобства записи последующих запросов.

```
CREATE VIEW MinWeightForVrtx AS SELECT EdgeVertex.id_vrtx AS mww_id_vrtx,
min(Edge.weight) AS mww_min_weight FROM EdgeVertex LEFT JOIN Edge ON
Edge.id = EdgeVertex.id_edge GROUP BY mww_id_vrtx.
```

Таблица 1

Представление *MinWeightForVrtx*

<i>mws_id_vrtx</i> (вершина графа)	<i>mww_min_weight</i> (минимальный вес ребра среди всех ребер, инцидентных данной вершине)
1	200 000
2	300 000
3	200 000
4	300 000
5	900 000

Результатом запроса (*SELECT \* FROM MinWeightForVrtx*) будет табл. 1.

Далее необходимо знать, какое именно ребро обладает таким весом. Поэтому на основе представления *MinWeightForVrtx* создается новое – *VrtxAndMinWeightEdge*, в которое добавляется поле, содержащее иденти-

фикатор соответствующего ребра с минимальным весом.

Для каждой вершины представленной в первой графе табл. 1, необходимо получить также идентификаторы смежных им вершин относительно ребра с минимальным весом.

```
CREATE VIEW VrtxEdgeAndSecondVrtx AS SELECT
VrtxAndMinWeightEdge.vmw_id_vrtx AS vesv_id_vrtx,
VrtxAndMinWeightEdge.vmw_min_weight AS vesv_min_weight,
VrtxAndMinWeightEdge.vmw_id_edge AS vesv_id_edge,
EdgeVertex.id_smt AS vesv_snd_vrtx FROM VrtxAndMinWeightEdge
LEFT JOIN EdgeVertex WHERE EdgeVertex.id_edge =
VrtxAndMinWeightEdge.vmw_id_edge AND EdgeVertex.id_vrtx !=
VrtxAndMinWeightEdge.vmw_id_smt.
```

Результатом запроса к представлению *VrtxEdgeAndSecondVrtx* являются данные табл. 2.

Представление *VrtxEdgeAndSecondVrtx* группируется по графе *vesv\_id\_edge*. Получается, что одному

ребру исследуемого графа соответствует одна строка представления *VrtxEdgeAndSecondVrtx*. Для этого запрос создания представления необходимо немного откорректировать:

Таблица 2

Представление *VrtxEdgeAndSecondVrtx*

<i>vesv_id_vrtx</i> (вершина графа)	<i>vesv_min_weight</i> (минимальный вес ребра среди всех ребер, инцидентных вершине <i>vesv_id_vrtx</i> )	<i>vesv_id_edge</i> (ребро с минимальным весом, инцидентное вершине <i>vesv_id_vrtx</i> )	<i>vesv_scnd_vrtx</i> (вершина, смежная вершине <i>vesv_id_vrtx</i> относительно ребра <i>vesv_id_edge</i> )
1	200 000	1	3
2	300 000	3	4
3	200 000	1	1
4	300 000	3	2
5	900 000	6	3

```
CREATE VIEW VrtxEdgeAndSecondVrtx AS SELECT
VrtxAndMinWeightEdge.vmwe_id_vrtx AS vesv_id_vrtx,
VrtxAndMinWeightEdge.vmwe_min_weight AS vesv_min_weight,
VrtxAndMinWeightEdge.vmwe_id_edge AS vesv_id_edge,
EdgeVertex.id_vrtx AS vesv_scnd_smt FROM VrtxAndMinWeightEdge
LEFT JOIN EdgeVertex WHERE EdgeVertex.id_edge =
VrtxAndMinWeightEdge.vmwe_id_edge AND EdgeVertex.id_vrtx !=
VrtxAndMinWeightEdge.vmwe_id_vrtx GROUP BY vmwe_id_edge.
```

С помощью представления *VrtxEdgeAndSecondVrtx* (табл. 3) уже можно получить некоторые части искомого минимального остова, так называемые *компоненты связности*, т. е. множества ребер, взаимосвязанных друг с другом (рис. 3).

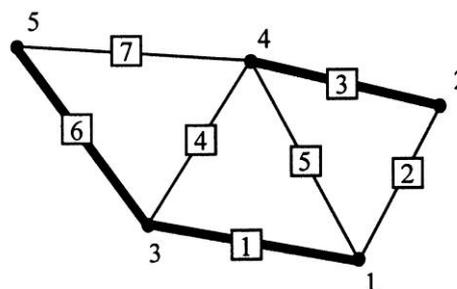


Рис. 3. Компоненты связности

Таблица 3

Представление *VrtxEdgeAndSecondVrtx*, сгруппированное по графе *vesv\_id\_edge*

<i>vesv_id_vrtx</i>	<i>vesv_min_weight</i>	<i>vesv_id_edge</i>	<i>vesv_scnd_vrtx</i>
3	200 000	1	1
4	300 000	3	2
5	900 000	6	3

Информация об этих компонентах будет храниться в таблице *Component* (табл. 4). Для этого необходимо запрограммировать определенный алгоритм, который будет заполнять эту таблицу данными. Алгоритм можно реализовать как прикладную программу, взаимодействующую с базой данных, либо используя функциональность самой системы управления базами данных (СУБД).

Поля табл. 4 означают следующее: *id\_vrtx1* – вершина графа; *id\_vrtx2* – вершина, смежная с вершиной *id\_vrtx1* по ребру с минимальным весом; *weight* – вес ребра; *id\_edge* – ребро с минимальным весом; *id\_leader* – ребро-лидер для определенной компоненты связности (т. е. строки таблицы, имеющие одинаковое значение в графе *id\_leader*, принадлежат одной компоненте связности).

Таблица 4

Таблица *Component*

<i>id</i>	<i>id_vrtx1</i>	<i>id_vrtx2</i>	<i>weight</i>	<i>id_edge</i>	<i>id_leader</i>
1	3	1	200 000	1	1
2	4	2	300 000	3	3
3	5	3	900 000	6	1

Таблица 5

Таблица *OutComponent*

<i>id</i>	<i>id_vrtx1</i>	<i>id_vrtx2</i>	<i>weight</i>	<i>id_edge</i>	<i>id_leader</i>
1	3	4	500 000	2	1
2	1	4	400 000	4	1
3	1	2	700 000	5	1
4	5	4	950 000	7	1

Аналогичным образом создается таблица *OutComponent* (табл. 5), в которую записываются ребра, не принадлежащие компонентам связности. В графе *id\_leader* хранятся идентификаторы лидеров тех компонент связности, к которым примыкают ребра из этой таблицы.

Для получения списка безопасных ребер создается представление *OutCompMinWeight*, где производится группировка по графе *id\_leader* с поиском минимального значения в графе *weight*:

```
CREATE VIEW OutCompMinWeight AS SELECT
min(OutComponent.weight) AS omw_min_weight,
OutComponent.id_leader AS omw_id_leader FROM OutComponent
GROUP BY omw_id_leader.
```

Далее создается новое представление *OutCompMinWeightVrtx*, где к *OutCompMinWeight* добавляется поле *omws\_id\_vrtx1*, содержащее идентификаторы вершин, принадлежащих безопасным ребрам. На основе

*OutCompMinWeightVrtx* создается представление *OutCompMinWeightEdge*, в котором присутствует еще одно поле *omwe\_id\_edge*, которое как раз и содержит идентификаторы этих безопасных ребер.

```
CREATE VIEW OutCompMinWeightEdge AS SELECT
OutCompMinWeightVrtx.omws_id_sm1 AS omwe_id_vrtx1, Edge.id AS
omwe_id_edge, OutCompMinWeightVrtx.omvw_min_weight AS
omwe_min_weight, OutCompMinWeightVrtx.omvw_id_leader AS
omwe_id_leader FROM OutCompMinWeightVrtx LEFT JOIN Edge ON
Edge.weight = OutCompMinWeightVrtx.omvw_min_weight AND Edge.id
IN (SELECT EdgeVertex.id_edge FROM EdgeVertex WHERE
EdgeVertex.id_smt = OutCompMinWeightVrtx.omvw_id_vrtx1).
```

Таким образом, множества ребер из таблицы *Component* и представления *OutCompMinWeightEdge* и будут

минимальным покрывающим деревом в исследуемом графе (рис. 4).

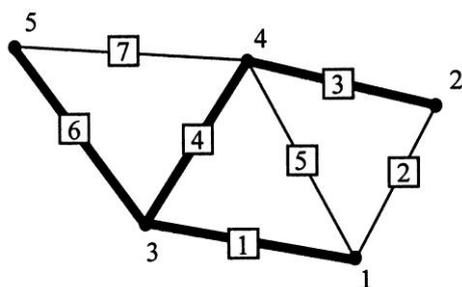


Рис. 4. Минимальное покрывающее дерево в исследуемом графе

В заключение стоит отметить, что плюсом релятивистских СУБД является их огромная распространенность во всем мире, подавляющее большинство всей информации хранится именно в таких базах. Эти базы отличаются высокой скоростью поиска, т. е. очень эффективны при работе с огромными массивами информации. Например, для точного построения оптимальной сети лесных дорог необходимо разбивать район ее построения на более мелкие участки. В результате количество вершин исходного графа может достигнуть нескольких миллионов. Таким образом, хранение данных и расчет сети дорог с применением релятивистских СУБД в этом смысле оправданны и перспективны.

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Домнин Л.С. Элементы теории графов: учеб. пособие. Пенза: Изд-во ПГУ, 2004. 139 с.
2. Мохирев А.П. Обоснование проектирования сети лесных дорог на примере предприятий Нижнего Приангарья: дис. ... канд. техн. наук. Красноярск, 2007. 174 с.
3. Рыбаков Г. Минимальные остовные деревья [Электронный ресурс]. Электрон. дан. 2005. Режим доступа: <http://rain.ifmo.ru/cat/view.php/theory/graph-spanning-trees/mst-2005>, свободный. Загл. с экрана.

Поступила 25.01.11

*M.V. Piskunov*

Northern (Arctic) Federal University

### Algorithm of Building Optimal Forest Road Network

The algorithm of building optimal forest road network is offered by using the digital data base. Based on the requests in SQL the data representations (tables) are formed allowing to get a list of ways forming the optimal road network on some forest territory.

Keywords: forest roads design, road network optimization, application of geographical information systems.

УДК 630\*38

*С.П. Дорохов*

ОАО НПП «Старт» (г. Екатеринбург)

Дорохов Сергей Петрович родился в 1952 г., окончил в 1974 г. Уральский лесотехнический институт, начальник конструкторской бригады ОАО НПП «Старт» (г. Екатеринбург). Имеет более 20 печатных работ по оптимизации процесса переноса груза манипуляторами.  
Тел. 8 (343) 228-93-26



## **СРАВНИТЕЛЬНОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ ВРЕМЕНИ ЦИКЛОВ ДВУХЗВЕННОГО МАНИПУЛЯТОРА ПРИ РАЗЛИЧНОЙ ОРГАНИЗАЦИИ ДВИЖЕНИЯ ЕГО ЗВЕНЬЕВ**

Показано, что минимальное время циклов переноса лесоматериалов имеет двухзвенный манипулятор с совместным движением звеньев.

*Ключевые слова:* манипулятор, траектория, время, цикл.

Наибольшее распространение в лесной промышленности получили дистанционно-управляемые двухзвенные шарнирно-рычажные манипуляторы с операторным управлением с помощью кнопочных пультов или рукояток. При этом в манипуляторах широко используются гидравлические и электрогидравлические приводы управления.

Проектирование дистанционно-управляемых манипуляторов связано с решением ряда научно-технических проблем, среди которых отмечаются следующие [3].

1. Разработка принципов построения дистанционно-управляемых манипуляторов.

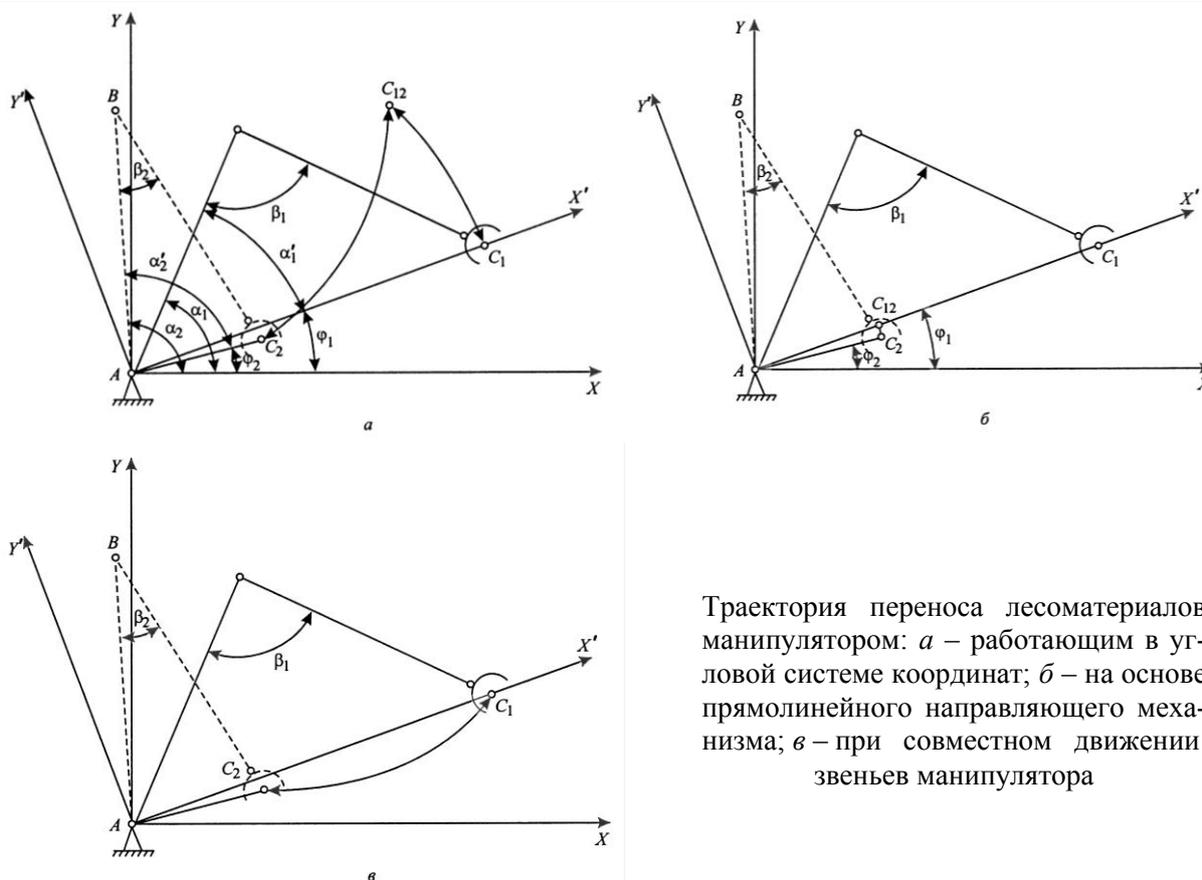
2. Формирование критериев, позволяющих проводить сравнительный кинематический анализ различных манипуляторов.

В нашей работе рассмотрена указанная проблема применительно к манипуляторам, используемым в лесной промышленности. Сравняется время циклов переноса лесоматериалов двухзвенным манипулятором при различной организации движения его звеньев, т. е. фактически решается задача оптимизации движения звеньев манипулятора.

Как отмечалось ранее [4], модели манипуляторов, построенные на базе динамических уравнений, приводят к необходимости выполнения громоздких вычислений даже при решении сравнительно простых оптимизационных задач. В то же время оценки предельных возможностей могут быть получены на основе кинематических уравнений.

О.Г. Озол и З.Э. Радзинь в работе [5] изложили результаты исследования движения стрелы гидравлического погрузчика и показали, что учет динамических нагрузок приводит к увеличению времени подъема стрелы всего на 2 % по сравнению с расчетным случаем, при котором учитываются только статические нагрузки. Поэтому нами используется кинематическая модель манипулятора.

Принято, что предварительно выполнен динамический расчет манипулятора и угловые скорости звеньев позволяют соблюдать условия прочности и устойчивости. Угловые скорости звеньев постоянны в среднем во всех рассматриваемых случаях организации движения звеньев манипулятора, а сам процесс переноса груза считается квазистатическим [2].



Траектория переноса лесоматериалов манипулятором: *а* – работающим в угловой системе координат; *б* – на основе прямолинейного направляющего механизма; *в* – при совместном движении звеньев манипулятора

На рис. *а* показана траектория перемещения центра захвата из некоторой начальной точки  $C_1$  в конечную точку  $C_2$  и обратно, выполняемая двухзвённым манипулятором, работающим в угловой (ангулярной) системе координат. Его звенья движутся раздельно во времени (друг за другом).

Время цикла для такого манипулятора ( $T_{цил}$ ) можно записать как

$$T_{цил} = T_{c1} + T_p + T_3 + 8t_{п}. \quad (1)$$

Здесь

$$T_{c1} = T'_{c1} + T''_{c1}; T_p = T'_p + T''_p; T_3 = T_{3.0} + T_{3.3},$$

где  $T'_{c1}, T''_{c1}$  – время подъема и опускания стрелы;

$T'_p, T''_p$  – время подъема и опускания рукояти;

$T_{3.0}, T_{3.3}$  – время открытия и закрытия захвата;

$t_{п}$  – время переключения управляющей аппаратуры в точке траектории.

Выразим составляющие времени цикла через углы поворота и угловые скорости звеньев манипулятора. Имеем

$$T'_{c1} = \frac{|\alpha_2 - \alpha_1|}{\omega'_c}; T''_{c1} = \frac{|\alpha_2 - \alpha_1|}{\omega''_c};$$

$$T'_p = \frac{|\beta_2 - \beta_1|}{\omega'_p}; T''_p = \frac{|\beta_2 - \beta_1|}{\omega''_p},$$

где  $\omega'_c, \omega''_c$  – угловые скорости подъема и опускания стрелы;

$\omega'_p, \omega''_p$  – угловые скорости подъема и опускания рукояти;

$\alpha_1, \alpha_2$  – углы поворота стрелы в начальном и конечном положениях;

$\beta_1, \beta_2$  – углы поворота рукояти в начальном и конечном положениях манипулятора.

После подстановки полученных значений в формулу (1) получим

$$T_{ц1} = |\alpha_2 - \alpha_1| \left( \frac{\omega'_c + \omega''_c}{\omega'_c \omega''_c} \right) +$$

$$+ |\beta_2 - \beta_1| \left( \frac{\omega'_p + \omega''_p}{\omega'_p \omega''_p} \right) + T_3 + 8t_n$$

или

$$T_{ц1} = |\alpha'_2 - \alpha'_1 + \varphi_2 - \varphi_1| \left( \frac{\omega'_c + \omega''_c}{\omega'_c \omega''_c} \right) +$$

$$+ |\beta_2 - \beta_1| \left( \frac{\omega'_p + \omega''_p}{\omega'_p \omega''_p} \right) + T_3 + 8t_n,$$

где  $\alpha'_2, \alpha'_1$  – углы, дополняющие  $\varphi_2, \varphi_1$  до углов  $\alpha_2$  и  $\alpha_1$ .

На рис. б показана траектория перемещения центра захвата из некоторой точки  $C_1$  в конечную точку  $C_2$  и обратно, выполняемая двухзвенным манипулятором на основе прямолинейного направляющего механизма. Манипулятор работает в полярной системе координат. Его звенья движутся так, что центр захвата перемещается по траектории, состоящей из отрезка прямой радиальной линии, проходящей через ось опорного шарнира  $A$  стрелы, и отрезка окружности с центром на этой оси, проходящей через конечную точку  $C_2$ .

Время цикла манипулятора на основе прямолинейного направляющего механизма ( $T_{ц2}$ ) запишется следующим образом:

$$T_{ц2} = T_{c2} + T_p + T_3 + 8t_n.$$

Здесь

$$T_{c2} = T'_{c2} + T''_{c2},$$

где  $T'_{c2}, T''_{c2}$  – время подъема и опускания стрелы.

Время движения рукояти  $T_p$ , захвата  $T_3$  и переключения аппаратуры  $t_n$  принято одинаковым для рассматриваемых случаев движения звеньев.

Составляющие времени движения стрелы в цикле манипулятора на основе прямолинейного направляющего механизма равны

$$T'_{c2} = \frac{|\varphi_2 - \varphi_1|}{\omega'_c}; T''_{c2} = \frac{|\varphi_2 - \varphi_1|}{\omega''_c}.$$

Выражая составляющие времени цикла через углы поворота и угловые скорости звеньев, получим время цикла манипулятора на основе прямолинейного направляющего механизма:

$$T_{ц2} = |\varphi_2 - \varphi_1| \left( \frac{\omega'_c + \omega''_c}{\omega'_c \omega''_c} \right) +$$

$$+ |\beta_2 - \beta_1| \left( \frac{\omega'_p + \omega''_p}{\omega'_p \omega''_p} \right) + T_3 + 8t_n.$$

Найдем разность циклов  $T_{ц1}$  и  $T_{ц2}$ . Имеем

$$\Delta T_{ц12} = T_{ц1} - T_{ц2} = \left( |\alpha'_2 - \alpha'_1 + \varphi_2 - \varphi_1| - |\varphi_2 - \varphi_1| \right) \times$$

$$\times \left( \frac{\omega'_c + \omega''_c}{\omega'_c \omega''_c} \right).$$

Из свойств абсолютных величин следует

$$\Delta T_{ц12} = \left( |\alpha'_2 - \alpha'_1 + \varphi_2 - \varphi_1| - |\varphi_2 - \varphi_1| \right) \times$$

$$\times \left( \frac{\omega'_c + \omega''_c}{\omega'_c \omega''_c} \right) \leq |\alpha'_2 - \alpha'_1| \left( \frac{\omega'_c + \omega''_c}{\omega'_c \omega''_c} \right).$$

На рис. в представлена траектория перемещения центра захвата из начальной точки в конечную и обратно при совместном (синхронном) движении звеньев манипулятора. Для этого случая время цикла манипулятора ( $T_{ц3}$ ) можно записать так:

$$T_{ц3} = T_p + T_3 + 4t_n.$$

После подстановки значений составляющих времени цикла получим

$$T_{ц3} = |\beta_2 - \beta_1| \left( \frac{\omega'_p + \omega''_p}{\omega'_p \omega''_p} \right) + T_3 + 4t_n.$$

Найдем разность циклов  $T_{ц1}$  и  $T_{ц3}$ :

$$T_{ц1} - T_{ц3} = |\alpha_2 - \alpha_1| \left( \frac{\omega'_c + \omega''_c}{\omega'_c \omega''_c} \right) + 4t_n$$

и разность циклов  $T_{ц2}$  и  $T_{ц3}$ :

$$T_{ц2} - T_{ц3} = |\varphi_2 - \varphi_1| \left( \frac{\omega'_c + \omega''_c}{\omega'_c \omega''_c} \right) + 4t_n.$$

Проведенное ранее статистическое моделирование [1] показало, что среднее время цикла манипулятора на основе прямолинейного направляющего механизма на 24 % меньше, чем с раздельным по времени движением звеньев. Снижение среднего времени цикла манипулятора с совместным (синхронным) движением звеньев по сравнению с раздельным по времени составляет 38 %.

### Выводы

Минимальное время цикла имеет манипулятор с совместным движением звеньев. Это обусловлено тем, что стрела движется синхронно с рукоятью, т. е. время движения стрелы входит во время движения рукояти. Кроме того, у такого манипулятора меньше затраты времени на переключение управляющей аппаратуры.

Время отдельного единичного цикла манипулятора на основе прямолинейного направляющего механизма меньше или равно времени цикла манипулятора, работающего в угловой системе координат с раздельным во времени движением звеньев.

Максимальная разница во времени цикла манипулятора на основе прямолинейного направляющего механизма и манипулятора, работающего в угловой системе координат, составляет

$$\Delta T_{ц12} = |\alpha'_2 - \alpha'_1| \left( \frac{\omega'_c + \omega''_c}{\omega'_c \omega''_c} \right),$$

а минимальная

$$\Delta T_{ц12} = 0.$$

Очевидно, что обеспечение частично синхронного движения звеньев на основе прямолинейного направляющего механизма, а еще предпочтительнее строго синхронного, приводит к значительному увеличению производительности манипулятора.

Проведенное исследование позволяет наметить следующий путь построения дистанционно-управляемых манипуляторов для лесной промышленности, а именно переход от манипуляторов с раздельным во времени движением звеньев к манипуляторам на основе прямолинейно-направляющих механизмов, управляемых с помощью кнопок или рукояток, и затем с совместным (синхронным) движением звеньев, реализующим непрерывные траектории: копирующие, с астатическим управлением, с использованием биоэлектрического кода и в дальнейшем с автоматическим управлением от автономного программного устройства или ЦВМ. При этом экономическая целесообразность использования той или иной системы управления должна обосновываться соответствующими расчетами.

### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Дорохов С.П. Статистическое моделирование времени циклов переноса лесоматериалов двухзвенным манипулятором с различной организацией движения звеньев // Лесн. журн. 2010. № 4. С. 53–58. (Изв. высш. учеб. заведений).
2. Жавнер В.Л., Крамской Э.И. Погрузочные манипуляторы. Л.: Машиностроение, 1975. 160 с.
3. Кулешов В.С., Лакота Н.А. Динамика систем управления манипуляторами. М.: Энергия, 1971. 304 с.
4. Об оптимальных движениях двухзвенного манипулятора / Носов В.Н., Троицкий А.В., Троицкий В.А.; ЛПИ им. М.И. Ка-

линина. Л., 1981. 17 с. Библиогр.: с. 17. Деп. во ВНИИТЭМР 20.02.87, № 8653–87.

5. Озол О.Г., Радзинь З.Э. Исследование движения стрелы гидравлического погрузчика // Тр. Латв. с.-х. академии. Рига, 1963. Вып. 13. С. 3–29.

Поступила 06.10.10

*S.P. Dorokhov*

JSC Company “Start” (Ekaterinburg)

### **Comparative Study of Two-link Manipulator Cycle Time under Different Organization of Its Links Motion**

It is shown that a two-link manipulator with joint links' motion has minimal cycle time of sawn timber transfer.

Keywords: manipulator, trajectory, time, cycle.

---



## МЕХАНИЧЕСКАЯ ОБРАБОТКА ДРЕВЕСИНЫ И ДРЕВЕСИНОВЕДЕНИЕ

УДК 630\*561

**В.С. Морозов, И.Н. Беляев**

Северный (Арктический) федеральный университет

Морозов Владимир Станиславович родился в 1955 г., окончил в 1978 г. Архангельский лесотехнический институт, доктор технических наук, профессор кафедры строительной механики и сопротивления материалов Северного (Арктического) федерального университета. Имеет около 45 печатных работ в области строительства и эксплуатации зимних лесовозных дорог.

E-mail: v.morozov@agtu.ru



Беляев Иван Николаевич родился в 1985 г., окончил в 2008 г. Архангельский государственный технический университет, аспирант кафедры строительной механики и сопротивления материалов САФУ. Область научных интересов – физико-механические свойства сухостойной древесины и проблемы ее использования.

E-mail: belayev@bk.ru



## АВТОМАТИЗИРОВАННЫЙ ФОТОМЕТРИЧЕСКИЙ МЕТОД СОРТИРОВКИ ДРЕВЕСИНЫ

Предложен новый автоматизированный фотометрический метод сортировки сухостойных окоренных бревен, позволяющий осуществлять комплексную бесконтактную оценку их параметров и автоматическое отнесение материалов к тому или иному сорту.

*Ключевые слова:* древесина, сортировка, сухостой, фотометрический метод, обработка изображений.

Проблема рационализации процесса сортировки хвойных лесоматериалов, являющаяся весьма острой для всего лесопромышленного комплекса, особенно актуальна при проведении лесозаготовительных работ в древостоях, подверженных усыханию. Во многих случаях бревна, полученные из таких древостоев, фактически не проходят сортировку и, минуя этот этап, отбраковываются в низшие сорта (3-й сорт [2] и несортная древесина). Эта тенденция связана, прежде всего, с тем, что высокий процент этих бревен имеет сортообразующие пороки в достаточном для их отбраковки количестве [1]. Однако некоторая их доля, пройдя сортировку, могла бы быть отнесена в более высокие сорта. Визуальная оценка каждого поступающего бревна трудоемка, что снижает экономическую рен-

табельность лесозаготовительных работ, особенно когда это касается лесозаготовок в древостоях, подверженных усыханию.

Фотометрический метод, принцип которого предложен нами, представляет собой автоматизированную бесконтактную оценку степени пораженности сухостойного окоренного бревна сортообразующими пороками и определения его сорта согласно [2] путем обработки цифрового изображения объекта в соответствующих алгоритмах (рис. 1).

Как видно из рис. 1, точки съемки (2) оснащены цифровыми фотокамерами, объективы которых для точек 2 (1, 5) направлены перпендикулярно торцу объекта, для точек 2 (2 – 4) – вдоль центральной оси объекта. Дополнительно в точках съемки 2 (1, 3, 5) установлены лазерные дальнометры.

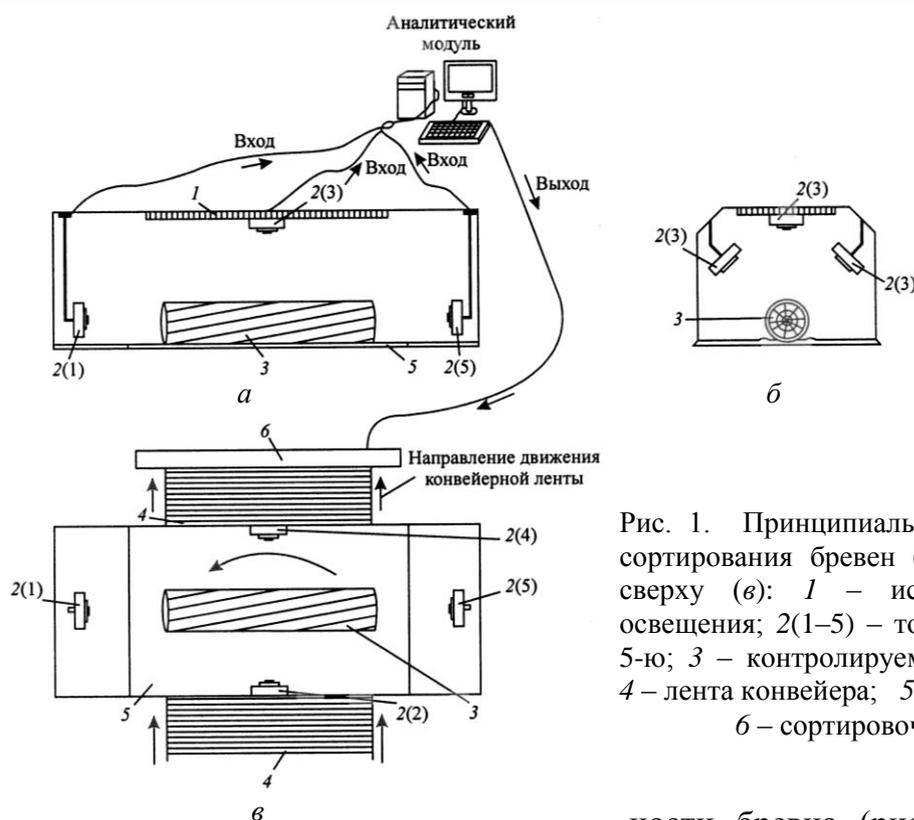


Рис. 1. Принципиальная схема установки сортирования бревен (а), вид сбоку (б) и сверху (в): 1 – источник рассеянного освещения; 2(1–5) – точки съемки с 1-й по 5-ю; 3 – контролируемый объект (бревно); 4 – лента конвейера; 5 – поворотный стол; 6 – сортировочный модуль

Поворотный стол 5 монтируется отдельно от транспортера и приходит в движение по направлению часовой стрелки после поступления бревна на его поверхность. Конструкция поворотного стола должна обеспечивать установку объекта таким образом, чтобы центральная ось бревна совпадала с лучами зрения камер в точках 2(1) и 2(5).

Так как требования к лесоматериалам различных сортов по наличию в них основных пороков [2] относятся только к видимым порокам, для определения сорта бревна достаточно проанализировать графическое изображение его поверхности с использованием специальных программных продуктов. К изображению предъявляются следующие требования.

1. Для максимально полного представления о внешнем виде объекта графическая информация о нем должна формироваться на основе данных, полученных съемкой с пяти точек: левый и правый торцы объекта, а также три точки для съемки боковой поверх-

ности бревна (рис. 1). При условии равномерного освещения объекта такого количества точек достаточно для получения цифрового изображения всей поверхности бревна, за исключением пренебрежительно малой ее части (в идеальном случае – линия), по которой бревно соприкасается с плоскостью транспортера.

2. Однотонное фоновое изображение, цвет которого должен резко отличаться от цвета объекта, для исключения попадания в обработку нежелательных и не имеющих отношения к объекту областей.

3. Равномерная освещенность объекта со всех сторон. Следует обратить особое внимание на необходимость рассеянного освещения. Точечное освещение объекта ведет к появлению на его поверхности областей с яркостью выше, чем у смежных.

4. Высокое разрешение изображения.

Основными причинами отбраковки сухостойных балансов на этапе их сортировки являются гнили, червоточины и продольные трещины [1].

К сортообразующим порокам, свойственным и стволам здоровых деревьев, относятся сучки.

Для фотометрического определения габаритов объекта и размерных характеристик областей, отражающих пороки, в точках съемки устанавливают лазерные дальнометры. При известных расстояниях от точки съемки до объекта и от линзы до матрицы камеры (фокусное расстояние камеры) легко определить пропорциональную зависимость между реальными габаритами объекта и пороков на его поверхности и их размерами на цифровом изображении.

Рассмотрим общие принципы оценки сорта бревна в предложенном методе. В общем виде алгоритм обработки изображения объекта сводится к следующим этапам:

выявление областей обработанного изображения, соответствующих тому или иному пороку;

оценка размеров и количества таких областей.

Очевидно, что первый этап обработки изображения объекта вызывает наибольшие трудности. Основной проблемой здесь является максимально адекватное сопоставление характерных признаков области изображения тому или иному пороку и, как следствие, точное выделение на изображении области, занятой пороком.

В общем виде каждый конкретный пиксель цифрового изображения имеет два параметра: цвет и яркость. На этапе оконтуривания области изображения, содержащей пиксели, принадлежащие пороку, критичными для работы алгоритма параметрами становятся не собственные характеристики точки изображения, а их отношение к аналогичным характеристикам прилежащих точек. Исходя из вышесказанного, опишем алгоритм обработки изображения на первом этапе:

1) определение параметров  $i$ -го пикселя ( $R(ed)$ ,  $G(reen)$ ,  $B(lue)$  – составляющие цвета пикселя,  $h$  – яркость пикселя);

2) вычитание полученных значений характеристик из значений аналогичных характеристик всех прилегающих к  $i$ -му пикселю;

3) сравнение полученной разницы с некоторым пороговым значением  $K$ , уникальным для каждого вида порока;

4) присвоение  $i$ -му пикселю одного из двух значений: «граничный» / «рядовой»;

5) повторение пунктов 1 – 4 для всех пикселей изображения;

6) построение замкнутых контуров в пределах граничных пикселей.

Таким образом, основной задачей, которую необходимо решить для качественной оценки цифровых изображений объекта, является определение уникального для каждого порока порогового значения  $K$ . Одним из вариантов решения этой задачи может быть обработка большого количества существующих цифровых изображений того или иного порока и эмпирическое получение искомой величины на основе статистических данных. Учитывая значительный диапазон, в пределах которого могут изменяться параметры  $R$ ,  $G$ ,  $B$  и  $h$  каждого пикселя, можно определить  $K$ , максимально адекватное для конкретного порока.

Нами эмпирическим путем было получено значение  $K$  для изображения червоточин. На рис. 2 приведены изображения модельного объекта до и после обработки его с полученным значением  $K$ .

Ручной пересчет количества червоточин на поверхности модельного объекта не выявил значительного расхождения с результатами программного анализа его изображения.

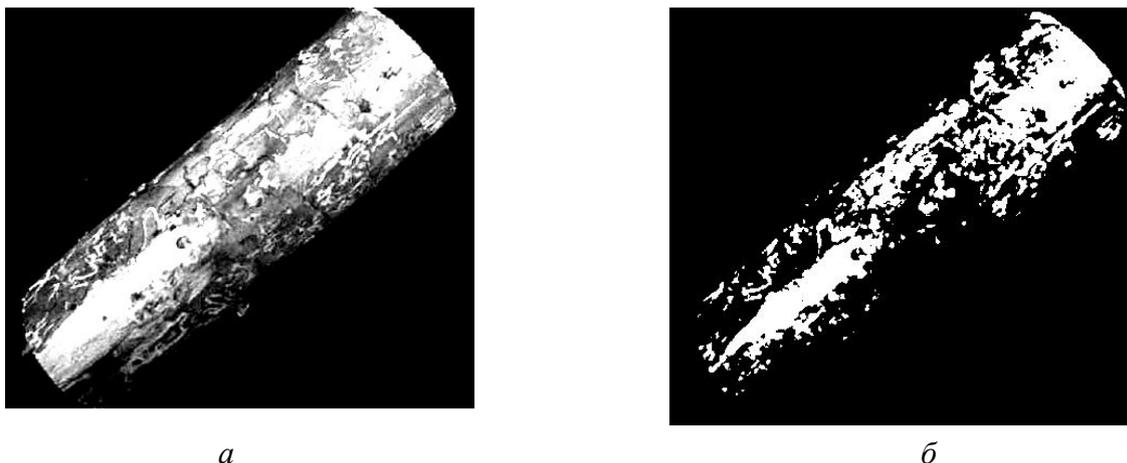


Рис. 2. Исходное изображение объекта с точки 3 (а) и обработанное алгоритмом оценки количества червоточин (б)

Аналогично производится оценка остальных сортообразующих пороков, а также габаритов бревна. Представим в общем виде последовательность операций, производимых над объектом при использовании предложенного метода:

получение изображения объекта (бревна), пригодного для его дальнейшей алгоритмической обработки;

определение габаритов\* объекта и размерно-количественных характеристик сортообразующих пороков на его поверхности;

сравнение размерно-количественных характеристик сортообразующих пороков с их допустимыми значениями для различных сортов [2];

определение сорта рассматриваемого объекта;

формирование выходного документа с результатами экспертизы объекта.

Для достижения достаточной точности оценки степени пораженности объекта различными пороками программа обрабатывает изображения, полученные со всех пяти точек съемки,

и определяет средние значения оцениваемых параметров.

Аналитический модуль установки (см. рис. 1), выполняющей автоматическую сортировку бревен с использованием предложенного фотометрического метода, предлагается реализовать в виде персонального компьютера с предустановленной авторской программой, осуществляющей изложенный выше алгоритм.

По окончании работы алгоритма программа сравнивает полученные значения размерно-количественных характеристик пороков на поверхности объекта с их нормируемыми по [2] значениями и осуществляет сортировку посредством сортировочного модуля б (рис. 1). Для каждого бревна в отдельности и для всей партии в целом формируется отчетная документация, содержащая информацию о сортах бревен и их внешних габаритах.

Основной особенностью предложенного метода является, прежде всего, возможность комплексной бесконтактной оценки бревна и автоматического его отнесения в тот или иной сорт в соответствии с действующими стандартами сортировки древесины. Работа оператора-сортировщика древесины при применении настоящего метода сводится к обслуживанию кон-

\* При наличии в принципиальной схеме установки лазерных дальномеров процедура определения габаритов объекта (длина, диаметр, средний сбеги и др.) не представляет сложности и не излагается в настоящей статье.

вейера. Точность работы метода, основанного на оценке внешнего вида бревен, уступает методам автоматической сортировки, базирующимся на рентгеновском и ультразвуковом излучении, однако его невысокая себестоимость частично компенсирует этот недостаток.

Внедрение рассмотренного метода в цикл лесозаготовительных работ в древостоях, подверженных усыханию, позволит существенно повысить их рентабельность как за счет снижения затрат на визуальный контроль бревен, так и за счет увеличения выхода древесины высоких сортов.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Беляев И.Н.* Проблема усыхания еловых древостоев в Архангельской области // Актуальные проблемы развития лесного комплекса: Материалы междунар. науч.-техн. конф. Вологда: Изд-во ВоГТУ, 2009. 217 с.

2. ГОСТ 9463–88. Лесоматериалы круглые хвойных пород. Технические условия. Введ. 1991–01–01. М.: Изд-во стандартов, 1999. 15 с.

3. *Самойлов А.Н.* Фотометрический метод формирования и обработки данных, торцов круглых лесоматериалов // Науч. журн. КубГАУ. 2007. № 26(2).

4. *Сойфер В.А.* Методы компьютерной обработки изображений. М.: Физматлит, 2001. 784 с.

Поступила 04.02.10

*V.S. Morozov, I.N. Belyaev*

Northern (Arctic) Federal University

#### **Automated Photometric Method of Logs Sorting**

A new automated photometric method of sorting deadwood debarked logs is offered allowing to implement complex contactless estimation of logs' parameters and automatic grading of materials.

Keywords: timber, sorting, deadwood, photometric method, image processing.

УДК 674.09

**А.Е. Алексеев<sup>1</sup>, И.О. Думанский<sup>1</sup>, И.Ю. Королев<sup>1</sup>, В.П. Елькин<sup>1</sup>, С.В. Ершов<sup>1</sup>,  
Ю.В. Васкан<sup>2</sup>**

<sup>1</sup>Северный (Арктический) федеральный университет

<sup>2</sup>ЦНИИМОД

Алексеев Александр Евгеньевич родился в 1958 г., окончил в 1980 г. Архангельский лесотехнический институт, доктор технических наук, профессор кафедры технологии конструкционных материалов и машиностроения Северного (Арктического) федерального университета, академик Академии проблем качества, член-корреспондент Метрологической академии. Имеет более 200 научных трудов в области лесопиления.  
Тел.: 8 (8182) 21-89-91



Думанский Игорь Олегович родился в 1955 г., окончил в 1977 г. Архангельский лесотехнический институт, кандидат технических наук, доцент, заведующий кафедрой технологии конструкционных материалов и машиностроения Северного (Арктического) федерального университета. Имеет более 40 печатных трудов в области термообработки сплавов, деревообработки.  
Тел.: 8 (8182) 21-89-91



Королев Игорь Юрьевич родился в 1950 г., окончил в 1975 г. Архангельский лесотехнический институт, кандидат технических наук, старший научный сотрудник, доцент кафедры строительной механики и сопротивления материалов Северного (Арктического) федерального университета. Имеет 42 публикации, в том числе 13 авторских свидетельств и патентов в области лесопильно-деревообрабатывающего оборудования и инструментов, экспертизы объектов повышенной опасности.  
Тел.: 8 (8182) 21-61-88



Елькин Виталий Павлович родился в 1943 г., окончил в 1971 г. Архангельский лесотехнический институт, кандидат технических наук, старший научный сотрудник, доцент кафедры экономики Северного (Арктического) федерального университета. Имеет 36 публикаций, в том числе 3 авторских свидетельства в области лесопильно-деревообрабатывающего оборудования и инструментов, экономики.  
Тел.: 8 (8182) 21-61-52



Ершов Сергей Викторович родился в 1954 г., окончил в 1976 г. Архангельский лесотехнический институт, кандидат технических наук, старший научный сотрудник, доцент кафедры менеджмента института экономики Северного (Арктического) федерального университета. Имеет 95 печатных работ в области лесопиления, технологии лесопиления, управления инновационной деятельностью.  
Тел.: 8 (8182) 28-89-92



Васкан Юрий Валентинович родился в 1953 г., окончил в 1976 г. Архангельский лесотехнический институт, старший научный сотрудник лаборатории круглопильного оборудования и инструмента ЦНИИМОДа, директор станкостроительного предприятия «ИП Васкан». Имеет около 20 печатных работ, включая 8 авторских свидетельств на изобретения и 2 патента, в области разработки, изготовления, наладки и эксплуатации лесопильного оборудования, ремонта инструмента, обучения обслуживающего персонала.  
Тел.: 8-921-72-00-895



## ПОВЫШЕНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ МЕХАНИЧЕСКОЙ ПЕРЕРАБОТКИ УСЫХАЮЩЕЙ ДРЕВЕСИНЫ

Обоснованы параметры дереворежущего инструмента для переработки усыхающей древесины путем совершенствования параметров лезвийного инструмента и упрочения его режущей кромки в результате термической лазерной обработки.

*Ключевые слова:* параметры дереворежущего инструмента, усыхающая древесина, упрочение, лазерная термическая обработка.

Запасы усыхающей древесины по лесфонду Архангельской области в настоящее время достигают свыше 150 млн м<sup>3</sup>. Остро стоит вопрос об ее утилизации или использовании в промышленности. Одним из направлений переработки этой древесины является производство технологической щепы для целлюлозно-бумажного и гидролизного производств, производства древесностружечных и древесноволокнистых плит, биотоплива и т.д. Однако деструктивные процессы, произошедшие в этой древесине под действием слабо- или малоизученных природных факторов, ограничивают возможность ее переработки на существующем оборудовании при традиционных режимах технологических процессов из-за изменения ее физико-механических свойств.

Цель работы – обоснование параметров дереворежущего инструмента для переработки усыхающей древесины путем совершенствования параметров инструмента и упрочнения его режущей кромки.

*Подготовка короснимателей окорочных станков и ножей рубительных машин.* Большое значение при производстве технологической щепы для целлюлозно-бумажного производства имеет ее качество, обусловленное содержанием коры в щепе, постоянством габаритных размеров щепы и углов ее среза, наличием смятия торцов элементов щепы. Наличие коры в щепе снижает ее сортность (соответственно, область ее использования при дальнейшей переработке в конечную продукцию) и зависит от режимов технологических процессов окорки древесины, конструктивных параметров окорочного оборудования и режущего инструмента, достаточно обоснованных для современного состояния производства щепы из здоро-

вой высококачественной и низкосортной древесины. Для усыхающей древесины с ее изменившимися физико-механическими свойствами такие параметры отсутствуют.

Древесная щепа различного назначения производится на рубительных машинах, использующих лезвийный инструмент – ножи с остро заточенной рабочей кромкой. Угловые параметры этого инструмента определяют как качество производимой щепы, так и энергетические затраты на ее производство. Изменение физико-механических свойств усыхающей древесины требует корректировки и уточнения параметров режущего инструмента в целях получения технологической щепы с требуемыми качественными показателями при минимальном энергопотреблении технологического процесса ее производства. Современные рубительные машины созданы и используются для переработки здоровой древесины со стабильными физико-механическими свойствами. Определены и апробированы на практике основные параметры загрузочных устройств машин, оптимальные угловые параметры направления подачи древесного материала к узлу резания, габаритные размеры и кинематические характеристики рабочих органов машин различной производительности. Поведение усыхающей древесины в процессе ее измельчения в рубительной машине не изучено, что требует проведения исследований и разработки рекомендаций по конструкции загрузочных устройств, расположения режущих элементов в корпусе машины, обоснования основных кинематических параметров движения рабочего органа рубительной машины.

Эффективность производства технологической щепы определяется производительностью процесса – коли-

чеством продукции надлежащего качества, получаемой в единицу времени при минимальных затратах. Значительная доля этих затрат приходится на подготовку и эксплуатацию дерево-режущего инструмента рубительных машин – рубительных ножей. Подготовка ножей к работе заключается в их правке и заточке на специализированном заточном оборудовании – полуавтоматических станках. В летний период эта операция выполняется по мере затупления инструмента в среднем через 8...12 ч работы, в зимний – через 2...3 ч; на подготовку одного ножа затрачивается 3...4 мин [1]. Интенсивность затупления зависит от многих факторов: породы и термовлажностного состояния древесины, вида резания, материала инструмента, места установки на диске, твердости материала ножа и др. Среднее время на замену рубительных ножей в машине составляет 26 мин, что, естественно, снижает эффективное время работы оборудования и его производительность.

Влажность наружных слоев усыхающей древесины снижена. Это приводит к изменению показателей ее физико-механических свойств и неизбежно должно влиять на износостойкость рубительных ножей, а в конечном итоге, на качество вырабатываемой щепы и производительность оборудования для измельчения древесины. На основании вышеизложенного можно наметить следующие направления исследований особенностей переработки усыхающей древесины в технологическую щепу:

1) исследование силовых и качественных характеристик снятия коры с усыхающей древесины и разработка эффективных режимов ее окорки;

2) изучение особенностей резания усыхающей древесины и обоснование основных параметров лезвийно-

го инструмента и оборудования для эффективной ее переработки в технологическую щепу;

3) исследование влияния основных технологических факторов на качество щепы из усыхающей древесины и разработка технологических режимов ее переработки;

4) определение износостойкости рубительных ножей при переработке усыхающей древесины на технологическую щепу и разработка норм расхода этого инструмента.

*Проблемы переработки сухостойной древесины на фрезернопильном оборудовании.* Перспективным видом лесопильного оборудования являются фрезернопильные агрегаты и фрезерно-брусующие станки. Они предназначены для переработки пиловочного сырья диаметром 14...18 см. Фрезернопильные агрегаты совмещают операции формирования сечений пиломатериалов и получения технологической щепы за один проход бревна. В одном агрегате совмещено несколько операций традиционного пиления – распиловка бревна, обрезка досок и переработка горбылей и реек в технологическую щепу. Фрезерно-брусующие станки обычно работают в технологической линии с круглопильными станками, вырабатывая двухкантный брус, который затем распиливается на круглопильном станке на пиломатериалы. Фрезерно-брусующие станки получили широкое применение для малых и средних лесопильных предприятий. Данный вид оборудования позволяет повысить производительность, качество получаемых пиломатериалов и технологической щепы, снизить трудозатраты по сравнению с традиционным рамным потоком.

При переработке сухостойной древесины неизбежно возникновение

проблем, связанных с понижением качества пиломатериалов и технологической щепы. При этом необходимо экспериментально установить следующие зависимости, связывающие:

толщину и деформацию элемента щепы с физико-механическими характеристиками древесины и угловыми параметрами инструмента;

фракционный состав технологической щепы с режимами фрезерования и физико-механическими характеристиками древесины;

качество пиломатериалов с режимами обработки;

режимы фрезерования с физико-механическими характеристиками мерзлой древесины.

На основании полученных экспериментальных данных можно разработать оптимальные режимы переработки сухостойной древесины.

*Локальное упрочнение лезвийного дереворежущего инструмента для обработки сухостойной древесины и пиломатериалов из нее.* Для пиломатериалов из сухостойной древесины характерны высокая твердость и отсутствие в ее структуре веществ, выполняющих роль смазки в процессе резания. В этом плане требования к материалу лезвийного инструмента для ее переработки близки к требованиям, которые предъявляют к инструментальным материалам для обработки металлов и сплавов, а также слоистых пластиков (гетинакса, тектонита, стеклотекстолита и т.д.). К основным требованиям относятся высокая твердость и, в определенной степени, теплостойкость, что в совокупности может обеспечить повышение стойкости к абразивному износу режущей кромки инструмента при работе на высоких скоростях резания сухостойной древесины.

Существующая технология упрочнения лезвийного деревообрабатывающего инструмента основана на использовании объемной печной закалки и последующего печного отпуска. Применение такой технологии термообработки позволяет получать удовлетворительный, хотя и далеко не оптимальный, комплекс свойств инструмента для резания обычных пиломатериалов, для которых можно иметь некоторые пониженные уровни твердости, износостойкости и теплостойкости режущей кромки, что в определенной степени компенсируется применением высоколегированных теплостойких (и дорогостоящих) сталей. К материалу инструмента для обработки сухостоя такой подход малоэффективен, поскольку даже для легированных сталей при объемной закалке невозможно получить высокую (HRC62-65) твердость режущей кромки и одновременно достаточную вязкость тела лезвия, обеспечивающую его устойчивость против скалывания при значительных усилиях резания, характерных для работы на высоких скоростях.

Однако существует вид локальной обработки, позволяющий реализовать отмеченные выше требования к материалу для обработки сухостоя, – лазерная термообработка (ЛТО), являющаяся перспективным методом повышения износостойкости режущих кромок деревообрабатывающего инструмента. Достоинства ЛТО, обусловленные уникальными характеристиками лазерного излучения, заключаются в возможности получения упрочненного слоя высокой твердости с необходимой шероховатостью и остаточными напряжениями при отсутствии деформаций, трещин и отслаиваний. Высокая ЛТО сохраняет структуру и свойства тела инструмента, не снижая его

усталостной прочности. Лазерное упрочнение сталей, ввиду высоких скоростей аустенитизации и самозакалки, обеспечивает получение мелкодисперсного мартенсита, что определяет высокую твердость поверхностных слоев даже низколегированных сталей. Также следует отметить высокие производительность, культуру труда и возможность автоматизации процесса при применении лазерного упрочнения. Исследование ЛТО ряда углеродистых, легированных и инструментальных сталей для деревообрабатывающего инструмента показало высокую эффективность и, в некоторых случаях, незаменимость ЛТО для формирования оптимального комплекса их свойств, обеспечивающего высокую стойкость и производительность лезвийного дереворежущего инструмента, что вполне может быть применимо к материалу инструмента для обработки сухостоя. В частности, получаемый упрочненный слой на глубине 150...170 мкм имеет однородную структуру и свойства. Структура упрочненного слоя представляет собой свежезакаленный мартенсит твердостью  $H_{\mu} = 947 \text{ кг/мм}^2$  с четкими границами по глубине и переходными зонами незначительной протяженности (менее 15 мкм), имеющими твердость  $H_{\mu} = 454 \dots 947 \text{ кг/мм}^2$  (рис. 1).

Получаемая глубина закаленного слоя (150...170 мкм) достаточна для двух-трех переточек изношенного лезвия (при щадящих режимах заточки). Необходимо отметить, что изменение свойств закаленного слоя по ширине на поверхности относительно невелико, поскольку переходные зоны, выходящие на поверхность, имеют незначительное падение твердости ( $H_{\mu} = 657 \dots 767 \text{ кг/мм}^2$ ) и малопротяженны (менее 80 мкм). При переточках в определенных пределах их ширина изменяется незначительно. Существенным также является и то, что при ЛТО значительно (в 1,5–2 раза) повышается теплостойкость инструмента, изготовленного из высоколегированных сталей с высоким содержанием тугоплавких легирующих элементов. Созданное в процессе ЛТО особое структурное состояние и, как следствие этого, оптимальный комплекс свойств режущего инструмента закономерным образом сказываются на повышении износостойкости рабочего лезвия. Износ режущей кромки, подвергнутой ЛТО, в 1,5–2 раза ниже, чем у традиционно упрочненного инструмента на одних и тех же режимах резания. При этом значительно (до 25 %) снижаются мощность, затрачиваемая на резание, и шероховатость поверхности обработанных пиломатериалов (рис. 2).

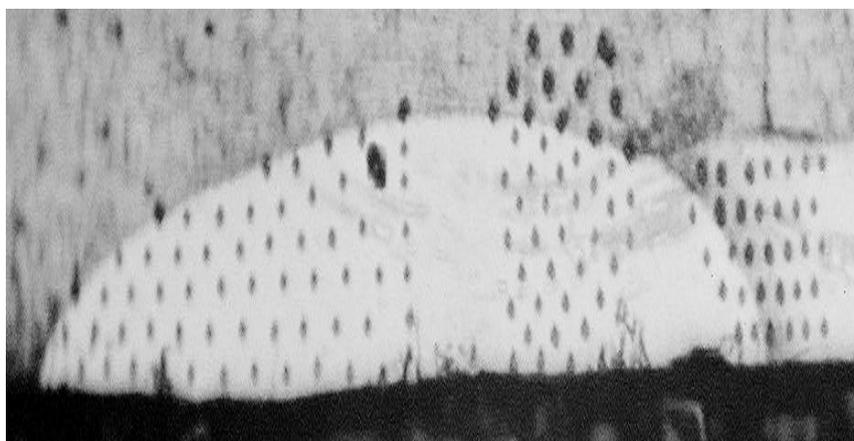
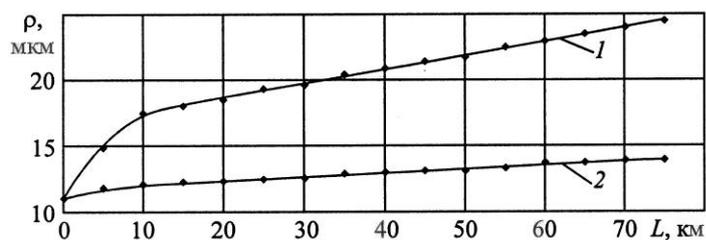
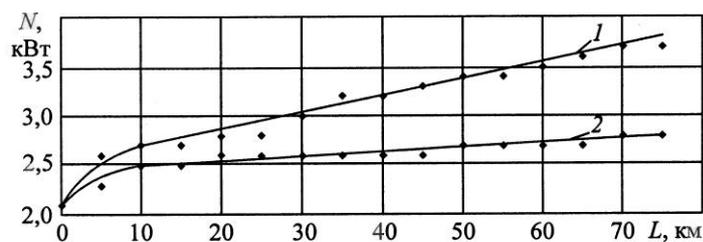


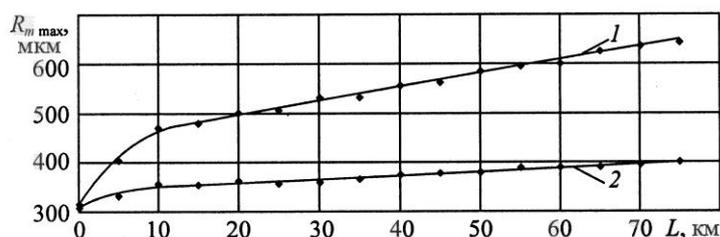
Рис. 1. Зона лазерного воздействия (поперечное сечение)



а



б



в

Рис. 2. Зависимость радиуса закругления режущей кромки (а), мощности резания (б) и шероховатости поверхности (в) от пути резания для традиционного инструмента (1) и инструмента с ЛТО (2)

*Рациональные способы получения пиломатериала из сухостойной древесины.* Сухостойная древесина обладает несколько иными механическими свойствами по сравнению с обычной древесиной. Отсутствие свободной и частично межклеточной влаги придает такой древесине повышенные механические свойства, а при механической обработке – повышенную теплотворную способность и др. В связи с этим ее рационально перерабатывать на пиломатериалы повышенной толщины, измельченную фракцию и опилки. Опыт показал, что пиломатериалы можно использовать при изготовлении мебели, клееной продукции и изделий для строительства. Для продольной распиловки эффективным инструментом могут служить дисковые пилы с пластинами твердого сплава, а для измельчения – рубительные

машины с геликоидальными ножами. После получения пиловочного сырья его можно будет перерабатывать на фрезернопильных агрегатах типа ФБС-750, ЛАПБ-2М, HEWSAW250 и круглопильных линиях, получающих в ряде случаев электроснабжение от электростанций на биотопливе. Для переработки сырья в трудно доступных местах рационально использовать легко перемещаемые современные круглопильные установки типа КРАБ-36 с электроснабжением от дизель-генератора. В настоящее время разрабатываются и применяются компактные легко монтируемые передвижные станки и агрегаты, которые после адаптации к данному сырью можно с успехом использовать для его переработки и очищения площадей под лесопользование.

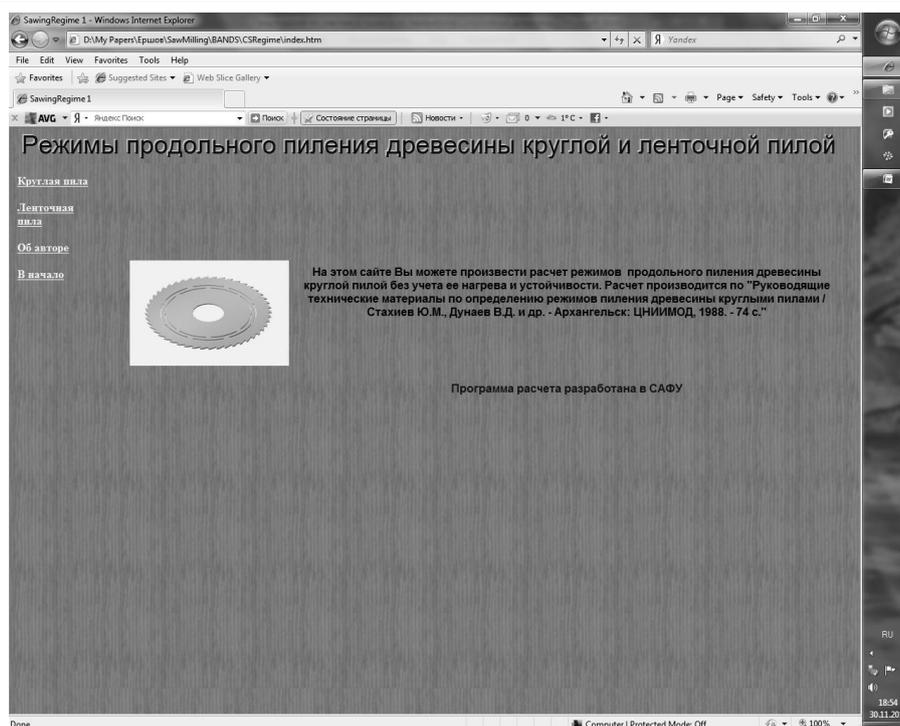


Рис. 3. Стартовая страница

*Расчет режимов пиления сухой древесины на круглопильных и ленточнопильных станках.* Часть сухой древесины, не подвергаясь биологическому повреждению, может быть переработана на пиломатериалы и заготовки (станет сырьем для лесопильной промышленности). Лесопильное оборудование создается для распиловки сырой древесины влажностью 70...80 %, и все режимы пиления и рекомендации по распиловке приведены именно для этой влажности. При выборе режимов пиления решается задача о выборе скорости подачи распиливаемого материала с учетом трех ограничений: по заполнению впадин зубьев, шероховатости поверхности и мощности привода режущего инструмента. В расчете учитывают угол резания и задний угол зуба пилы, метод уширения зуба, форму впадины, геометрию пилы, высоту пропила, скорость резания, породу и влажность древесины, угол встречи зуба с волокнами древесины. Ранее ЦНИИМОД и УЛТИ (г. Екатеринбург) выполнили научную работу по совершенствованию рекомендаций для ре-

жимов пиления на отечественном оборудовании. Методика расчетов для круглых пил, приведенная в работе [2], довольно сложная в использовании и предполагает работу с большим количеством таблиц справочных коэффициентов, поэтому ее применение в условия производства затруднено.

В связи с этим предлагается программа с web-интерфейсом для расчета режимов пиления круглыми и ленточными пилами, разработанная в САФУ и доступная для всех пользователей Интернета. Она предназначена для расчета режимов пиления при любых нестандартных условиях. На стартовой странице (рис. 3) производится выбор круглопильного или ленточнопильного станка. При выборе круглопильного станка открывается страница с параметрами пилы, станка и распиливаемой древесины (рис. 4).

После ввода или выбора всех параметров нажимается кнопка «Расчет» и в поле вывода появляется результат расчета с указанием наименьшей скорости подачи и ограничивающего фактора (рис. 5).

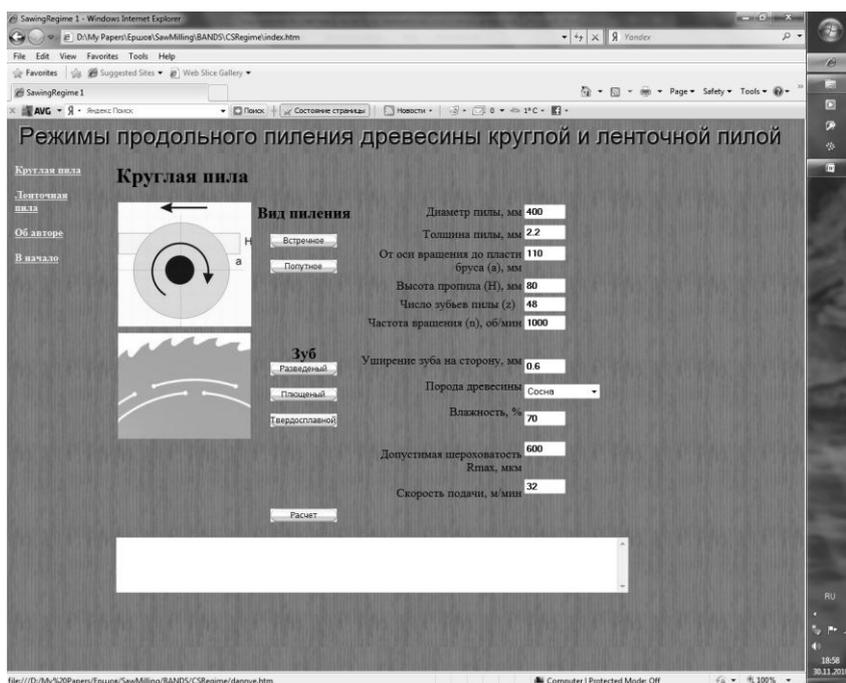


Рис. 4. Расчет режимов резания на круглопильном станке

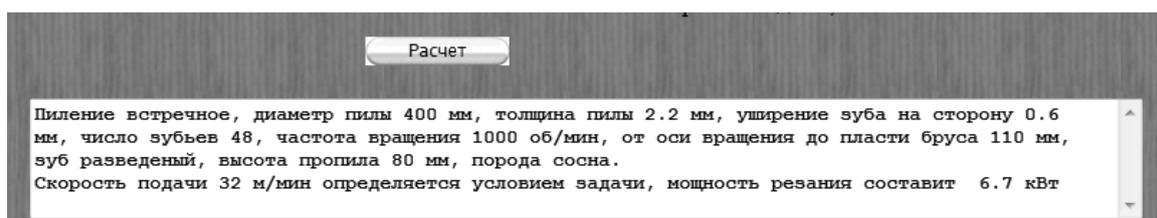


Рис. 5. Результаты расчета

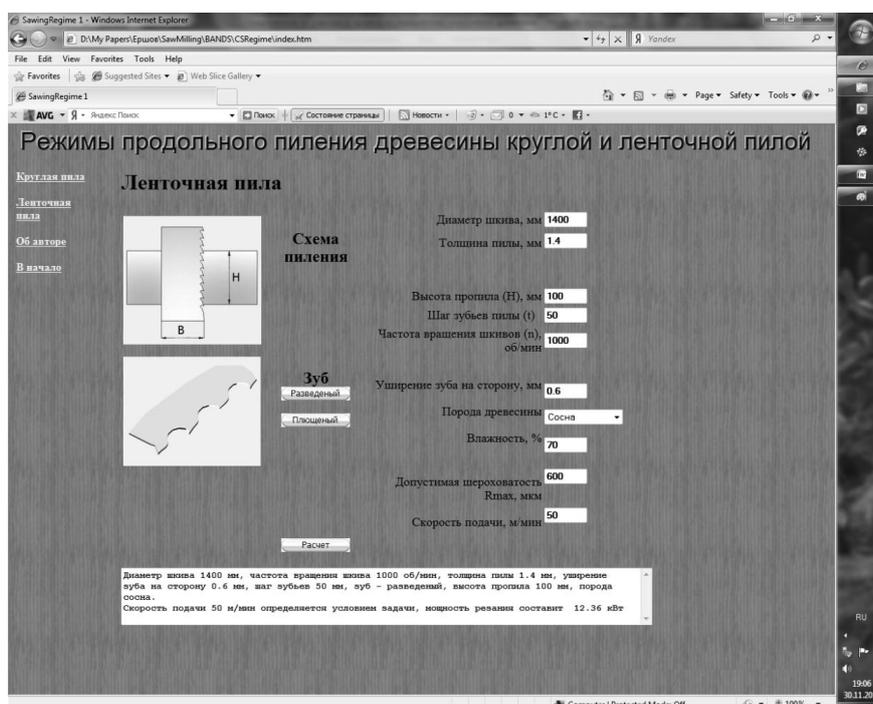


Рис. 6. Расчет режимов резания на ленточнопильном станке

Аналогично можно рассчитать режимы пиления на ленточнопильном станке (рис. 6).

Таким образом, в ходе достижения поставленной цели могут быть решены следующие основные задачи: обоснование параметров дереворежущего инструмента для переработки усыхающей древесины, упрочение лезвийного дереворежущего инструмента, разработка комплекса оборудования для ее переработки.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Гомонай М.В.* Многолезцовые рубильные машины. М.: Лесн. пром-сть, 1990. 144 с.
2. Руководящие технические материалы по определению режимов пиления древесины круглыми пилами / Стахийев Ю.М. [и др.]. Архангельск: ЦНИИМОД, 1988. 74 с.

Поступила 08.12.10

---

*A.E. Alekseev<sup>1</sup>, I.O. Dumansky<sup>1</sup>, I.Yu. Korolev<sup>1</sup>, V.P. Elkin<sup>1</sup>, S.V. Ershov<sup>1</sup>, Yu.V. Vaskan<sup>2</sup>*

<sup>1</sup>Northern (Arctic) Federal University

<sup>2</sup>CNIIMOD

#### **Efficiency Increase of Mechanical Processing of Drying Timber**

The parameters of wood-cutting instrument for drying timber processing are justified by improvement of edge tool parameters and strengthening of its cutting edge resulting from thermal laser treatment.

Keywords: wood-cutting instrument parameters, drying timber, strengthening, laser thermal treatment.

УДК 674.047

**И.М. Меркушев**

Московский государственный университет леса

Меркушев Иван Михайлович родился в 1932 г., окончил в 1957 г. Московский лесотехнический институт, кандидат технических наук, профессор кафедры технологии мебели и изделий из древесины Московского государственного университета леса. Имеет свыше 100 печатных работ в области деревообработки и развития лесосушильной техники и технологии сушки древесных материалов.  
Тел.: 8(495) 512-75-92



## ДИНАМИКА БЕЗДЕФЕКТНОЙ СУШКИ ПИЛОМАТЕРИАЛОВ

Получены зависимости удельной тепловой мощности на испарение влаги от допустимого перепада влажности по толщине сортимента, а также формулы для расчета установленной мощности лесосушильных устройств, гарантирующей бездефектную сушку пиломатериалов.

*Ключевые слова:* метод расчета энергозатрат, бездефектная сушка, удельная мощность, дифференциальный метод, режимы энергодозирования.

### *Расчет удельных энергозатрат для бездефектной сушки пиломатериалов*

Эффективность безопасных режимов конвективной сушки пиломатериалов достигается стабильностью внутреннего их состояния в процессе сушки. Осуществляют это за счет ввода в сушильное устройство дозированного количества тепловой энергии, обеспечивающей при щадящей динамике процесса безопасную сушку. Проведение безопасной сушки с сохранением постоянства допустимого перепада влажности по толщине пиломатериалов ( $\Delta W_s = \text{const}$ ) заключается в том, чтобы обеспечить скорость снижения влажности поверхности сортимента, равную скорости снижения его среднеинтегральной влажности. Для этого используют универсальные режимы безопасной сушки в сушильных устройствах простейшей конструкции, в частности в тент-сушилках [1].

Важнейшую динамическую характеристику процесса безопасной сушки – удельную мощность на испарение влаги, содержащейся в  $1 \text{ м}^3$  древесины ( $N_{1\text{м}^3}$ , кВт/м<sup>3</sup>), можно выразить

как произведение скорости перемещения влаги в древесине по закону влагопроводности

$$i = F \rho_0 a' du/dx$$

на скрытую теплоту парообразования  $r$ , отнесенное к объему высушиваемой древесины  $FS/2$ :

$$N_{1\text{м}^3} = 2 \rho_0 a' du/dx r S^{-1}, \quad (1)$$

где  $F$  – площадь поверхности испарения в  $1 \text{ м}^3$  древесины, м<sup>2</sup>;

$\rho_0$  – плотность древесины в абсолютно сухом состоянии, кг/м<sup>3</sup>,  
 $\rho_0 \approx 1,2 \rho_6$ ;

$\rho_6$  – базисная плотность древесины, кг/м<sup>3</sup>;

$a'$  – средний коэффициент влагопроводности древесины, определяемый в см<sup>2</sup>/с по П.С. Сергеевскому [2] или в м<sup>2</sup>/с по формуле автора с поправкой на преимущественно радиальный ток влаги,

$$a' = 0,01 t^2 / \rho_6^4;$$

$t$  – температура сушки, °С;

$du/dx$  – средний градиент влагосодержания древесины, м<sup>-1</sup>, равный отношению допустимого его перепада по толщине сортимента  $0,01 \Delta W_s$  к половине его толщины  $S/2$ , м,

$$du/dx = 0,02 \Delta W_s / S;$$

$S$  – расчетная толщина сортимен-  
та при его фактической тол-  
щине  $a$  и ширине  $b$ ,

$$S = ab / (a+b);$$

$r$  – скрытая теплота парообра-  
зования,

$$r = 2490 \text{ кДж/кг.}$$

После подстановок в (1) полу-  
чим формулу для оценки удельной

мощности на испарение влаги из  $1 \text{ м}^3$   
древесины:

$$N_{\text{лм}^3} = 2,39 \Delta W_s t^2 S^{-2} \rho_6^{-3}. \quad (2)$$

Рассчитанные по этой формуле  
ориентировочные значения допусти-  
мой удельной мощности на испарение  
влаги, гарантирующей при заданных  
параметрах  $\Delta W_s$ ,  $t$ ,  $S$  и  $r_6$  бездефектную  
сушку пиломатериалов, приведены в  
табл. 1.

Таблица 1

**Ориентировочные значения удельной допустимой мощности на испарение влаги,  
гарантирующей допустимый перепад влажности по толщине пиломатериалов при сушке**

Показатель			Ель, кедр	Сосна	Береза	Клен	Бук, ясень, дуб, лиственница
Перепад влажности $\Delta W_s$ , %			33,8	36,0	36,0	40,7	33,0
Базисная плотность $\rho_6$ , кг/м <sup>3</sup>			355	400	500	550	540
Толщина $S$ , мм, при температуре $t$ , °С			Ориентировочные значения удельной допустимой мощности на испарение влаги				
45	64	90	$N_{\text{лм}^3}$ , кВт/м <sup>3</sup>				
–	–	22,5	28,90	21,50	11,00	9,35	8,00
–	22,5	32,0	14,40	10,80	5,51	4,68	3,96
22,5	32,0	45,0	7,22	5,38	2,75	2,34	2,00
32,0	45,0	64,0	3,61	2,69	1,37	1,17	1,00
45,0	64,0	90,0	1,81	1,34	0,69	0,58	0,50
64,0	90,0	–	0,90	0,67	0,34	0,29	0,25
90,0	–	–	0,45	0,34	0,17	0,15	0,13

*Расчет энергозатрат  
для бездефектной сушки пиломате-  
риалов по ее максимальной скорости*

Полученные нами нормы дози-  
рования энергии на обеспечение без-  
дефектной сушки пиломатериалов  
проверены по более точной альтерна-

$$W(\tau) = 2,5 + (W_n - 2,5)^{2-3} \frac{t^2 (S^2 t^{-2} \rho_6^4 284^{-4} \Delta W_s^{-1})^{-2} (100 + 3v^{-1})^{-2}}{.} \quad (3)$$

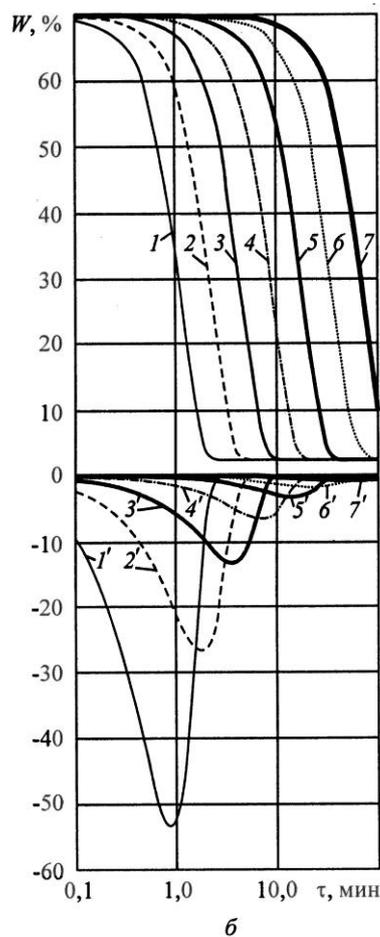
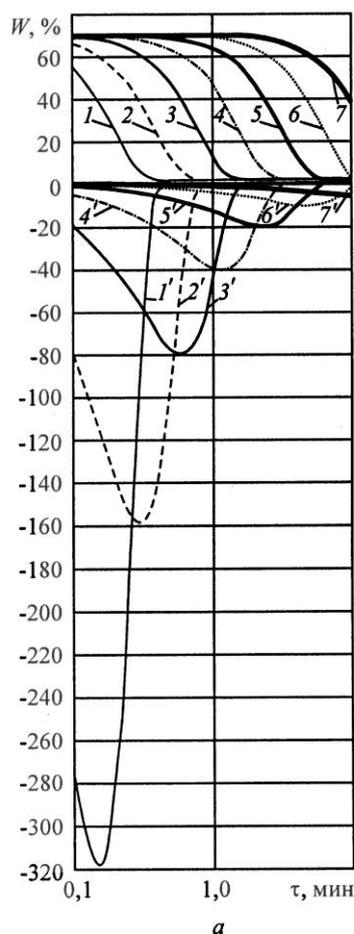
При заданных конкретных зна-  
чениях параметров, входящих в фор-  
мулу (3) и соответствующих сушке  
кедровых, еловых (см. рисунок, *a*) и  
дубовых, ясеневых (*б*) пиломатериалов  
толщиной  $S = 22,5; 32,0; 45,0; 64,0$  и  
 $90,0$ , а также  $16,0$  и  $128,0$  мм при зна-  
чениях базисной плотности  $\rho_6$  и гаран-  
тированных перепадах влажности по  
толщине сортимен-та  $\Delta W_s$ , указанных в

табл. 2, в пределах снижающейся их  
универсальным режимам сушки.

Ранее нами выведена функцио-  
нальная зависимость снижения теку-  
щей влажности пиломатериалов от  
продолжительности процесса:

табл. 2, в пределах снижающейся их  
влажности  $W_n - W_k = 70,0 - 2,5$  %  
на трех уровнях температуры  $t = 45, 64$   
и  $90$  °С при скорости циркуляции  
 $v = 0,3$  и  $2,4$  м/с с использованием  
формулы (3) построены кривые сушки  
пиломатериалов по универсальным  
режимам (1–7) (см. рисунок).

Путем их дифференцирования  
по формуле



Пример дифференцирования кривых сушки (температура 64 °С) кедровых, еловых (а) и дубовых, ясеневых (б) пиломатериалов к расчету максимальной скорости сушки  $dW/d\tau_x$  ( $W_H = 70$  %;  $\Delta W_s = 36$  %;  $\rho_6 = 355$  кг/м<sup>3</sup> – ель, кедр;  $\rho_6 = 540$  кг/м<sup>3</sup> – дуб, ясень; скорость циркуляции  $v = 0,6$  м/с): 1, 1' –  $S = 16,0$  мм; 2, 2' – 22,5; 3, 3' – 32,0; 4, 4' – 45,0; 5, 5' – 64,0; 6, 6' – 90,0; 7, 7' – 128,0 мм

$$\frac{d}{d\tau} W(\tau) = \frac{d}{d\tau} \left[ 2,5 + (W_H - 2,5)^{2-3} \tau^2 \left[ S^2 \tau^{-2} 284^{-4} \rho_6^4 \Delta W_s^{-1} (100+3v^{-1}) \right]^{-2} \right]. \quad (4)$$

рассчитаны и построены производные кривых сушки (1' – 7').

Допустимые значения скорости снижения количества испаряемой из 1 м<sup>3</sup> древесины влаги  $du/d\tau$  установлены по максимальной скорости сушки пиломатериалов, соответствующей экстремальным значениям дифференциалов  $dW/d\tau_{\max}$  и пересчитанной по формуле  $du/d\tau_{\max} = W(\tau) / d\tau \rho_6 / (100 \cdot 24 \cdot 3600) = 115,7 \cdot 10^{-9} \rho_6 dW(\tau) / d\tau$ . (5)

В табл. 2 приведены значения максимальной допустимой удельной мощности  $N_{1\text{м}^3}$ , рассчитанные по формуле:

$$N_{1\text{м}^3} = rdu/d\tau = 0,0002882 \rho_6 dW/d\tau. \quad (6)$$

Как видно из табл. 2, соотношению  $S/t$ , например, равному 0,5, соответствуют значения всех трех уровней температуры: 45, 64 и 90 °С. Подобранная таким образом кратность градации значений толщины и температуры позволила существенно упростить и упорядочить таблицы.

Для расчета установленной мощности лесосушильных устройств достаточно величину допускаемой удельной мощности, полученную по

Таблица 2

**Удельная допустимая мощность на испарение влаги,  
обеспечивающая щадящую (бездефектную) сушку пиломатериалов  
разных типоразмеров на разных режимных уровнях**

Показатель			Кедр, ель	Сосна	Береза	Клен	Бук, ясень, дуб, лиственница
Перепад влажности $\Delta W_s$ , %			33,8	36,0	36,0	40,7	33,0
Базисная плотность $\rho_b$ , кг/м <sup>3</sup>			355	400	500	550	540
Толщина $S$ , мм, при температуре $t$ , °С			Удельная допустимая мощность на испарение влаги $N_{\text{лм}^3}$ , кВт/м <sup>3</sup>				
45	64	90					
–	(16,0)	22,5	27,20/28,70	20,50/22,40	10,70/11,50	9,19/10,10	7,77/8,47
–	22,5	32,0	13,90/15,10	10,60/11,30	5,33/5,76	4,60/5,07	3,89/4,20
22,5	32,0	45,0	7,06/7,62	5,30/5,65	2,67/2,88	2,30/2,54	1,95/2,10
32,0	45,0	64,0	3,48/3,79	2,65/2,82	1,34/1,44	1,15/1,27	0,97/1,05
45,0	64,0	90,0	1,74/1,94	1,27/1,38	0,67/0,72	0,58/0,63	0,49/0,52
64,0	90,0	–	0,97/1,02	0,63/0,69	0,34/0,36	0,29/0,32	0,25/0,26
90,0	(128,0)	–	0,44/0,51	0,32/0,35	0,17/0,18	0,14/0,16	0,12/0,13

Примечание. В числителе приведены данные для скорости циркуляции сушильного агента 0,3 м/с, в знаменателе – 2,4 м/с.

формуле (6) или взятую из табл. 2, умножить на вместимость сушильной камеры  $E$  и добавить мощность на потери через ограждения  $N_{\text{огр}}$ :

$$N = N_{\text{лм}^3} E + N_{\text{огр}} \quad (7)$$

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Пат. 2170896 РФ. Способ сушки пиломатериалов / Меркушев И.М. – Заявл. 29.12.1999.

2. Серговский П.С. Исследование теплопроводности и разработка методов расчета процесса сушки и увлажнения древесины. Дис. ... д-ра техн. наук. М.: 1954. 213 с.

*I.M. Merkushev*

Moscow State Forest University

#### Dynamics of Faultless Drying of Sawn Timber

The dependencies of specific thermal capacity for moisture evaporation on allowable humidity drop along the board thickness are received, as well as formulae for calculation of installed capacity of forest-drying devices guaranteeing faultless drying of sawn timber.

Keywords: power inputs calculation method, faultless drying, specific capacity, differential method, power-dosing modes.

Поступила 25.06.09

УДК 621.311

**Агеев С.П.**

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.: 8 (8184) 20-03-57



## ЭНЕРГЕТИЧЕСКИЕ РЕЖИМЫ РАБОТЫ ЛЕСОПИЛЬНЫХ РАМ

Проанализированы режимы электропотребления вертикальных лесопильных рам в зависимости от их загрузки и графика работы.

*Ключевые слова:* потребляемая мощность, электроэнергия, удельный расход электроэнергии, среднечасовая производительность.

Одним из наиболее энергоемких деревообрабатывающих производств является лесопильное. При этом лесопильная рама (ЛР) со сравнительно небольшой околостаночной механизацией составляет отдельный участок и, как наиболее мощный электроприемник, в значительной степени определяет его характер электропотребления.

Для нахождения энергетически целесообразных режимов работы ЛР, при которых обеспечивается наименьшее значение среднего удельного расхода энергии, рассмотрим ее работу на различных интервалах рабочего времени.

### Эффективное время цикла

Ранее [1] было показано, что если рассматривать бревно как усеченный конус, то текущую производительность ЛР ( $A$ , м<sup>3</sup>/ч) за эффективное время можно определить из выражения

$$A(t) = 900\pi \left( \frac{d_b^2}{4} u + 2d_b u^2 ct + c^2 u^3 t^2 \right)$$

где  $d_b$  – вершинный диаметр бревна, м;  
 $u$  – скорость подачи бревна, м/с;  
 $c$  – сбег бревна, м/м.

График изменения текущей производительности  $A(t)$  показан на рис. 1.

Учитывая переменный характер нагрузки в течение рабочего цикла, производительность ЛР можно опре-

делить как среднюю ( $A_3$ , м<sup>3</sup>/ч) за эффективное время:

$$A_3 = \frac{3600}{t_3} \int_0^{t_3} A(t) dt = \frac{3600V}{t_3}, \quad (1)$$

где  $t_3$  – эффективное время, с;

$V$  – объем распиленного бревна за время  $t_3$ , м<sup>3</sup>.

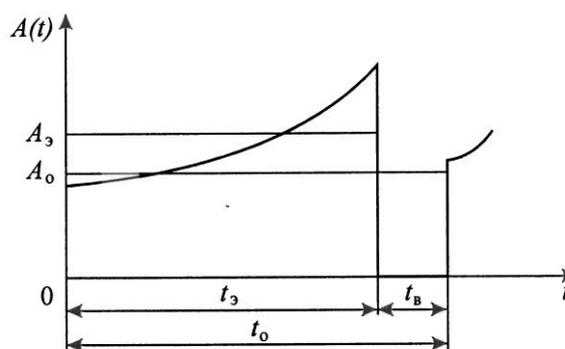


Рис. 1. График текущей производительности лесопильной рамы

При оптимальных технологических параметрах работы и наилучшей загрузке (наибольший объем бревен  $V_{\max}$ ) среднечасовая производительность ЛР, отнесенная к эффективному времени, достигает максимального значения  $A_{3,\max}$ .

Величина, характеризующая загрузку ЛР в течение времени  $t_3$ ,

$$k_T = \frac{A_3}{A_{3,\max}} = \frac{V}{V_{\max}}, \quad (2)$$

называется технологическим коэффициентом загрузки.

В [3] было получено уравнение энергетической характеристики электропривода механизма резания ЛР:

$$P(t) = c_d \sqrt{A(t)} + P_{\text{д.пост}}, \quad (3)$$

где  $P(t)$  – мощность, потребляемая из сети, кВт;

$c_d$  – постоянный (при определенных условиях) коэффициент, характеризующий энергоемкость ЛР, кДж/(м<sup>1,5</sup>·с<sup>0,5</sup>);

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

Коэффициент  $c_d$  определяется по выражению

$$c_d = (1 + b_d)(1 + b_{\text{м.п}}) 2K_T B_{\text{пр}} Z_{\text{п}} \frac{a_{\text{п}} a_{\rho} a_1 \sqrt{u}}{\sqrt{\pi}},$$

$$P_3 = \frac{1}{t_3} \int_0^{t_3} P(t) dt = c_d \sqrt{A_3} + P_{\text{д.пост}} = c_d \sqrt{k_T A_{3,\text{max}}} + P_{\text{д.пост}}. \quad (4)$$

Разделив обе части (4) на среднюю часовую производительность  $A_3$ ,

$$d_3 = \frac{P_3}{A_3} = \frac{c_d}{\sqrt{A_3}} + \frac{P_{\text{д.пост}}}{A_3} = \frac{c_d}{\sqrt{k_T A_{3,\text{max}}}} + \frac{P_{\text{д.пост}}}{k_T A_{3,\text{max}}}. \quad (5)$$

Из (5) следует, что энергетически целесообразный режим работы ЛР в течение эффективного времени цикла возможен при максимальном значении коэффициента  $k_T$ , что обеспечивается надлежащей сортировкой бревен.

#### Операционное время цикла

Для ЛР, как станков периодического действия, часовая производительность ( $A_0$ , м<sup>3</sup>/ч), отнесенная к операционному времени  $t_0$ , за время одного полного цикла

$$A_0 = \frac{3600 V}{t_3 + t_b} = \frac{3600 V}{t_0}, \quad (6)$$

где  $b_d, b_{\text{м.п}}$  – коэффициенты переменных потерь энергии соответственно в двигателе механизма резания и клиноремленной передаче;

$K_T$  – удельная работа рамного пиления при нормированных условиях резания, кДж/м<sup>3</sup>;

$B_{\text{пр}}$  – ширина пропила, м;

$Z_{\text{п}}$  – количество пил в поставе;

$a_{\text{п}}, a_{\rho}, a_1$  – поправочные коэффициенты, учитывающие соответственно плотность древесины, степень затупления резцов, вид постава;

$u$  – скорость подачи бревна, м/с.

Среднее значение потребляемой мощности ( $P_3$ , кВт) за время  $t_3$

получим уравнение для определения среднего удельного расхода:

где  $t_b$  – вспомогательное время, обусловленное межторцевыми разрывами между бревнами (цикловые потери), с.

Выразив из (1) объем  $V$  бревна и подставив его в (6), получим

$$A_0 = \frac{t_3}{t_0} A_3 = k_0 A_3,$$

где  $k_0 = \frac{t_3}{t_0}$  – коэффициент использования ЛР в операционное время.

Из (2) следует, что  $A_3 = k_T A_{3,\text{max}}$ , тогда  $A_0 = k_0 k_T A_{3,\text{max}}$ .

Средняя потребляемая мощность  $P_0 = c_d \sqrt{A_0} + P_{\text{д.пост}} = c_d \sqrt{k_0 k_T A_{3,\text{max}}} + P_{\text{д.пост}}. \quad (7)$

Рассмотрим случай, когда при постоянных режимных параметрах работы ЛР переменной величиной является  $t_B$ . Тогда в (6) переменными становятся  $A_0$  или  $k_0$ . Уравнению (7) соответствуют энергетические характеристики, приведенные на рис. 2.

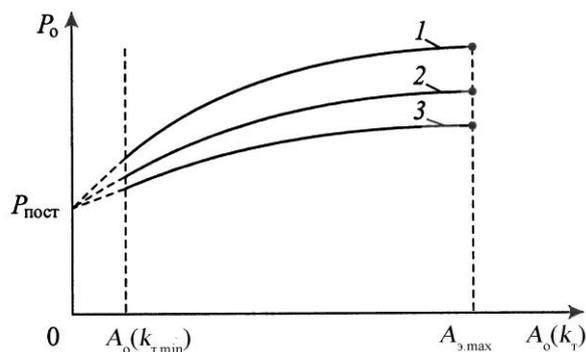


Рис. 2. Энергетические характеристики средней потребляемой мощности ЛР: 1 –  $k_0 = 1,0$ ; 2 –  $0,9$ ; 3 –  $0,8$

Уравнение среднего удельного расхода  $d_0$  за операционное время

$$d_0 = \frac{P_0}{A_0} = \frac{c_d}{\sqrt{A_0}} + \frac{P_{д.пост}}{A_0} = \frac{c_d}{\sqrt{k_0 k_T A_{э, max}}} + \frac{P_{д.пост}}{k_0 k_T A_{э, max}} \quad (8)$$

Из (8) следует, что увеличение производительности  $A_0$  в результате изменения коэффициентов  $k_T = f(V)$  и  $k_0 = f(t_B)$  одинаково влияет на снижение удельного расхода энергии (рис. 3).

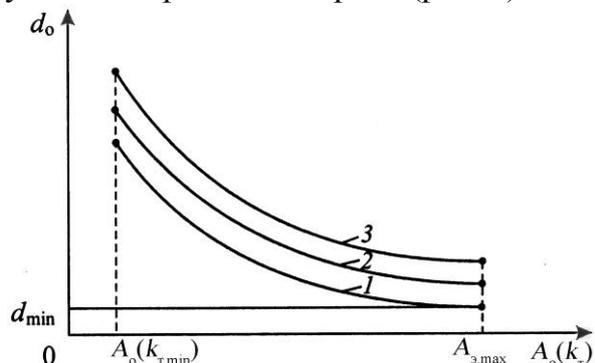


Рис. 3. Энергетические характеристики среднего удельного расхода электроэнергии ЛР за время  $t_0$  (см. обозначения на рис. 2)

*Календарное время*

Среднечасовая производительность  $A_0$  только тогда может служить

показателем производительности ЛР за календарное время  $T_k$  (рабочая смена), если в течение смены отсутствуют внеоперационные простои (внецикловые потери). На самом же деле в течение смены ЛР не только выпускают продукцию, но и периодически простаивают [4].

В этом случае среднесменная часовая производительность ЛР

$$A_k = \frac{Z}{T_k} = \frac{Z}{T_0 + T_H},$$

где  $Z$  – объем распиленного за смену сырья,  $m^3$ ;

$T_H$  – внеоперационное время, характеризующее перерывы, выходящие за пределы операционного времени  $T_0$ , но находящиеся в пределах рабочей смены; при этом ЛР останавливаются.

Так как  $T_k = T_0 / K_H$  [2], то

$$A_k = \frac{Z}{T_0} K_H = A_0 K_H = K_0 K_T K_H A_{э, max},$$

где  $T_0$  – суммарное операционное время, ч;

$K_H = T_0 / T_k$  – коэффициент использования ЛР за календарное время;

$K_0 = T_3 / T_0$  – коэффициент использования ЛР за операционное время в течение смены;

$T_3$  – суммарное эффективное время, ч;

$K_T = Z / Z_{max}$  – среднее значение коэффициента загрузки ЛР за эффективное время  $T_3$  в течение смены;

$Z_{max}$  – максимальный объем распиленного за смену сырья, возможный при отсутствии каких-либо потерь в работе ЛР,  $m^3$ .

Выбор энергетически целесообразного режима работы оборудования во многом зависит от формы энергетической характеристики их потребляемой мощности. Выбор режима использова-

$$W_k = W_o = W_э + W_в = P_э T_э + T_в P_{д.пост} = (c_d \sqrt{A_э} + P_{д.пост}) T_э + P_{д.пост} T_в = c_d \sqrt{A_э} T_э + P_{д.пост} T_o = c_d \sqrt{K_T A_{э, \max}} T_э + P_{д.пост} T_o, \quad (9)$$

где  $T_в$  – суммарное вспомогательное время, ч.

$$P_k = \frac{W_k}{T_k} = K_n P_{д.пост} + K_o K_n c_d \sqrt{K_T A_{э, \max}} = K_n P_{д.пост} + c_d \sqrt{K_o K_n A_k} \quad (10)$$

и удельного расхода энергии

$$d_k = \frac{c_d}{\sqrt{K_T A_{э, \max}}} + \frac{P_{д.пост}}{K_o K_n A_{э, \max}}. \quad (11)$$

Изменяя в (10) и (11) значения коэффициентов  $K_o$ ,  $K_n$ ,  $K_T$ , анализируем различные режимы нагрузки ЛР в течение рабочей смены.

*Режим 1.*  $K_o = K_T = 1,0$ ;  $K_n = 0,9$ ;  $A_k = A_{к, \max} = 0,9 A_{э, \max}$ .

В этом режиме ЛР работает непрерывно в течение всего отведенного времени ( $K_n = 0,9$ ) с максимальной часовой производительностью  $A_{к, \max}$ , не допуская межторцовых разрывов ( $K_o = 1,0$ ). Среднесменная потребляемая мощность в этом случае достигает максимального значения

$$P_k = c_d \sqrt{A_{э, \max}} + P_{д.пост} = P_{к, \max},$$

а средний удельный расход энергии – минимального:

$$d_k = \frac{P_k}{A_k} = \frac{P_{к, \max}}{A_{э, \max}} = \frac{c_d}{\sqrt{A_{э, \max}}} + \frac{P_{д.пост}}{A_{э, \max}} = d_{к, \min}.$$

Этому режиму на рис. 4 и 5 соответствует т. 1.

*Режим 2.*  $K_o = 1,0$ ;  $K_n = 0,9$ ;  $K_T < 1,0$ ;  $A_k = 0,9 K_T A_{э, \max}$ .

ЛР работает непрерывно в течение всего отведенного времени со средней производительностью  $A_k < A_{к, \max}$  без межторцовых разрывов. Средняя потребляемая мощность

$$P_k = 0,9 c_d \sqrt{K_T A_{э, \max}} + 0,9 P_{д.пост}.$$

ЛР за календарное время  $T_k$  практически относится к рабочей смене.

Потребление электроэнергии за время  $T_k$  выражается уравнением

Средние значения потребляемой мощности

Этому режиму отвечает линия 2 на рис. 4 и 5. При любых условиях этот режим является наименее выгодным, так как ему при любой заданной среднесменной производительности  $A_k < A_{к, \max}$  соответствует наибольшее значение потребляемой мощности  $P_k$ .

Среднее значение удельного расхода энергии

$$d_k = \frac{P_k}{A_k} = \frac{c_d}{\sqrt{K_T A_{э, \max}}} + \frac{P_{д.пост}}{K_T A_{э, \max}}.$$

*Режим 3.*  $K_n = 0,9$ ;  $K_T = 1,0$ ;  $K_o < 1,0$ ;  $A_k = 0,9 K_o A_{э, \max}$ .



Рис. 4. Энергетические диаграммы средней потребляемой мощности ЛР за время  $T_k$ : 1 – режим 1; 2 – 2; 3 – 3; 4 – 4

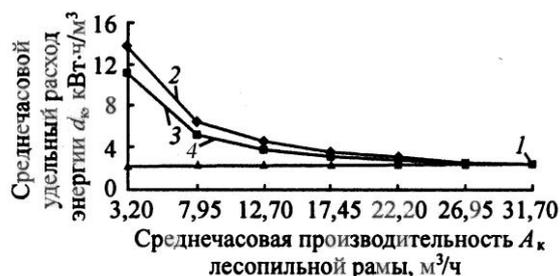


Рис. 5. Энергетические диаграммы среднего удельного расхода ЛР за время  $T_k$  (см. обозначения на рис. 4)

ЛР работает непрерывно в течение всего отведенного времени с полной загрузкой, допуская межторцовые разрывы. Средняя потребляемая мощность

$$P_k = K_o c_d \sqrt{A_{э.маx}} + P_{д.пост.}$$

Этому режиму соответствует линия 3 на рис. 4 и 5. В условиях непрерывной работы при заданной производительности  $A_k < A_{к.маx}$  этот режим энергетически выгоднее режима с постоянной нагрузкой при той же часовой производительности, так как ему соответствует наименьшая средняя мощность  $P_k$ , достижимая в условиях непрерывной работы.

Среднее значение удельного расхода энергии

$$d_k = \frac{P_k}{A_k} = \frac{c_d}{\sqrt{A_{э.маx}}} + \frac{P_{д.пост.}}{K_o A_{э.маx}}$$

Режим 4.  $K_T = K_o = 1,0$ ;  $K_H < 0,9$ ;  $A_k = K_H A_{э.маx}$ .

ЛР работает со среднесменной производительностью  $A_k < A_{к.маx}$  при полной нагрузке без межторцовых разрывов, когда имеет место полный останов ЛР по незапланированным причинам.

Средняя потребляемая мощность

$$P_k = K_H \left( c_d \sqrt{A_{э.маx}} + P_{д.пост.} \right)$$

Этому режиму соответствует линия 4 на рис. 4. При любой заданной среднесменной производительности  $A_k < A_{к.маx}$  этот режим экономически наиболее выгоден, так как ему соответствует наименьшая средняя потребляемая мощность.

Среднее значение удельного расхода энергии

$$d_k = \frac{P_k}{A_k} = \frac{c_d}{\sqrt{A_{э.маx}}} + \frac{P_{д.пост.}}{A_{э.маx}}$$

На диаграмме удельного расхода энергии (рис. 5) рассматриваемому режиму соответствует линия 4 ( $d_k = d_{к.мин}$ ).

## Выводы

В результате анализа режимов энергопотребления головного лесопильного оборудования на различных интервалах рабочего времени установлено, что непрерывная работа ( $K_H = 0,9$ ) в постоянном режиме энергетически эффективна при условии, когда производственная программа обеспечивает загрузку оборудования по наибольшей производительности ( $K_T = 1,0$ ). При плановых остановках ( $K_H < 0,9$ ) и неритмичной загрузке ( $K_T < 1,0$ ) энергетически эффективен дискретный режим энергопотребления. Влияние межторцовых разрывов ( $K_o < 1,0$ ) и плановых остановок на энергоэффективность процесса незначительно (0,1...0,6 %).

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Агеев С.П. Показатели энергоиспользования лесопильных рам // Лесн. журн. 2009. № 3. С. 134–138. (Изв. высш. учеб. заведений).
2. Агеев С.П. Энергетические режимы работы окорочных станков // Лесн. журн. 2007. № 4. С. 104–111. (Изв. высш. учеб. заведений).
3. Агеев С.П. Энергетическая характеристика электропривода механизма резания лесопильной рамы // Лесн. журн. 2009. № 2. С. 96–101. (Изв. высш. учеб. заведений).
4. Калитеевский Р.Е. Автоматизация производственных процессов в лесопилении. М.: Лесн. пром-сть, 1979. 336 с.

Поступила 23.12.10

S.P. Ageev

“Sevmashvtuz” Branch of Saint-Petersburg State Marine Technical University

## Energy Operation Conditions of Frame Sawmills

The power consumption modes of vertical frame sawmills are analyzed depending on their workload and operating schedule.

Keywords: consumed power, electric power, specific power consumption, average hourly productivity.

УДК 626: 621.6

**В.Д. Давыдов**

Кубанский государственный аграрный университет

Давыдов Виктор Дмитриевич родился в 1944 г., окончил в 1974 г. Ленинградскую лесотехническую академию, кандидат технических наук.  
E-mail: dvd194@mail.ru



## ИНТЕНСИФИКАЦИЯ СУШКИ ВОЛОКНИСТЫХ МАТЕРИАЛОВ

Предложено для сушки волокнистых материалов использовать эффект термической генерации звука Рийке, способствующий интенсивному удалению жидкости из клеток; проведены исследования по сушке материалов в магнитном поле постоянного магнита.

*Ключевые слова:* звук, генерация, автогенератор, сушилка, материал, резонанс, колебания.

В различных отраслях народного хозяйства страны используются разнообразные волокнистые материалы, в том числе лесоматериалы разных пород и сортаментов. Для практического использования к волокнистым материалам предъявляют, согласно действующим стандартам, определенные требования в отношении их влажности. Так как большинство волокнистых материалов в естественном состоянии не отвечает этим требованиям, то их подвергают сушке.

Выбор способа сушки и сушильного оборудования является многофакторной задачей, решение которой наталкивается на ряд ограничений, связанных с недостатками способов сушки и конструкций сушилок.

Цель наших исследований – разработка новых способов сушки и конструкций сушилок. Особое внимание уделяется эффекту термической генерации звука Рийке. Качественная теория этого явления была предложена Рэлеем [3], который показал, что прибор Рийке, на котором был получен этот эффект, фактически является тепловым (термическим) автогенератором. Следует отметить, что строгой теории, объясняющей этот эффект, до настоящего времени не существовало.

Проведенные нами теоретические и экспериментальные исследования позволили разработать конструкцию сушилки (см. рисунок) [1], предназначенной для сушки и экстрагирования волокнистых материалов, которая является термическим автогенератором звуковых колебаний.

Сушилка состоит из вертикального цилиндрического корпуса 20, поворотных осей 10, станины 15, нагревателя 14, крепежного винта 2, держателя 3, металлической планки 1, фиксаторов 17, прижимных элементов 8, упоров 7, шаровых опор 6, направляющих 18, рычагов 5 управления фиксаторами 17, сборника конденсата 16, трубопровода 11 с емкостью 12, воздушного отверстия с пробкой 19, вентилятора 13, высушиваемого волокнистого материала 4.

Процесс на сушилке указанной конструкции осуществляется следующим образом. Вертикальный корпус располагают горизонтально и помещают в него высушиваемый волокнистый материал. Материал крепят с помощью винта и держателя, при этом нижний конец волокнистого материала упирается в сборник конденсата. После включения вентилятора и нагревателя в вертикально расположенный

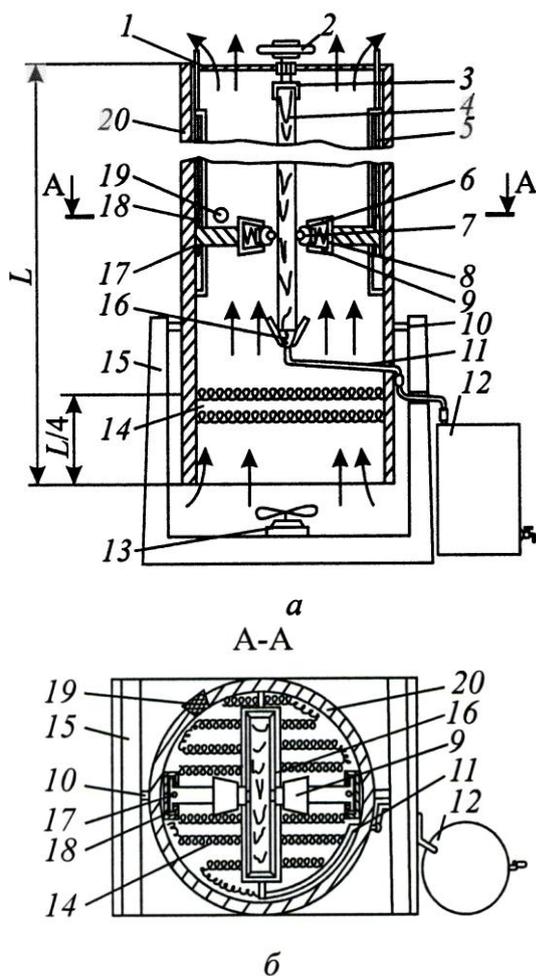


Схема сушилки: *a* – общий вид; *б* – разрез А–А

корпус подают нагретый воздух. При прохождении этого теплоносителя между стенками корпуса и волокнистым материалом возникает явление резонанса, так как при этом достигается равенство частот нагретого воздушного потока  $f_{\text{п}}$  и колебаний волокнистого материала  $f_{\text{м}}$ , т. е.  $f_{\text{п}} = f_{\text{м}}$ , или

$$\frac{k_1 V}{l_1} = k_2 \frac{h}{d^2} \sqrt{\frac{E}{\rho}}, \quad (1)$$

где  $k_1$  – коэффициент пропорциональности;

$V$  – скорость воздушного потока, которая изменяется по длине корпуса,  $L$ ;

$l_1$  – расстояние между вентилятором и волокнистым материалом;

$k_2$  – коэффициент, зависящий от места крепления высушиваемого материала;

$h$  – ширина высушиваемого материала;

$d$  – длина высушиваемого материала;

$E$  – модуль упругости высушиваемого материала;

$\rho$  – плотность волокнистого материала.

Ввод высушиваемого материала в резонанс с обтекающим его потоком можно осуществить с помощью ручного или автоматического регулирования температуры нагревателя или места крепления высушиваемого материала и фиксаторов, а также путем установки вентилятора с регулируемой частотой вращения.

Явление теплового резонанса исчезнет, если корпус сушилки перевести в горизонтальное положение или открыть специальное отверстие в корпусе. Поэтому для предотвращения аварийных ситуаций в корпусе сушилки предусмотрено воздушное отверстие с пробкой. При удалении пробки из воздушного отверстия автоколебания теплоносителя затухают и эффект термического звукового резонанса исчезает, т.е. нарушается действие основного собственного колебания столба воздуха в трубе, открытой с обоих концов, и определяемого из следующего соотношения:

$$f_{\text{п}} = c/\lambda = c/2L, \quad (2)$$

где  $c$  – скорость звука в воздухе;

$\lambda$  – длина звуковой волны;

$L$  – длина трубы.

Для оптимальной работы автоколебательной системы Рийке в сушилке необходимо, чтобы нагреватель был расположен на расстоянии  $1/4$  длины трубы от ее нижнего конца, так как именно в этом случае происходят одновременно максимальные изменения давления и смещения колеблющегося в трубе (корпусе) воздуха.

При проведении экспериментов корпус сушилки был выполнен из асбоцементной трубы длиной 1200 мм, нагреватель представлял собой два ряда спиралей (см. рисунок) из нихромового провода, подключенного к электросети. В качестве высушиваемого волокнистого материала использовали пиломатериалы разных пород и сортов.

В ходе исследований было установлено следующее:

колебания, сообщаемые растительным клеткам, вызывают в них попеременно циклы растяжения и сжатия, что, в свою очередь, ведет к интенсивному удалению жидкости из их полостей, т.е. экстрагированию;

введение клеток волокнистых материалов в резонанс вызывает в них гипервыделение жидкости.

Таким образом нами был получен эффект гипервыделяемости жидкости из растительных клеток под воздействием резонанса, вызываемого тепловой генерацией звукового давления.

Автором также была разработана еще одна конструкция сушилки, работающей на второй гармонике автоколебательной системы [2] и отличающейся большей производительностью по сравнению с первой.

К достоинствам этих сушилок следует отнести высокую интенсивность процесса сушки пиломатериалов, так как время сушки не превышает 30 мин; качество сушки близко к естественной (атмосферной) сушке (в высушенных пиломатериалах отсутствуют трещины, коробления, а также процессы гниения); малые габариты, мобильность, легкий монтаж и демонтаж; возможность установки нескольких сушилок в виде батарей на общем основании; небольшие энергозатраты за счет использования эффекта гипервыделяемости жидкости.

В следующих экспериментах было изучено влияние магнитного поля, создаваемого постоянным магнитом, на процесс естественной (атмосферной) сушки лесоматериалов в виде бревен в окоренном и неокоренном состояниях. Воздействию магнитным полем подвергали модели бревен (масштаб моделирования 1:20). Для удобства статистической обработки число бревен в каждой партии (контрольной и исследуемой) по каждой из пород составляло 100 шт. Размеры бревен: длина 5,0; 5,5 и 6,0 м; диаметр в верхнем отрубе от 20 до 40 см (в пересчете от модели к натуре). Модели бревен взвешивали на электронных весах через каждые 6 ч. Затем данные исследований статистически обрабатывали. Отдельные партии бревен подвергали естественной (атмосферной) сушке с магнитной обработкой в течение 30, 45, 60 и 90 сут.

Результаты исследований показали следующее.

1. Интенсивность сушки моделей резко снижается после 30 сут. Сушка в течение 60 и 90 сут не дает практически значимых положительных результатов.

2. Сушка моделей в магнитном поле, создаваемом постоянным магнитом, не приносит позитивных, т. е. ожидаемых результатов, так как процесс сушки замедляется, для разных пород и сортов составляя от 10 до 20 % по сравнению с контрольными партиями бревен.

3. Замедление процесса сушки в магнитном поле может служить положительным фактором при подготовке заготовок для производства некоторых музыкальных инструментов, а также других изделий, где по технологии их производства требуется длительная сушка.

Из изложенного выше следует:

сушка волокнистых материалов (прежде всего пиломатериалов) в предлагаемых конструкциях сушилок происходит в большей степени за счет использования эффекта гипервыделяемости жидкости из растительных клеток под воздействием резонанса, вызываемого термической генерацией звукового давления, в меньшей степени – за счет сушильного агента;

межмолекулярные связи жидкости и волокнистого материала, помещенных в магнитное поле, создаваемое постоянным магнитом, возрастают, а процесс экстрагирования жидкости из высушиваемого волокнистого материала замедляется;

лесоматериалы, прошедшие магнитную обработку, менее подвержены процессам гниения.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. А.с. № 1575033, СССР, МКИ F26 В 9/06. Сушилка / В.Д. Давыдов [и др.] // Б.И. 1990. № 24. 4 с.
2. Давыдов В.Д. Проблемы проектирования, строительства и эксплуатации руслостеснительных сооружений и трубопроводов. Краснодар: Куб ГАУ, 2008. 372 с.
3. Стретт Дж. У. (лорд Рэлей). Теория звука. М.: Гостехиздат, 1955. 980 с.

Поступила 15.12.09

*V.D. Davydov*

Kuban State Agricultural University

#### **Intensification of Fibrous Materials Drying**

It is offered to use Rijke effect of thermal sound generation for fibrous materials drying that promotes intensive removal of liquid from cells; investigations on drying materials in the magnetic field created by permanent magnet are carried out.

Keywords: sound, generation, self-excited oscillator drying chamber, material, resonance, oscillations.



## ХИМИЧЕСКАЯ ПЕРЕРАБОТКА ДРЕВЕСИНЫ

УДК 676.017

*А.С. Смолин, Я.С. Мурашов*

С.-Петербургский государственный технологический университет растительных полимеров

Смолин Александр Семенович окончил в 1962 г. Ленинградскую лесотехническую академию, доктор технических наук, профессор, заведующий кафедрой технологии бумаги и картона С.-Петербургского государственного технологического университета растительных полимеров. Имеет более 130 научных трудов в области изучения процессов бумажно-картонного производства, химии бумаги, использования вторичного волокна.  
E-mail: smolin@gturp.spb.ru



Мурашов Ярослав Сергеевич родился в 1984 г., окончил С.-Петербургский государственный технологический университет растительных полимеров, магистр Технологического университета г. Лаппеенранта (Финляндия), аспирант СПбГТУ РП.  
E-mail: jaros25@yandex.ru



### **ВЛИЯНИЕ ФИЗИКО-МЕХАНИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК МАТЕРИАЛА НА ПОКАЗАТЕЛЬ СОПРОТИВЛЕНИЯ СЖАТИЮ НА КОРОТКОМ РАССТОЯНИИ**

Исследована эффективность использования метода сжатия на коротком расстоянии для контроля прочностных характеристик картона-лайнера и флютинга по сравнению с другими существующими методами; выявлены основные закономерности, справедливые для этого метода.

Ключевые слова: прочностные характеристики, метод сжатия на коротком расстоянии, SCT, гофрированный картон, картон-лайнер, флютинг.

В наши дни наиболее массовым, перспективным и востребованным продуктом целлюлозно-бумажной промышленности России является тарный картон, который используется для производства гофрокартона и тары.

Упаковка в современных условиях рассматривается как метод создания потребительских предпочтений и средство удовлетворения социальных потребностей общества, производителей, продавцов и индивидуальных пользователей. Подобное двойное назначение упаковки проявляется благодаря присутствию ей функций: защитной, информационной и формирующей количественные характеристики товара.

При производстве тарного картона, как и других материалов, производители стремятся поддерживать качество и

рентабельность продукции на высоком уровне. Для этого предприятия чаще всего выбирают путь модернизации картоноделательной машины (КДМ). Однако следует учитывать и то, что возможным решением является осуществление контроля над качественными показателями готовой продукции.

Требования к перечню и уровню характеристик тарного картона, по которым происходит оценка качества, в настоящее время существенно отличаются для внутреннего и внешнего рынка. В последнем случае больше внимания уделяется характеристикам деформативности. Методики, измеряющие деформационные способности гофрокартона и коробочного картона, различны. Причем предсказывать поведение ящиков из гофрированного картона при штабелировании значительно сложнее.

Было доказано, что измеренные сопротивления сжатию вдоль плоскости листа составляющих гофрокартона, т.е. картона для плоских слоев и бумаги для гофрирования, в сумме дают представление о прочности ящика.

В Европе огромное распространение получил метод измерения сопротивления образцов бумаги и картона сжатию на коротком расстоянии (SCT). Характеристика продукции по этому показателю считается обязательной на мировом рынке картона. Однако в России метод не стандартизирован, что создает огромную проблему при реализации картона за рубеж.

На кафедре технологии бумаги и картона СПбГТУ РП была проведена работа, цель которой – исследование эффективности использования метода сжатия на коротком расстоянии для контроля прочностных характеристик картона-лайнера и флютинга по сравнению с другими существующими методами и выявление основных закономерностей, справедливых для него.

Для реализации указанной цели были предложены следующие направления исследований:

определить структурно-размерные характеристики (толщина, масса  $1 \text{ м}^2$ ) образцов картона-лайнера и флютинга;

исследовать механические характеристики (разрушающее усилие при сжатии кольца) образцов картона-лайнера и флютинга с помощью методов ГОСТ;

определить сопротивление сжатию на коротком расстоянии в поперечном направлении для образцов картона-лайнера и флютинга методом SCT;

на основе анализа полученных данных сделать выводы о наблюдаемых зависимостях и эффективности данного метода.

Потребительские свойства гофрированного картона и ящиков зависят, прежде всего, от вида и совокупности свойств картона-лайнера и флютинга.

Механическая прочность картона-лайнера и бумаги для гофрирования определяет возможность их переработки на гофроагрегате и последующие потребительские свойства тары. Необходимо отметить, что поведение материалов при механическом воздействии складывается из способности к деформированию (жесткость при растяжении и изгибе, вязкоупругие свойства, устойчивость и т.д.) и прочности. Выделяют два вида нагрузок на ящики: динамические, вследствие удара при свободном падении, и статические, обусловленные сжатием и растяжением при штабелировании и перемещении.

В условиях усовершенствования погрузочно-разгрузочных работ вероятность динамических нагрузок значительно снижается, при этом резко возрастают требования к жесткости тары. Это обусловлено тем, что вместимость транспортных средств и складских помещений стремятся увеличить за счет высоты штабелей.

Анализ стандартных методов, применяемых зарубежными потребителями продукции для характеристики механических свойств картона-лайнера и флютинга, показывает, что они претерпели значительные изменения. Так, некоторые потребители при оценке механических свойств отказываются от использования такого показателя, как сопротивление продавливанию, отдавая предпочтение показателям, характеризующим прочность на сжатие в поперечном направлении (важность высокого уровня сопротивления продавливанию при этом не отрицается).

Традиционным методам, которые применяют для измерения сопротивления сжатию картона-лайнера и

флютинга, в том числе RCT (метод определения разрушающего усилия при сжатии кольца картона-лайнера) и SST (метод определения сопротивления торцовому сжатию гофрированного образца флютинга), которые регламентированы ГОСТ, присущи недостатки, вызванные зависимостью размеров контрольных образцов и метода их подготовки от конструкции контрольно-измерительного прибора [3]. Можно выделить два основных. Во-первых, верхняя торцевая плоскость контролируемого образца при испытании свободно соприкасается с верхней контрольной пластиной измерительного прибора, что может вызывать разрушение его торца. Во-вторых, трудно добиться абсолютной параллельности контрольных пластин и торцов контрольного образца, и если отклонение от параллельности велико, то в определенных местах контрольного образца возникает концентрация напряжений.

Недостатком метода RCT является возможность коробления, которое возникает, особенно, на концах контрольного образца, замкнутого в кольцо.

При использовании метода SST проявляются торцевые эффекты на двух вертикальных торцах. На сопротивление сжатию оказывают влияние нагревание и формование в лабораторной гофрировальной машине. Помимо этого, существуют расхождения и в методике определения SST.

Важным качественным показателем бумаги для гофрирования является сопротивление плоскостному сжатию (СМТ). Серьезным недостатком данного метода является то, что на его выполнение требуется много времени и для получения удовлетворительных результатов необходима высокая точность измерения [2].

Рассмотрим определение жесткости тарного картона методом SCT.

Между сопротивлением сжатию вдоль плоскости картона-лайнера и

флютинга и сопротивлением торцовому сжатию изготовленного из них гофрированного картона наблюдается тесная зависимость. Сопротивление сжатию гофрированного картона, в свою очередь, во многом лимитирует жесткость потребительской тары из этого материала. Следовательно, необходимо, чтобы указанные методы давали возможность определять сопротивление сжатию независимо от других свойств материала.

Считается, что сопротивление сжатию вдоль плоскости картона измерить труднее, чем сопротивление растяжению. Традиционными методами, которые используют в России, являются RCT и SST. Однако на внешнем рынке, в первую очередь в Европе, большинство потребителей и производителей тарного картона в последнее время отдают предпочтение показателю SCT.

Он быстро получил признание не только у производителей картона-лайнера и флютинга, но и у производителей гофрокартона, применяющих этот метод при оценке качества полуфабрикатов и оптимизации сопротивления ящиков сжатию.

Хотя метод SCT недостаточно широко распространен в России, однако наши предприятия, поставляющие тарный картон на экспорт, сталкиваются с необходимостью его использования.

По мнению разработчиков и пользователей, метод имеет преимущества перед другими (например, RCT и SST) по скорости и точности, обеспечивает «чистое» сжатие вдоль плоскости образца. База испытаний составляет всего  $(0,70 \pm 0,05)$  мм и сопоставима с толщиной материала, что предотвращает бифуркацию образца: деформация происходит в результате сжатия, а не из-за потери устойчивости или влияния краевых эффектов. Метод сжатия на коротком расстоянии отражает действительное усилие, необходимое для разрушения структуры межволоконных связей [1].

Таблица 1

## Образцы картона-лайнера и бумаги для гофрирования, использованные при проведении экспериментов

Производитель	Волокно	Масса 1 м <sup>2</sup> образца, г																
		80	90	95	100	105	110	112	115	120	125	135	140	150	160	175	200	225
		Картон-лайнер																
ОАО «Группа Илим» (г. Коряжма)	Первичное		+			+	+		+		+		+			+	+	+
ОАО «Архангельский ЦБК»	«								+		+		+					
ОАО «Выборгская целлюлоза»	«						+		+	+	+	+	+	+				
ОАО «Светогорск»	«								+	+	+						+	
ОАО «Сегежский ЦБК»	«									+								
ОАО «Монди СЛПК»	«									+								
ОАО «БФ «Коммунар»	Вторичное								+				+					
		Бумага для гофрирования																
ОАО «Группа Илим» (г. Коряжма)	Первичное	+	+	+	+	+		+			+		+			+	+	
ОАО «БФ «Коммунар»	Вторичное				+						+							
ООО «Окуловская БФ»	«							+										
ООО «Сухонский ЦБК»	«										+							

Примечание. Плюсом обозначены образцы, участвовавшие в эксперименте.

Таблица 2

## Физико-механические характеристики картона для плоских слоев гофрокартона

Предприятие	Масса 1 м <sup>2</sup> , г	Толщина, мкм	Разрушающее усилие при сжатии кольца, Н	Сопротивление сжатию на коротком рас- стоянии, кН/м	Индекс сжатия, кН·м/кг
Первичное волокно					
ОАО «Группа Илим» (г. Коряжма)	90	120	84	2,0	22,3
	105	141	114	2,4	24,4
	110	160	132	2,5	22,5
	115	162	156	2,7	26,3
	125	165	232	2,7	28,3
	140	210	315	2,9	20,4
	175	240	261	3,6	20,2
	200	270	306	4,1	20,6
	225	280	341	4,7	25,3
ОАО «Архангельский ЦБК»	115	162	123	2,4	21,1
	125	181	172	2,7	21,2
	140	200	239	2,7	19,2
ОАО «Выборгская целлюлоза»	110	100	99	2,2	19,6
	115	120	143	2,7	25,1
	120	130	151	2,8	22,5
	125	140	166	3,0	22,4
	135	145	175	3,4	19,6
	140	160	206	3,1	22,4
	150	174	242	3,5	23,0
ОАО «Светогорск»	120	150	141	3,4	25,7
	125	160	177	3,2	26,1
	135	165	199	3,3	22,4
	175	220	297	4,4	25,1
ОАО «Сегежский ЦБК»	125	181	176	3,4	23,6
ОАО «Монди СЛПК»	125	161	189	2,6	21,6
Вторичное волокно					
ОАО «БФ «Коммунар»	115	179	107	2,2	19,0
	140	230	140	3,0	21,4

В качестве исследуемых объектов нами были отобраны образцы картона для плоских слоев (лайнер) и бумаги для гофрирования (флутинг), произведенных на предприятиях, находящихся на территории России. Для фиксирования необходимых зависимостей были использованы образцы с различными массами 1 м<sup>2</sup> (табл. 1). В качестве исходного сырья для производства данных видов продукции предприятия используют либо первичное, либо вторичное волокно

(табл. 1). Это значительно влияет на прочностные показатели образцов, что необходимо учитывать в работе.

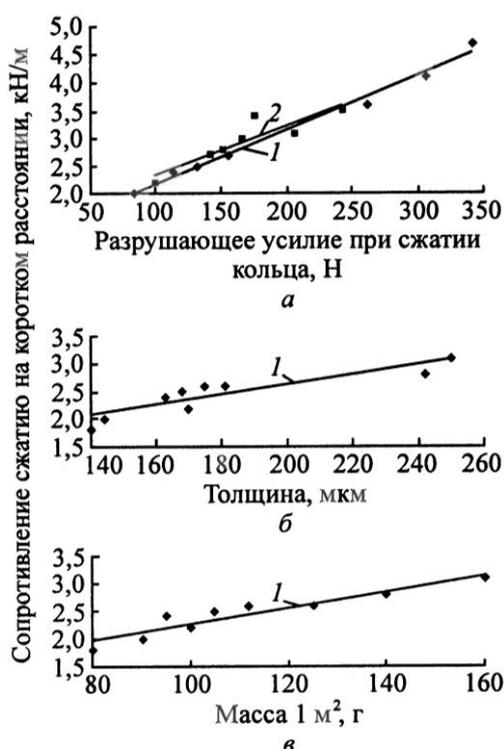
После проведения ряда опытов и обработки данных были получены физико-механические характеристики испытуемых образцов картона-лайнера (табл. 2) и флутинга (табл. 3).

На основе анализа экспериментальных данных были построены графики зависимости для каждой группы образцов (см. рисунок).

Таблица 3

**Физико-механические характеристики образцов бумаги для гофрированных слоев гофрокартона**

Предприятие	Масса 1 м <sup>2</sup> , г	Толщина, мкм	Разрушающее усилие при сжатии кольца, Н	Сопротивление сжатию на коротком рас- стоянии, кН/м	Индекс сжатия, кН·м/кг
Первичное волокно					
ОАО «Группа Илим» (г. Коряжма)	80	140	67	1,8	22,0
	90	144	77	2,0	22,2
	95	163	81	2,4	22,1
	100	170	93	2,2	22,0
	105	168	112	2,5	22,9
	112	181	125	2,6	23,2
	125	175	171	2,6	23,7
	140	242	207	2,8	20,0
	160	250	261	3,1	23,4
	175	300	342	4,5	24,5
Вторичное волокно					
ОАО «БФ «Коммунар»	100	162	99	2,0	20,2
	125	195	151	2,4	18,9
ООО «Окуловская БФ»	112	185	101	2,1	18,8
ООО «Сухонский ЦБК»	125	–	144	2,4	19,0



Зависимость показателя SCT картона для плоских слоев гофрированного картона (а) и бумаги для гофрирования (б, в) от разрушающего усилия при сжатии кольца (а), толщины (б) и массы 1 м<sup>2</sup> бумаги (в): 1 – ОАО «Группа Илим (г. Коряжма); 2 – ОАО «Выборгская целлюлоза»

Полученные данные позволяют сделать вывод, что новый метод SCT достаточно информативен. При этом не всегда просматриваются прямые зависимости между этим показателем и другими характеристиками образцов.

В заключение следует отметить, что на данном этапе производится лишь наработка статистического материала по применению метода SCT. Очень многие тонкости еще не изучены, что оставляет большое поле для исследования.

На основе полученных нами результатов можно сделать следующие выводы.

1. Бумага для гофрирования и картон для плоских слоев, произведенные из первичного волокна, превосходят по показателям жесткости и прочности образцы, изготовленные на основе вторичного волокна.

2. Определение сопротивления сжатию на коротком расстоянии в поперечном направлении является доста-

точно информативным показателем для оценки жесткости бумаги и картона, что подтверждено результатами экспериментов.

3. Нет прямого соответствия и дублирования между показателями сжатия по кольцу и на коротком расстоянии. При использовании метода определения разрушающего усилия по кольцу возможны изгибы, что усложняет и делает полученные данные недостаточно точными.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Инструкция по применению прибора для определения сопротивления сжатию на коротком расстоянии «Buchel SCT».

2. *Комаров В.И.* Деформация и разрушение волокнистых целлюлозно-бумажных материалов. Архангельск: Изд-во АГТУ, 2002.

3. Лабораторный практикум по технологии бумаги и картона: Учеб. пособие / В.К. Дубовый [и др.]; под ред. В.И. Комарова, А.С. Смолина. СПб.: Изд-во политехн. ун-та, 2006.

Поступила 22.11.10

*A.S. Smolin, Ya.S. Murashov*

Saint-Petersburg State Technological University of Plant Polymers

#### **Influence of Physical-mechanical Characteristics of Material on Compression Strength at Short Distance**

The efficiency of applying the compression method at short distance to control the strength characteristics of board-liner and flute in comparison with other existing methods is investigated, the main regularities of this method are revealed.

Keywords: strength characteristics, compression method at short distance, corrugated board, kraft-lined board, flute.

УДК 676.017

**Е.С. Николаев<sup>1</sup>, И. Каянто<sup>1</sup>, А.С. Смолин<sup>2</sup>, Д.С. Казымов<sup>2</sup>, Е.В. Мещеряков<sup>1</sup>**<sup>1</sup>Лаппеенранский технологический университет (Финляндия)<sup>2</sup>С.-Петербургский государственный технологический университет растительных полимеров

Николаев Егор Сергеевич родился в 1984 г., окончил в 2006 г. С.-Петербургский государственный технологический университет растительных полимеров, аспирант Лаппеенрантского технологического университета. Имеет 3 печатные работы в области электрокинетических свойств бумажной массы, флокуляции, формовочных свойств бумаги.

E-mail: egor.n@mail.ru



Иско Каянто родился в 1960 г., окончил в 1985 г. Хельсинкский технологический университет, доктор технических наук Хельсинкского технологического университета, профессор, менеджер по развитию технологии UPM-Kymmene OY. Имеет более 15 печатных работ в области исследования физики бумаги, картона, технологического контроля и анализа.

E-mail: isko.kajanto@lut.fi



Казымов Дмитрий Сергеевич родился в 1987 г., окончил в 2009 г. С.-Петербургский государственный технологический университет растительных полимеров, младший научный сотрудник СПбГТУ РП, магистр Лаппеенрантского технологического университета.

E-mail: kazymov\_d@mail.ru



Мещеряков Евгений Владимирович родился в 1984 г., окончил в 2009 г. С.-Петербургский государственный технологический университет растительных полимеров, заканчивает двойную магистратуру в СПбГТУРП и Лаппеенрантском технологическом университете. Область научных исследований – заряд целлюлозного волокна и методы его исследований.

E-mail: evgeny.meshcheryakov@gmail.com



## ИЗУЧЕНИЕ ВЛИЯНИЯ ПРОЦЕССА РАЗМОЛА НА ЭЛЕКТРОКИНЕТИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА ВОЛОКОН И ВОЛОКНИСТЫХ СУСПЕНЗИЙ\*

Установлено, что увеличение степени помола образцов различных видов целлюлозы приводит к снижению абсолютного значения  $\zeta$ -потенциала, увеличению катионной потребности и поверхностного заряда волокон у всех образцов.

Ключевые слова:  $\zeta$ -потенциал, проводимость, заряд волокон, электрокинетические свойства, размол, общий заряд, катионная потребность.

### Введение

Размол – механический процесс, при котором волокна в водной среде испытывают расщепляющие и режущие воздействия. Цель размола – структурные изменения клеточной стенки волокна посредством применения механической энергии. Изменения, протекающие в процессе размола, можно разде-

лить на две группы: первичные (внешнее и внутреннее фибриллирование, укорочение волокна, образование мелкой фракции, структурные изменения, микросдавливание, скручиваемость и освобождение химических компонентов) и вторичные (объединяют все остальные эффекты и изменения свойств волокна, которые происходят в процессе размола) [1, 4, 7, 10].

\* Работа выполнена при финансовой и научно-технической поддержке UPM-Kymmene OY и International Doctoral Programme in Pulp and Paper Science and Technology (PaPSaT).

Электрокинетические свойства и заряд волокон и волокнистых суспензий играют важную роль при дозировке химических реагентов в мокрой части БДМ. Было показано, что заряд волокна влияет на его набухание, гибкость и степень ороговения, а также на степень обезвоживания в прессовой части БДМ, оптические, макроструктурные и прочностные свойства бу-мажного листа [13, 17].

Волокна целлюлозы, суспендированные в воде, обладают отрицательным зарядом. Это, главным образом, объясняется ионизацией ОН-групп гемицеллюлоз и лигнина. В волокнах, используемых в ЦБП, представлено множество групп, способных к ионизации, однако только карбоксильные группы ионизируются в нейтральной и слабокислой средах. В случае использования полуфабрикатов, полученных с сульфитными варочными растворами, ионизируются также и группы сульфоновых кислот [8, 9, 14, 16, 18]. Другие возможные причины существования заряда на поверхности целлюлозных волокон – это адсорбция ионов из водной среды и ориентация диполей воды [3].

Число групп, несущих заряд, зависит от природы волокон, способа варки и продолжительности отбелки, а также от механической обработки (размола). Например, известно, что сульфатная целлюлоза лиственных пород древесины обладает большим зарядом, чем сульфатная целлюлоза хвойных пород (по причине более высокого содержания глюкуронооксила у лиственных) [11]. Заряд целлюлозных волокон имеет тенденцию к снижению во время сульфатной варки и последующей отбелки. Это происходит по причине растворения и удаления полисахаридов [15]. Поверхност-

ный заряд волокон увеличивается во время размола, это обусловлено ростом площади поверхности волокон. Размол как бы «открывает» волокна, делая доступными заряженные группы внутренней структуры. Известно, что процесс размола изменяет поверхностный заряд волокон, при этом общий заряд остается прежним [3].

Несмотря на то, что проблема влияния процесса размола на электрокинетические свойства волокон довольно широко представлена в литературе, существует ряд спорных вопросов. Это объясняется отсутствием общего, прямого и стандартизованного метода для измерения электрокинетических свойств. Яркий пример разногласий по этому вопросу в литературе – влияние размола на  $\zeta$ -потенциал волокон. К. Ниши с соавторами в своих работах указывают, что электроотрицательность  $\zeta$ -потенциала возрастает с увеличением степени помола [15]. Однако Ф. Карраско с соавторами обнаружили, что  $\zeta$ -потенциал не изменяется существенно по мере увеличения степени помола [7]. М. Хуббе утверждает, что  $\zeta$ -потенциал в некоторых случаях становится менее отрицательным в результате размола [12]. А.С. Смолин в своих работах также подтверждал снижение абсолютного значения электрокинетического потенциала с ростом степени помола [2, 3, 19]. Эти разногласия объясняются различием в способах измерения  $\zeta$ -потенциала (электрофорез, потенциал протекания), таким образом их результаты не могут коррелировать друг с другом.

Целью данной работы было изучение влияния размола на электрокинетические свойства волокон и волокнистых суспензий различных видов целлюлозы.

*Экспериментальная часть*

При выполнении данной работы были использованы сульфатные белевые волокнистые полуфабрикаты: хвойные (сосна) и лиственные (береза и эвкалипт).

Волокна каждого полуфабриката были размолоты на лабораторной мельнице в соответствии со стандартом (SCAN-C 25:76) до 20, 30, 40, 60, 70 и 80 °ШР. Для изучения влияния процесса размола на поверхностный заряд волокон определяли электрокинетический потенциал методом измерения потенциала протекания на системе ζ-Потенциал (SZP 06 BTG Müttek GmbH) и на Delsa 440SX ζ-потенциал-анализаторе (измерение электрофоретической подвижности с помощью лазерного анализатора, в основе которого лежит эффект Доплера). При пятикратном измерении ζ-потенциала каждого образца поддерживали постоянную температуру, рассчитывали средний результат и определяли стандартное отклонение. Проводимость и pH образцов определяли на лабораторных pH- и кондуктометрах, заряд волокон – на анализаторе заряда частиц (Particle Charge Detector) посредством полиэлектролитического титрования. Для определения заряда использовали два метода.

В первом методе сильно разбавленную волокнистую суспензию и фильтрат суспензии оттитровывали прямым титрованием со стандартным титрантом – 0,001 Н раствором полидадмака (PolyDADMAC – полидиаллилдиметиламмоний хлорид; молекулярная масса  $M_M = 107\ 000$  г/моль; заряд 0,00619 экв/г). Таким образом определяли катионную потребность как фильтрата (заряд коллоидных и растворенных частиц), так и общую (волокон, коллоидных и растворенных частиц):

$$КП_{\text{фильтрата}} = \frac{V_{\text{титр}} CD_{\text{титр}}}{V_1}; \quad (1)$$

$$КП_{\text{общая}} = \frac{V_{\text{титр}} CD_{\text{титр}}}{V_2}, \quad (2)$$

где  $КП_{\text{фильтрата}}$  – катионная потребность фильтрата (заряд коллоидных и растворенных частиц), мк-экв/л;

$КП_{\text{общая}}$  – общая катионная потребность (заряд волокон + заряд коллоидных и растворенных частиц), мк-экв/л;

$V_{\text{титр}}$  – объем полидадмака, пошедший на титрование, мл;

$CD_{\text{титр}}$  – концентрация заряда полидадмака,  $CD_{\text{титр}} = 1$  мк-экв/л;

$V_1$  – объем оттитрованного образца фильтрата,  $V_1 = 10$  мл;

$V_2$  – объем оттитрованного образца суспензии,  $V_2 = 10$  мл.

После каждого титрования концентрацию волокон в образце определяли фильтрованием на бумажном фильтре с последующей сушкой и взвешиванием. По результатам титрования фильтрата и суспензии и определения концентрации волокон в образцах рассчитывали катионную потребность волокон в суспензии:

$$КП_{\text{волокна}} = \frac{КП_{\text{общая}} - КП_{\text{фильтрата}}}{C}, \quad (3)$$

где  $КП_{\text{волокна}}$  – катионная потребность волокна в расчете на 1 г абсолютно сухого волокна, мк-экв/г;

$C$  – концентрация волокна в суспензии, г/л.

Так как полидадмак, используемый как титрант, имеет достаточно

большую ММ (10 7000 г/моль), то его молекулы не могут проникать во внутреннюю структуру волокна и реагировать с кислотными группами. Таким образом,  $KП_{\text{волокна}}$  грубо можно считать поверхностным зарядом волокон.

Во *втором методе* было применено обратное титрование, при котором количество адсорбированных полиэлектролитов определяли титрованием избыточного количества полимера стандартным титрантом. Перед адсорбцией полиэлектролитов образцы целлюлозы были предварительно обработаны по следующей схеме.

В целях удаления ионов металлов образцы каждой целлюлозы (при концентрации волокна в суспензии 1 %) промывали 0,01 М раствором HCl и размещали на магнитной мешалке в течение 30 мин при pH 2. Затем целлюлозу промывали дистиллированной водой до удельной электрической проводимости 5 мкСм/см и pH 7. Далее образцы целлюлозы переводили в натриевую форму промывкой 0,001 М раствором гидрокарбоната натрия ( $NaHCO_3$ ) и выдерживали в данном электролите 10 мин. Затем pH повышали до 9 промывкой 0,1 М раствором NaOH и выдерживали в нем 30 мин. Заключительной стадией обработки была промывка образцов целлюлозы дистиллированной водой до поверхностной проводимости 5 мкСм/см и pH 7.

Количество адсорбированного полиэлектролита определяли титрованием избыточного количества полимера (который не адсорбировался на волокне) с анионным титрантом. Далее заряд волокон находили экстраполяцией к нулевой концентрации полимера участка кривой с неизменной равновесной концентрацией. На рис. 1 представлен пример изотермы адсорбции и принцип определения количества адсорбированного полиэлектролита.

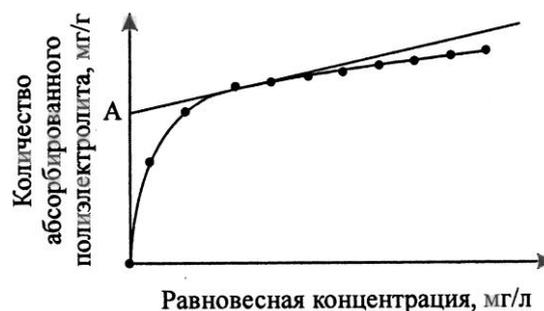


Рис. 1. Кривая адсорбции (A – количество адсорбированного полимера [19])

Для определения поверхностного заряда использовали полидадмак с высокой ММ (200 000...350 000 г/моль) и зарядом 0,00619 экв/г, для определения общего заряда волокна – полибрен (гексадиметрина бромид) со сравнительно небольшими ММ (8 000 г/моль) и зарядом (0,00535 экв/г). В целях построения изотерм адсорбцию проводили при пяти различных концентрациях полиэлектролитов (полидадмак – 60, 80, 100, 150 и 200 мг/л; полибрен – 80, 100, 140, 180 и 220 мг/л) [11, 19].

#### Результаты и их обсуждение

Как показал обзор литературных данных, поверхностная проводимость волокнистой суспензии имеет существенное влияние на результаты измерений  $\zeta$ -потенциала [20]. Так как при увеличении степени помола был отмечен рост проводимости волокнистой суспензии, было принято решение проводить измерения как со стабилизацией проводимости, так и без нее. Проводимость образцов поддерживали на постоянном уровне (150 мкСм/см), добавляя 0,01 М раствор хлорида калия (KCl). Данный прием не только позволил свести на нет вклад проводимости в электрокинетический потенциал, но и оценить его путем сравнения данных измерений со стабилизацией и без нее.

Как следует из рис. 2 и 3, существует тенденция к уменьшению  $\zeta$ -потенциала по мере увеличения

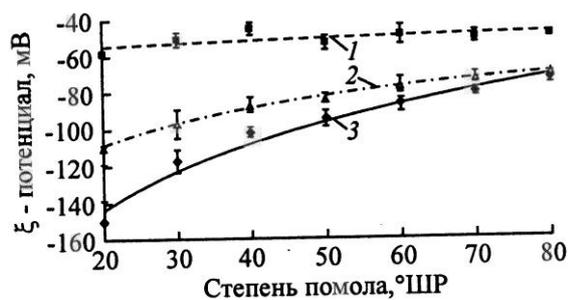


Рис. 2. Влияние процесса размола на  $\zeta$ -потенциал различных волокнистых суспензий при отсутствии стабилизации поверхностной проводимости: 1 – сосна, 2 – береза, 3 – эвкалипт

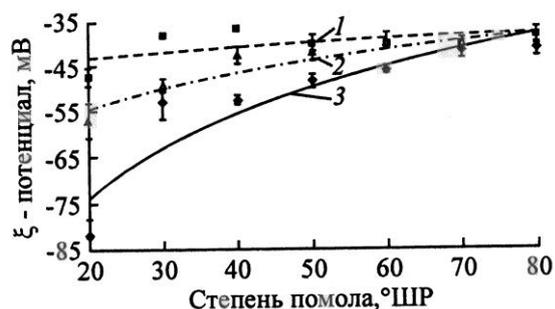


Рис. 3. Влияние процесса размола на  $\zeta$ -потенциал различных волокнистых суспензий при постоянной поверхностной проводимости 150 мкСм/см (см. обозначения на рис. 2)

степени помола. Это можно объяснить несколькими причинами. При размоле, во-первых, происходит растворение гемицеллюлоз, имеющих большое количество карбоксильных групп (ответствующих за отрицательный заряд волокон, суспендированных в воде), т. е. увеличивается заряд суспензии и уменьшается поверхностный заряд волокна, во-вторых – расширяется гидратационный слой, что ведет к снижению  $\zeta$ -потенциала. Немаловажным фактором является то, что количество лигнина и экстрактивных веществ во внутренних слоях волокна меньше, чем во внешних (в S2 по сравнению со слоями P и S1) [12].

Другими словами, при размоле открываются новые поверхности волокон с меньшим количеством «заряженных» групп. Немаловажным фактором, влияющим на электрокинетический потенциал и поверхностную про-

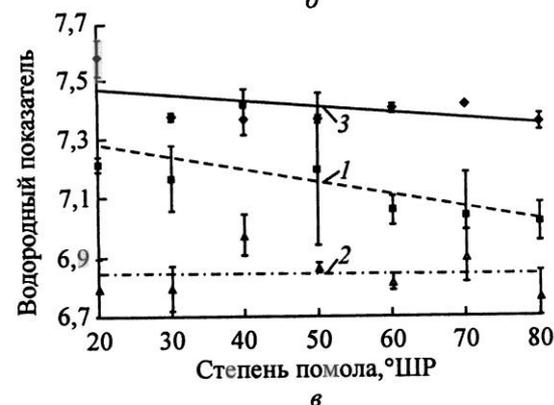
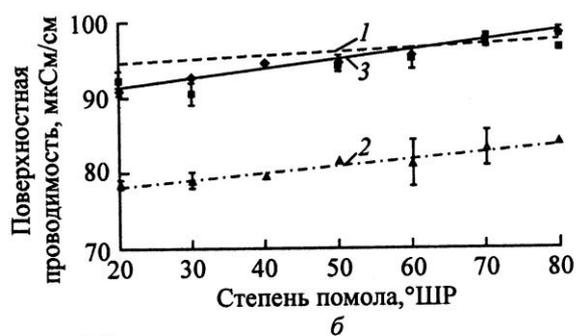
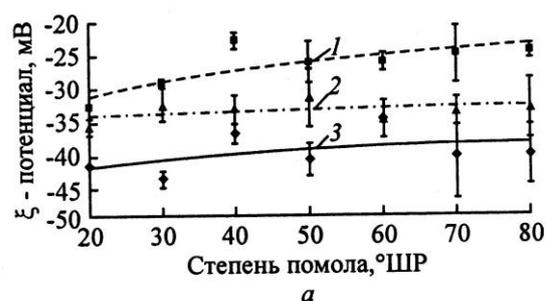


Рис. 4. Влияние процесса размола на  $\zeta$ -потенциал, измеряемый по принципу электрофоретической подвижности (а), поверхностную проводимость (б), рН (в) и катионную потребность (заряд волокон) (г) различных волокнистых материалов (см. обозначения на рис. 2)

водимость волокон, служит плотность набивки целлюлозной диафрагмы (пористость волокнистого фильтрующего слоя на сетке электрода). Во время размола происходит фибрилляция, укорочение волокна и образование фракции волокнистой мелочи, что ведет

к уменьшению пористости волокнистой пробки (увеличению плотности набивки). Гонзалез-Фернандес с соавторами [8] обнаружили, что с увеличением плотности набивки целлюлозной диафрагмы поверхностная проводимость имела тенденцию к увеличению, а электрокинетический потенциал уменьшался.

Так как предел обнаружения прибора Delsa 440 составляет от 10 нм до 30 мкм, то он может измерять  $\zeta$ -потенциал коллоидных и растворенных веществ. На рис. 4, а видно, что  $\zeta$ -потенциалы эвкалипта и березы под влиянием размола не изменились. Эти данные согласуются с результатами, полученными Карраско с соавторами [5]. Однако для образцов сосны заметна слабая тенденция к уменьшению абсолютного значения  $\zeta$ - потенциала. Этот факт может быть объяснен реадсорбцией гемицеллюлоз из фазы раствора на поверхность волокна.

Результаты, представленные на

рис. 4, б, показывают, что повышение степени помола является причиной увеличения проводимости волокнистой суспензии. Данная тенденция объясняется ростом концентрации ионов в растворе за счет высвободившихся и перешедших в раствор химических компонентов (гемицеллюлозы, лигнин, остаточные химикаты варки и отбели). Также следует учесть влияние плотности набивки целлюлозной диафрагмы на проводимость (см. приведенные выше объяснения). Как показал Мартин Хуббе [20], увеличение проводимости волокнистой суспензии имеет обратное влияние на  $\zeta$ -потенциал.

Из рис. 4, в видно, что в процессе размола волокнистой суспензии рН смещено в более кислую область, особенно для образцов сосны и эвкалипта. Причиной этому послужило увеличение количества кислотных групп, которые были высвобождены из волокон и перешли в фазу раствора.

#### Значения поверхностного и общего зарядов различных образцов целлюлозы

Образец	Заряд, мк-экв/г		Соотношение зарядов
	поверхностный*	общий**	
Сосна:			
20 °ШР	22,6	70,1	0,322
40 °ШР	27,5	67,5	0,407
60 °ШР	34,4	70,1	0,491
Береза:			
20 °ШР	24,2	70,2	0,345
40 °ШР	47,9	72,5	0,661
60 °ШР	64,1	73,5	0,872
Эвкалипт:			
20 °ШР	41,2	93,0	0,443
40 °ШР	53,1	88,7	0,599
60 °ШР	70,4	87,9	0,801

\*Адсорбция полиадамак (ММ = 200 000...350 000 г/моль).

\*\*Адсорбция полибрена (ММ = 8 000 г/моль).

На рис. 4, г для всех образцов ярко выражена тенденция к увеличению катионной потребности с ростом степени помола. Эта тенденция объяс-

няется тем фактом, что при размоле все больше и больше поверхностей становятся доступными, следовательно, все большее количество заряжен-

ных групп внутренней структуры делаются реакционноспособными. Также наблюдается разница между зарядами различных видов целлюлозы. Заряд образцов целлюлозы из сосны и березы практически одинаков, однако у эвкалипта он выше. Это объясняется различиями в химическом составе целлюлоз и организации производственных процессов.

В таблице представлены результаты определения поверхностного и общего зарядов волокна обратным титрованием. Полученные результаты позволяют сделать выводы, что поверхностный заряд увеличивается с повышением степени помола, однако общий заряд при этом не изменяется; общий заряд волокон примерно в 2–3 раза больше поверхностного заряда; поверхностный заряд образцов из листовых пород выше, чем из хвойных.

#### *Выводы*

Очевидно, что размол существенно влияет на электрокинетические свойства волокон и волокнистых суспензий. Так как изменения, которые происходят с электрокинетическими свойствами, достаточно сложные, они не могут быть оценены посредством лишь одного принципа измерения. Сравнение данных различных методик дает более информативную картину.

Таким образом, на основании эксперимента установлено:

по мере увеличения степени помола для всех испытуемых образцов имеет место снижение абсолютного значения  $\zeta$ -потенциала как при стабилизации проводимости до постоянного уровня 150 мкСм/см, так и без нее;

повышение проводимости снижает абсолютное значение  $\zeta$ -потенциала; даже при фиксируемой проводимости отмечена тенденция к его уменьшению;

$\zeta$ -потенциал образцов березы и эвкалипта, измеряемый посредством электрофоретической подвижности (потенциал коллоидных и растворенных веществ), существенно не изменяется по мере повышения степени помола; для образцов сосны существует слабая тенденция к уменьшению абсолютного значения  $\zeta$ -потенциала, которая объясняется реадсорбцией полимеров из раствора на поверхность волокон;

имеет место увеличение проводимости и кислотности волокнистой суспензии по мере повышения степени помола, что связано с высвобождением и переходом в раствор химических веществ из внутренних слоев волокна (гемицеллюлозы, остаточный лигнин и химикаты процессов варки и отбелки);

для всех испытуемых образцов существует тенденция к повышению катионной потребности волокон по мере увеличения степени помола, что связано с ростом поверхности волокна за счет «открытия» внутренней структуры; это в свою очередь делает большее количество карбоксильных групп доступными;

при увеличении степени помола поверхностный заряд волокон возрастает, а их общий заряд остается неизменным; значение общего заряда примерно в 2,5–3 раза больше поверхностного;

по величине заряда исследуемые древесные породы можно расположить в порядке убывания: эвкалипт, береза, сосна.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Иванов С.Н. Технология бумаги. Изд. 3-е. М.: Школа бумаги, 2006. С. 36–39, 382–384.
2. Смолин А.С. Межволоконные связи и макроструктура бумаги и картона: Авреф. дис. ... д-ра техн. наук. 1999. 23 с.

3. Смолин А.С., Шабиев Р.О., Яркола П. Исследование зета-потенциала и катионной потребности волокнистых полуфабрикатов // Химия растительного сырья. 2009. № 1. С. 177–184.
4. A Critical Review of Current Theories for the Refining of Chemical Pulps: Members of the Institute of Paper Chemistry. Report Three. The Institute of Paper Chemistry, Appleton, Wisconsin, 1981. P. 9. (Available on the internet: <https://smartech.gatech.edu/bitstream/1853/2607/1/tps-146.pdf>).
5. Carrasco F., Mutje P., Pelach M.A. Refining of Bleached Cellulosic Pulps: Characterization by Application of the Colloidal Titration Technique // Wood Science and Technology. 1996. 30. P. 227–236.
6. Davison R.W. Electrokinetic Effects in Papermaking Processes // Tappi Journal. 1974. Vol. 57, N 12. P. 85–89.
7. Geirtz H.W. The Influence of Beating on Individual Fibres and the Causal Effects on Paper Properties // Fundamental Concepts of Refining: International Symposium, Appleton, Wisconsin, September 16–18, 1980. P. 87–92.
8. Gonzales-Fernandez C.F., Espinosa-Jimenez M., Gonzalez-Caballero F. The Effect of Packing Density of Cellulose Plugs on Streaming Potential Phenomena // Colloid and Polymer Science. 1983. 261. P. 688–693.
9. Herrington T.M., Petzold J.C. An Investigation into the Nature of Charge on the Surface of Papermaking Woodpulp // Charge/pH Isotherms, Colloids and Surfaces. 1992. 64. P. 97–108.
10. Hietanen S., Ebeling K. Fundamental Aspects of The Refining Process // Paperi ja Puu – Paper and Timber. 1990. Vol. 72, N 2. P. 161–162.
11. Horvath A., Lindstrom T. Indirect Polyelectrolyte Titration of Cellulosic Fibres – Surface and Bulk Charges of Cellulosic Fibres // Nordic Pulp and Paper Research Journal. 2007. Vol. 22, N 1. P. 87–92.
12. Hubbe M.A. Sensing the Electrokinetic Potential of Cellulosic Fiber Surfaces // BioResources. 2006. Vol. 1, N 1. P. 116–149.
13. Laine J., Stenius P. Effect of Charge on the Fibre and Paper Properties of Bleached Industrial Kraft Pulps // Paper and Timbers. 1997. Vol. 79, N 4. P. 257–266.
14. Moses P., Thirumalachary P., Swaminathan R., K., Gopalswamy V.R. Charge Measurements and its Importance in Wet End Chemistry – A Review and Experience in Bagasse Paper Making // IPPTA J. 2004. Vol. 16, N 1. P. 67–75.
15. Nishi K. Bhardwaj, Sanjay Kumar, Pramod K. Bajpai. Effects of Processing on Zeta Potential and Cationic Demand of Kraft Pulps: Colloids and Surfaces A // Physicochem. Eng. Aspects. 2004. 246. P. 121–125.
16. Nishi K. Bhardwaj, Viet Hoang, Kien L. Nguyen. Effect of Refining on Pulp Surface Charge Accessible to Polydadmac and FTIR Characteristic Bands of High Yield Kraft Fibres // Bioresource Technology. 2007. 98. P. 962–966.
17. Sleng-Li Chen, Shuangfei Wang, Lucian A. Lucia. New Insights into the Fundamental Nature of Lignocellulosic Fibre Surface Charge // Journal of Colloid and Interface Science. 2004. 275. P. 392–397.
18. Sjoström E. The Origin of Charge on Cellulosic Fibres // Nordic Pulp and Paper Research Journal. 1989. N 2. P. 90–93.
19. Wagberg L., Odberg L., Glad-Nordmark G. Charge Determination of Porous Substrates by Polyelectrolyte Adsorption // Nordic Pulp and Paper Research Journal. 1989. Vol. 4, N 2. P. 71–76.
20. Wang F., Hubbe M.A. Charge Properties of Fibers in the Mill Environment. 1. Effect of Electrical Conductivity // Journal Pulp and Paper Science. 2002. Vol. 29, N 10. P. 347–353.

Поступила 29.07.2010

*E.S. Nikolaev<sup>1</sup>, I. Kayanto<sup>1</sup>, A.S. Smolin<sup>2</sup>,  
D.S. Kazymov<sup>2</sup>, E.V. Meshcherykov<sup>1</sup>*

<sup>1</sup>Lappeenranta University of Technology, Finland

<sup>2</sup>Saint-Petersburg State Technological University of Plant Polymers

### **Study of Refining Effect on Electrokinetic Properties of Fibrous Slurry and Fibers**

It is established that the increase of beating level of different pulp samples results in the decrease of the absolute value of zeta potential and increase of the cationic demand and surface charges of all samples.

Keywords: zeta potential, conductivity, fiber charge, electrokinetic properties, refining, common charge, cationic demand.

УДК 676.017

**В.К. Дубовый<sup>1</sup>, Д.П. Маркеев<sup>2</sup>, Н.В. Сысоева<sup>3</sup>**<sup>1</sup>С.-Петербургский государственный технологический университет растительных полимеров<sup>2</sup>ОАО Гатчинский опытный завод бумагоделательного оборудования<sup>3</sup>Северный (Арктический) федеральный университет

Дубовый Владимир Климентьевич родился в 1967 г., окончил в 1991 г. Ленинградскую лесотехническую академию, доктор технических наук, доцент С.-Петербургского государственного технологического университета растительных полимеров. Имеет более 150 печатных работ в области технологии бумаги и картона.

E-mail: dubovy2004@mail.ru



Маркеев Денис Петрович родился в 1971 г., окончил в 1993 г. Воронежский лесотехнический институт, в 2003 г. Мурманский государственный технический университет, генеральный директор ОАО «Гатчинский опытный завод бумагоделательного оборудования».



Сысоева Наталья Владимировна родилась в 1976 г., окончила в 1999 г. Архангельский государственный технический университет, кандидат технических наук, доцент кафедры технологии целлюлозно-бумажного производства Северного (Арктического) федерального университета. Имеет около 50 печатных работ в области совершенствования технологии получения бумаги, картона и подобных листовых материалов из растительных и минеральных волокон.

Тел.: 8 (8182) 65-00-92



## **ВЛИЯНИЕ МАССЫ 1 м<sup>2</sup> И ПЛОТНОСТИ НА СВОЙСТВА БУМАГОПОДОБНЫХ ФИЛЬТРОВАЛЬНЫХ МАТЕРИАЛОВ ИЗ РАЗЛИЧНЫХ МИНЕРАЛЬНЫХ ВОЛОКОН**

Установлено, что увеличение массы 1 м<sup>2</sup> и плотности, а также снижение диаметра волокон позволяет в 2–5 раз снизить воздухопроницаемость, в 3–4 раза повысить прочность и на 3–4 порядка уменьшить коэффициент проскока частиц масляного тумана. Показано, что в этих условиях, не меняя композиции, можно получить композиты с широким спектром фильтрующих свойств и прочности.

*Ключевые слова:* бумага, минеральные волокна, минерально-волоконистые композиты, фильтровальные материалы, плотность, размеры минеральных волокон, воздухопроницаемость, коэффициент проскока, прочность.

Одной из основных общемировых тенденций развития ЦБП является увеличение выпуска печатных и тароупаковочных видов бумаги и картона на 3,0...4,5 % в год при средних темпах прироста других видов продукции на 1,5...2,0 % в год. При этом значительно более высокими темпами (на 10...15 % в год) возрастает производство бумагоподобных материалов технического назначения из химических и особенно минеральных волокон.

Это объясняется тем, что прогресс в наиболее наукоемких отраслях промышленности (авиакосмической,

электронной, атомной, оборонной), а также в области нанотехнологий невозможен без применения минерально-волоконистых композитов, изготовленных методами бумажного производства. Эти материалы обладают уникальными свойствами, принципиально недостижимыми у бумаги и картона из традиционного растительного сырья. Прежде всего к ним относятся высокие био-, термо- и хемостойкость, негорючесть, очень низкая плотность.

Как и во всем мире, в последние годы и в России значительно увеличилось производство стекловолоконистых

композитов, изготавливаемых на бумагоделательных машинах (БДМ) с наклонным сеточным столом типа Nowo-former немецких фирм «Pama», «Bruderhaus» и др. Эти композиты служат основой для изготовления мягкой кровли нового поколения, обладающей высокой долговечностью (более 25 лет) и другими преимуществами по сравнению с традиционными укрывными материалами, например толью. Однако за рубежом, наряду с указанными материалами, быстро развивается производство фильтровальных, тепло- и шумоизоляционных материалов на основе различных минеральных волокон. В нашей стране, в силу ряда причин (отсутствие на предприятиях ЦБП необходимого оборудования, технологий производства, высокой стоимости и др.), эти материалы пока не изготавливаются, хотя в связи с планируемыми диверсификацией и модернизацией многих отраслей отечественной промышленности они бы нашли широкое применение.

Для сверхтонкой очистки воздуха наиболее актуальной является разработка фильтровальных материалов из минеральных волокон с использованием неорганического связующего. Технология и факторы, влияющие на свойства фильтровальных видов бумаги и картона из природных волокон, достаточно хорошо изучены и известны [2, 4], однако информации о технологии и факторах, влияющих на свойства минерально-волоконистых фильтровальных композитов, крайне мало. Немногочисленные работы в этой области методически разобщены, а выводы авторов противоречивы.

Фильтровальные материалы, получаемые методами бумажного производства, относятся к объемным, независимо от природы исходного сырья. Поэтому на эффективность работы и срок

службы фильтров большое влияние должны оказывать масса  $1 \text{ м}^2$  и плотность фильтровального материала [3]. П. Уайт [5] прямо указывает, что «наилучшим объемным фильтром для улавливания аэрозолей является стог сена».

В связи с этим было решено изучить влияние массы  $1 \text{ м}^2$  и плотности на свойства фильтровальных материалов из различных минеральных волокон, имеющих разные геометрические размеры.

В качестве исходного сырья использовали стеклянные штапельные волокна от грубых (диаметр  $15,0 \text{ мкм}$ ) до микротонких ( $0,2 \text{ мкм}$ ) при длине исходных волокон  $5...7 \text{ мм}$ , а также базальтовые и каолиновые волокна ( $2,0$  и  $0,8 \text{ мкм}$ ). Базальтовое волокно изготовлено центробежным способом на предприятиях Украины, стеклянное и каолиновое волокна – методом раздува горячими газами расплавленного стекла. Выбор этих волокон обусловлен их доступностью и значительным различием химического состава и физических свойств, в частности температуры плавления. При двухстадийном производстве фильтровальных материалов требуется обеспечить, главным образом, фильтрующие свойства бумаги-основы, так как повышение ее прочности достигается во второй стадии, например за счет пропитки связующими или другой обработкой на специальном оборудовании. При планируемом одностадийном производстве указанных материалов на БДМ, помимо фильтрующих свойств, бумаге необходимо придать требуемую прочность.

Поскольку композиты из минеральных волокон имеют низкую прочность, в качестве неорганического связующего использовали полиядерные комплексы, получаемые из сульфата алюминия при  $\text{pH } 8,5...9,0$  непосред-

ственно в гидросуспензии минеральных волокон перед отливом образцов. Расход сульфата алюминия в пересчете на его оксид составлял 40 % от массы волокна. Именно эти условия рекомендованы в работе [1] для значительного увеличения прочности минерально-волоконистых композитов. Одновременно неорганическое связующее позволяет полностью использовать их высокую термо- и огнестойкость, что важно при работе фильтров в сложных производственных условиях.

Лабораторные образцы из минеральных волокон изготавливали на листоотливном аппарате ЛОА-2 с прессованием между сукном и сушкой на горке или цилиндре при температуре  $t = 125$  °С. Перед отливом минеральные волокна размещивали на быстроходной мешалке, добавляли сульфат алюминия, а для создания требуемого рН 8,5...9,0 – 1н раствор едкого натра.

В *первой серии* опытов изучали влияние массы  $1 \text{ м}^2$  на фильтрующие и прочностные свойства образцов из изучаемых минеральных волокон. Массу  $1 \text{ м}^2$  изменяли от 100 до 500 г. Известно [2, 4], что фильтрующие свойства бумаги из растительных волокон сильно зависят от ее плотности, поэтому плотность образцов поддерживали постоянной, на уровне  $(0,25 \pm 0,02) \text{ г/см}^3$ . Исходя из технических возможностей ЛОА-2 и для исключения влияния способа изготовления на исследуемые параметры образцы отливали двухслойными.

Подготовку к испытаниям и определение фильтрующих и прочностных свойств образцов при изменении массы  $1 \text{ м}^2$  осуществляли по требованиям соответствующих стандартов. Полученные результаты представлены в табл. 1.

Анализ данных, приведенных в табл. 1, показывает, что увеличение

массы  $1 \text{ м}^2$  и уменьшение диаметра стеклянных и каолиновых волокон закономерно приводят к снижению воздухопроницаемости и коэффициента проскока частиц масляного тумана, а также к повышению прочности образцов. Более детальный количественный анализ наблюдаемых закономерностей позволяет установить следующее. При увеличении массы  $1 \text{ м}^2$  образцов в 5 раз воздухопроницаемость понижается всего в 1,5–2 раза. Примерно на эту величину воздухопроницаемость образцов падает и при уменьшении диаметра волокон от 15,0 до 0,2 мкм. Необходимо отметить, что коэффициент проскока  $K$  аэрозольных частиц снижается в указанных условиях практически на три порядка – от  $10 \cdot 10^{-6}$  до  $13 \cdot 10^{-3}$  %. Такого повышения задерживающей способности при изменении изучаемых факторов не наблюдается у фильтровальных материалов из растительных волокон, предназначенных для очистки воздуха в машиностроении [2, 4]. Видимо, это объясняется различием в механизмах задержания аэрозольных частиц фильтрами из минеральных волокон и значительно более крупных частиц пыли фильтрами из растительных волокон.

При изменении указанных факторов прочность достигала максимального (0,58 МПа) значения у образцов с массой  $1 \text{ м}^2$  500 г из микротонких стеклянных волокон, минимального (0,18 МПа) – у образцов массой  $1 \text{ м}^2$  100 г из грубых стеклянных волокон, т. е. она повышалась почти в 4 раза. При этом решающий вклад в это изменение внесло увеличение массы  $1 \text{ м}^2$  образцов от 100 до 500 г, значительно меньше повлияло снижение диаметра волокон от 15,0 до 0,2 мкм.

Отдельно рассмотрим результаты испытаний образцов из базальтового волокна, полученного более дешевым

Таблица 1

**Влияние массы 1 м<sup>2</sup> на свойства бумагоподобных композитов  
из различных минеральных волокон**

Минеральные волокна (диаметр)	Масса 1 м <sup>2</sup> , г	Воздухопроницаемость (при $\Delta P = 2$ мбар), л/(м <sup>2</sup> ·с)	Коэффициент проскока $K \cdot 10^{-6}$ , %	Сопротивление разрыву, МПа
Стеклённые				
Грубые (15,0 мкм)	107	2250	1300	0,18
	205	1940	980	0,28
	308	1560	680	0,33
	410	1390	460	0,38
	510	1180	240	0,45
Супертонкие (2,0 мкм)	100	1620	143	0,24
	208	1320	135	0,26
	315	1180	100	0,38
	412	985	65	0,43
	508	850	37	0,49
Ультратонкие (0,7 мкм)	102	1320	100	0,28
	200	1100	85	0,38
	301	950	50	0,44
	400	865	30	0,47
	503	790	22	0,50
Микротонкие (0,2 мкм)	105	1110	95	0,26
	206	988	75	0,40
	309	860	42	0,45
	404	790	24	0,53
	500	748	10	0,58
Каолиновые				
Супертонкие (2,0 мкм)	103	1410	125	0,21
	212	1280	108	0,25
	298	1000	85	0,34
	409	885	59	0,42
	509	820	30	0,46
Ультратонкие (0,8 мкм)	95	1250	98	0,28
	211	1190	89	0,33
	312	911	60	0,44
	415	866	28	0,55
	499	800	24	0,56
Базальтовые				
Супертонкие (2,0 мкм)	98	650	380	0,07
	195	600	312	0,12
	310	530	295	0,15
	414	430	220	0,20
	512	390	200	0,25
Супертонкие очищенные (2,0 мкм)	108	1210	160	0,18
	200	1000	140	0,20
	300	880	111	0,22
	400	820	72	0,34
	505	740	48	0,40

центробежным способом, что приводит к образованию большого (до 30 %) количества так называемых «корольков». Как свидетельствуют данные табл. 1, эти включения существенно снижают фильтрующие и прочностные свойства образцов. После удаления вручную этих образований фильтрующие свойства и прочность образцов из супертонких базальтовых волокон, как и характер их изменения с ростом массы  $1 \text{ м}^2$ , становятся аналогичными образцам из супертонких стеклянных и

каолиновых волокон. Поскольку ручной способ очистки базальтовых волокон не приемлем для производства, в дальнейших опытах их не использовали.

Во *второй серии* опытов изучали влияние изменения плотности образцов на их фильтрующие и прочностные свойства. Масса  $1 \text{ м}^2$  составляла 200 г. Минимально возможная плотность получена путем сушки отливок на горке при  $t = 125 \text{ }^\circ\text{C}$  и поднятой прижимной сетке. Результаты испытаний образцов представлены в табл. 2.

Таблица 2

**Влияние плотности на свойства бумагоподобных композитов из различных минеральных волокон**

Минеральные волокна (диаметр)	Плотность, $\text{г/см}^3$	Воздухопроницаемость (при $\Delta P = 2$ мбар), $\text{л}/(\text{м}^2 \cdot \text{с})$	Коэффициент проскока $K \cdot 10^{-3}$ , %	Сопротивление разрыву, МПа
Стеклянные				
Грубые (15,0 мкм)	0,05	7 520	8 560 000	0,08
	0,10	5 600	650 800	0,14
	0,16	3 540	42 500	0,18
	0,22	2 310	2 990	0,20
	0,26	1 810	890	0,26
Супертонкие (2,0 мкм)	0,06	5 990	800 000	0,10
	0,12	4 350	93 800	0,15
	0,15	2 200	11 900	0,19
	0,20	1 550	9 500	0,26
	0,28	1 300	130	0,28
Ультратонкие (0,7 мкм)	0,07	5 300	120 500	0,10
	0,10	4 110	50 900	0,15
	0,15	2 000	6 000	0,22
	0,24	1 490	960	0,25
	0,26	1 190	85	0,28
Микротонкие (0,2 мкм)	0,05	4 950	90 100	0,11
	0,11	3 820	12 500	0,13
	0,15	2 120	9 500	0,27
	0,22	2 000	158	0,34
	0,27	1 900	64	0,42
Каолиновые				
Супертонкие (2,0 мкм)	0,07	5 550	604 000	0,10
	0,12	4 280	120 300	0,17
	0,17	2 710	30 000	0,20
	0,23	1 680	9 800	0,26
	0,25	1 200	100	0,32
Ультратонкие (0,8 мкм)	0,06	4 240	98 050	0,12
	0,12	3 300	25 000	0,18
	0,17	2 200	9 500	0,22
	0,21	1 350	760	0,29
	0,25	1 000	83	0,36

Проанализировав результаты, приведенные в табл. 2, необходимо отметить, что повышение плотности образцов существенно увеличивает их прочность с одновременным снижением воздухопроницаемости и коэффициента проскока. Уменьшение диаметра волокон от 15,0 до 0,2 мкм приводит к незначительному, примерно на 20 %, повышению плотности образцов, высушенных без давления. Однако фильтрующие свойства и прочность отливок значительно больше зависят от диаметра волокон. Так, воздухопроницаемость этих образцов снижается в 1,8 раза, коэффициент проскока уменьшается почти на порядок, а прочность повышается на 25 %.

Повышение плотности образцов до 0,25...0,27 г/см<sup>3</sup> привело к снижению воздухопроницаемости в 4–5 раз и коэффициента проскока на 3–4 порядка при одновременном увеличении прочности в 3–4 раза.

Обобщая полученные в ходе экспериментов закономерности, отметим следующее.

1. Показано, что, изменяя массу 1 м<sup>2</sup>, плотность, диаметр и природу минеральных волокон, можно получить бумагоподобные композиты с широким спектром фильтрующих свойств и прочности.

2. Изменение массы 1 м<sup>2</sup> от 100 до 500 г снижает воздухопроницаемость в 1,5–2 раза, коэффициент проскока частиц масляного тумана – на 3 порядка при возрастании прочности образцов почти в 4 раза.

3. Повышение плотности отливок от 0,50...0,70 до 0,25...0,27 г/см<sup>3</sup> снижает воздухопроницаемость в 4–5 раз, коэффициент проскока на 3–4 порядка при увеличении прочности образцов в 3–4 раза.

Таким образом, по эффективности воздействия на изучаемые свойст-

ва переменные факторы в порядке убывания можно расположить в следующей ряд: плотность, масса 1 м<sup>2</sup>, диаметр волокна, природа волокна.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Дубовый В.К.* Бумагоподобные композиционные материалы на основе минеральных волокон: Дис. ... д-ра техн. наук. СПб, 2006. 370 с.
2. *Канарский А.Н.* Фильтровальные виды бумаги и картона. М.: Экология, 1991. 272 с.
3. *Кириш А.А.* Моделирование и расчет аэрозольных волокнистых фильтров: Автореф. дис. ... д-ра хим. наук. М., 1977. 33 с.
4. *Пузырев С.А.* Бумага и картон как фильтрующие материалы. М.: Лесн. пром-сть, 1970. 86 с.
5. *Уайт П., Смит С.* Высокоэффективная очистка воздуха. М.: Атомиздат, 1967. 312 с.

Поступила 18.04.2011

*V.K. Dubovy<sup>1</sup>, D.P. Markeev<sup>2</sup>, N.V. Sysoeva<sup>3</sup>*

<sup>1</sup> Saint-Petersburg State Technological University of Plant Polymers

<sup>2</sup>JSC Gatchina Pilot Plant of Paper-making Equipment

<sup>3</sup>Northern (Arctic) Federal University

#### **Effect of 1 m<sup>2</sup> Mass and Density on Properties of Papery Filter Materials from Different Mineral Fibers**

It is established that increase of 1m<sup>2</sup> mass and density as well as decrease of fiber diameter allows to decrease air permeability in 2 – 5 times, increase strength in 3 – 4 times and decrease the particles overshoot coefficient of oil mist by 3 – 4 units. It is shown that it is possible to get composites with broad spectrum of filtering properties and strength under these conditions without changing composition.

Keywords: paper, mineral fibers, mineral-fiber composites, filter materials, density, mineral fibers size, air permeability, overshoot coefficient, strength.

УДК 676.017

**В.К. Дубовый<sup>1</sup>, Д.П. Маркеев<sup>2</sup>, Н.В. Сысоева<sup>3</sup>**

<sup>1</sup>С.-Петербургский государственный технологический университет растительных полимеров

<sup>2</sup>ОАО Гатчинский опытный завод бумагоделательного оборудования

<sup>3</sup>Северный (Арктический) федеральный университет

## **ВЛИЯНИЕ МАССЫ 1 м<sup>2</sup> И ПЛОТНОСТИ НА СВОЙСТВА БУМАГОПОДОБНЫХ ТЕПЛО- И ШУМОИЗОЛЯЦИОННЫХ МАТЕРИАЛОВ ИЗ РАЗЛИЧНЫХ МИНЕРАЛЬНЫХ ВОЛОКОН**

Установлено, что повышение массы 1 м<sup>2</sup> и плотности, а также снижение диаметра волокон позволяет, не меняя композиции, получать широкую гамму изолирующих материалов при снижении коэффициента теплопотерь в 2,5–4,0 раза, повышении коэффициента звукопоглощения и прочности соответственно в 1,5–5,0 и 1,3–3,5 раза.

*Ключевые слова:* бумага, минеральные волокна, минерально-волокнистые композиты, термо- и шумоизоляция, плотность, размеры минеральных волокон, коэффициент теплопотерь, коэффициент поглощения звука, прочность.

Современные тепло- и шумоизоляционные материалы на 80...100 % состоят из минеральных волокон (стеклянных, базальтовых, кварцевых, каолиновых и др.). Обычно их изготавливают в виде холстов, матов или ткани на специальном оборудовании, а затем подвергают пропитке или другой обработке специальными смолами для увеличения прочности [5]. К недостаткам таких технологий и материалов относятся низкая производительность оборудования, неравномерность и нестабильность основных потребительских свойств по рабочей площади изоляторов. Это обусловлено невозможностью получения изолирующих материалов равномерной плотности и ее снижение в процессе эксплуатации. В качестве упрочняющих добавок обычно используют органические смолы, которые ограничивают возможность применения этих материалов в тяжелых условиях, т. е. теряется их основное преимущество – высокая (до 1000 °С и более) термостойкость. Для устранения этого недостатка в качестве ис-

ходного сырья при производстве термозащитных плит для внешней поверхности космических челноков применяют очень дорогие волокна, обладающие свойством абляции, т. е. переходом из твердого состояния в газообразное без теплопередачи внутри материала [5]. Изготавливают эти плиты методами мокрого формования на специальном оборудовании.

В последнее время за рубежом тепло- и шумоизоляционные минерально-волокнистые композиты изготавливают значительно более экономичными методами бумажного производства на машинах с наклонным сеточным столом при концентрации от 0,050 до 0,001 %, что обеспечивает получение бумагоподобного материала с очень равномерной структурой из минеральных волокон длиной 5...10 мм [6]. Помимо того, что эти материалы получают на высокопроизводительных БДМ, они обладают равномерными и стабильными в процессе эксплуатации потребительскими свойствами, а также высокотехнологичны при переработке.

Это позволяет достигать требуемой толщины и объема изолятора не только за счет сложения необходимого количества слоев бумагоподобного материала, но и изготовления из него высокопрочных тепло- и шумоизоляторов в виде «сотовых» конструкций [7].

При этом чрезвычайно важен, с позиции достижения требуемых свойств материала, правильный выбор минерального волокна и связующего, которые дают ему возможность работать длительное время как в простых, так и в тяжелых условиях, прежде всего при высокой температуре.

Наибольший интерес представляют стеклянные и, особенно, жаростойкие алюмосиликатные (каолиновые) волокна. Последние обладают высокой химической стойкостью и хорошими тепло- и шумоизоляционными свойствами, сохраняющимися при температуре более 1000 °С. За рубежом для этих целей применяют аналогичные алюмосиликатные волокна, близкие по составу к каолиновым и известные под торговыми марками «каовул» и «файберфакс» [5].

Безусловно заслуживают внимания базальтовые волокна, более дешевые и жаростойкие по сравнению со стеклянными. Однако ранее [2] установлено, что их нельзя использовать без замены центробежного способа изготовления на дутьевой, который предотвращает образование «корольков», резко ухудшающих прочность и другие свойства бумагоподобного композита.

В качестве неорганического связующего, позволяющего не только повышать прочность бумагоподобных минерально-волоконистых композитов, но и работать им при высоких температурах, наибольший интерес представляют дешевые и доступные соеди-

нения алюминия. Например, в процессе воздействия алюмината натрия или сульфата алюминия на продукты гидролиза (соответственно кислоты или щелочи до pH 8,5...9,5) образуются сложные полиядерные комплексы. Они способны к координационному взаимодействию с доступными ОН-группами, в том числе с расположенными на гидрофильной поверхности минеральных волокон, способствуя тем самым образованию дополнительных координационных связей между волокнами [1].

Результаты предварительных опытов [3, 4] показали, что материалы из минеральных волокон обладают высокими тепло- и шумоизоляционными свойствами даже при добавке в композицию 10...15 % макулатуры. Вместе с тем, для отработки технологии получения минерально-волоконистых материалов весьма важно количественно оценить влияние на изолирующие и прочностные свойства различных факторов, прежде всего таких основополагающих, как масса 1 м<sup>2</sup>, плотность и диаметр волокон, поскольку их влияние хорошо изучено только для изолирующих видов бумаги и картона из растительных волокон [8].

В качестве исходного сырья применяли штапельные стеклянные волокна диаметром от 0,2 до 15,0 мкм и штапельные каолиновые волокна диаметром 0,8 и 2,0 мкм. Длина волокон составляла 5...7 мм. Полиядерные комплексы для упрочнения образцов получали непосредственно в массе перед отливом из алюмината натрия путем добавки 0,1 н соляной кислоты до достижения pH 8,5...9,5. Расход алюмината натрия в пересчете на оксид алюминия составлял 40 % от массы волокон.

Таблица 1

Влияние массы  $1 \text{ м}^2$  на основные свойства образцов из различных минеральных волокон

Минеральные волокна (диаметр)	Масса $1 \text{ м}^2$ , г	Коэффициент теплопотерь $K_{т.п.}$ , %	Коэффициент поглощения звука $K_{з.п.}$ , %, при частоте, Гц			Сопротивление разрыву, МПа
			50	5 000	15 000	
Стекланные						
Грубые (15,0 мкм)	100	0,70	0,28	0,38	0,52	0,18
	200	0,56	0,30	0,45	0,55	0,28
	305	0,45	0,32	0,52	0,66	0,40
	405	0,25	0,36	0,59	0,69	0,45
	511	0,15	0,37	0,65	0,72	0,59
Супертонкие (2,0 мкм)	103	0,48	0,31	0,41	0,56	0,26
	205	0,40	0,32	0,48	0,62	0,35
	305	0,30	0,33	0,56	0,67	0,48
	408	0,20	0,39	0,66	0,75	0,59
	513	0,12	0,42	0,71	0,79	0,68
Ультратонкие (0,7 мкм)	106	0,40	0,34	0,48	0,55	0,29
	210	0,35	0,36	0,55	0,62	0,43
	308	0,25	0,40	0,62	0,72	0,46
	400	0,19	0,48	0,69	0,79	0,60
	505	0,10	0,48	0,75	0,88	0,78
Микротонкие (0,2 мкм)	102	0,31	0,36	0,52	0,65	0,28
	203	0,28	0,42	0,58	0,70	0,40
	300	0,23	0,45	0,63	0,76	0,55
	400	0,12	0,50	0,69	0,85	0,65
	502	0,08	0,54	0,74	0,88	0,80
Каолиновые						
Супертонкие (2,0 мкм)	101	0,39	0,29	0,40	0,53	0,22
	208	0,33	0,33	0,48	0,62	0,33
	305	0,23	0,38	0,58	0,67	0,45
	405	0,13	0,40	0,65	0,76	0,60
	506	0,07	0,43	0,69	0,83	0,68
Ультратонкие (0,8 мкм)	95	0,33	0,30	0,46	0,57	0,33
	205	0,25	0,36	0,53	0,61	0,43
	300	0,15	0,39	0,59	0,70	0,56
	405	0,11	0,42	0,66	0,78	0,65
	511	0,05	0,48	0,73	0,85	0,78

Все образцы бумагоподобных материалов изготавливали двухслойными на листоотливном аппарате ЛОА-2 при концентрации 0,05 %. Прессование вели между двух сукон. Сушку осуществляли на горке или цилиндре при температуре  $125 \text{ }^\circ\text{C}$ .

В первой серии опытов изучали влияние массы  $1 \text{ м}^2$ , изменяемой от 100 до 500 г, на изолирующие свойства образцов плотностью  $(0,25 \pm 0,02) \text{ г/см}^3$ .

Коэффициенты звукопоглощения  $K_{з.п.}$  и теплопотерь  $K_{т.п.}$  определяли в СПб НИИ охраны труда по принятым

там методикам, остальные показатели – по государственным стандартам.

Известно [5], что  $K_{з,п}$  зависит от частоты звуковых колебаний и возрастает с их увеличением. Поэтому с теоретической и прикладной точек зрения представляло интерес определить  $K_{з,п}$  в широком диапазоне – от низких (50 Гц) до высоких (15 000 Гц) частот

колебаний звука. Результаты испытаний представлены в табл. 1.

Данные табл. 1 свидетельствуют о закономерном увеличении прочности, коэффициента поглощения звука и снижении коэффициента теплопотерь при повышении массы  $1 \text{ м}^2$  и уменьшении диаметра волокон.

Таблица 2

**Влияние плотности на основные свойства образцов из различных минеральных волокон**

Минеральные волокна (диаметр)	Плотность, г/см <sup>3</sup>	Коэффициент теплопотерь $K_{т.п.}$ , %	Коэффициент поглощения звука $K_{з.п.}$ , %, при частоте, Гц			Сопротивление разрыву, МПа
			50	5 000	15 000	
Стеклянные						
Грубые (15,0 мкм)	0,05	0,20	0,40	0,60	0,73	0,09
	0,08	0,28	0,39	0,58	0,75	0,10
	0,15	0,40	0,34	0,53	0,69	0,18
	0,21	0,47	0,33	0,52	0,65	0,23
	0,25	0,58	0,32	0,48	0,58	0,27
Супертонкие ( 2,0 мкм)	0,07	0,15	0,42	0,63	0,80	0,12
	0,09	0,16	0,40	0,60	0,78	0,16
	0,18	0,25	0,39	0,58	0,70	0,23
	0,23	0,33	0,37	0,53	0,68	0,31
	0,28	0,39	0,35	0,49	0,60	0,38
Ультратонкие (0,7 мкм)	0,07	0,11	0,46	0,68	0,85	0,14
	0,10	0,12	0,44	0,65	0,80	0,21
	0,18	0,19	0,43	0,61	0,75	0,35
	0,21	0,25	0,42	0,56	0,68	0,40
	0,26	0,30	0,38	0,53	0,65	0,42
Микротонкие (0,2 мкм)	0,08	0,08	0,60	0,84	0,96	0,15
	0,09	0,10	0,56	0,77	0,91	0,20
	0,15	0,16	0,52	0,72	0,82	0,29
	0,19	0,22	0,43	0,66	0,76	0,38
	0,26	0,26	0,40	0,56	0,70	0,44
Каолиновые						
Супертонкие (2,0 мкм)	0,06	0,09	0,45	0,61	0,82	0,12
	0,11	0,09	0,43	0,58	0,78	0,16
	0,16	0,18	0,39	0,55	0,72	0,23
	0,22	0,23	0,36	0,51	0,67	0,31
	0,25	0,30	0,33	0,44	0,61	0,35
Ультратонкие (0,8 мкм)	0,07	0,06	0,48	0,67	0,85	0,15
	0,12	0,08	0,44	0,63	0,80	0,19
	0,15	0,12	0,42	0,61	0,76	0,33
	0,21	0,18	0,39	0,58	0,68	0,38
	0,24	0,23	0,35	0,52	0,65	0,41

Следует отметить, что применение в качестве связующего алюмината натрия в 1,4–1,5 раза эффективнее, чем сульфата алюминия [2]. Это хорошо согласуется с полученными ранее данными о влиянии природы соединений алюминия на прочность минерально-волоконистых композитов [1].

Повышение массы  $1 \text{ м}^2$  в изученных пределах увеличило сопротивление разрыву в 3–3,5 раза, а изменение диаметра стеклянных волокон от 15,0 до 0,2 мкм – прочность образцов (в зависимости от их массы) в 1,3–1,6 раза. Одновременно у образцов из стеклянных волокон  $K_{т.п}$  снижается в 4–5 раз, а из каолиновых волокон – примерно в 6 раз. При этом  $K_{т.п}$  у последних на 20...25 % ниже, чем у образцов из стеклянных волокон, что объясняется их различной теплопроводностью. Понижение диаметра стеклянных волокон от 15,0 до 0,2 мкм снижает  $K_{т.п}$  примерно в 2 раза.

Увеличение массы  $1 \text{ м}^2$  образцов в 5 раз повышает  $K_{з.п}$ , например, для средних частот в 1,3–1,5 раза независимо от природы волокон. Уменьшение диаметра стекловолокна от 15,0 до 0,2 мкм также повышает  $K_{з.п}$  в 1,3–1,4 раза.

Во второй серии опытов изучали влияние плотности на изоляционные и прочностные свойства образцов массой  $1 \text{ м}^2$  200 г из минеральных волокон различной природы и диаметра. Результаты экспериментов представлены в табл. 2.

Характер наблюдаемых закономерностей изменения свойств образцов из изучаемых волокон под влиянием повышения плотности (табл. 2) аналогичен характеру влияния роста массы  $1 \text{ м}^2$  отливок (см. табл. 1).

Количественные оценки их влияния на  $K_{т.п}$ ,  $K_{з.п}$  и прочность выглядят следующим образом. Повыше-

ние плотности образцов от 0,05...0,08 до 0,24...0,28 г/см<sup>3</sup> снизило  $K_{т.п}$  в 3–4 раза, т. е. практически, в прямой пропорции, но несколько меньше, чем увеличение массы  $1 \text{ м}^2$  от 100 до 500 г.

Изменения плотности и массы  $1 \text{ м}^2$  образцов повысили  $K_{з.п}$  в 1,3–1,5 раза, а прочность в 1,3–1,5 раза. Снижение диаметра стеклянных волокон от 15,0 до 0,2 мкм увеличило  $K_{з.п}$  в 1,3–1,5 раза, а прочность в 1,6–1,8 раза, при этом  $K_{т.п}$  уменьшилось в 2,2–2,6 раза.

В заключение можно отметить, что в изученных пределах и при прочих равных условиях на  $K_{т.п}$  несколько большее влияние оказывают повышение массы  $1 \text{ м}^2$  и, соответственно, толщины образца, чем его плотность, тогда как на  $K_{з.п}$  влияние указанных факторов примерно одинаково. Снижение диаметра стеклянных волокон от 15,0 до 0,2 мкм повышает  $K_{т.п}$  и  $K_{з.п}$  в 2–2,5 раза, однако следует учитывать, что при этом стоимость 1 т волокна возрастает на порядок.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Дубовый В.К. Бумагоподобные композиционные материалы на основе минеральных волокон: Дис. ... д-ра техн. наук. СПб.: СПбГЛТА, 2006. 370 с.
2. Дубовый В.К., Маркеев Д.П., Сысоева Н.В. Влияние массы  $1 \text{ м}^2$  и плотности на свойства бумагоподобных фильтровальных материалов из различных минеральных волокон // Лесн. журн. 2011. № 3. С. 111–116. (Изв. высш. учеб. заведений).
3. Дубовый В.К., Чижов Г.И. Высокоэффективные шумопоглощающие материалы из каолиновых волокон и бумажной макулатуры // Развитие ресурсосберегающих технологий производства бумаги и картона из вторичного волокнистого сырья: Тр. 4-й Междунар. науч.-техн. конф., 21–23 мая 2003. Караваево, 2003. С. 76–77.
4. Дубовый В.К., Чижов Г.И., Князев А.Ю. Применение макулатуры в композиции технических видов картона из минеральных волокон // Создание конкурентноспособного оборудования и технологий для

изготовления бумажно-картонной продукции из вторичного волокнистого сырья: Тр. 3-й Междунар. науч.-техн. конф. Каравеево-Правдинский, 2002. С. 94–97.

5. *Дубовый В.К.* Стекланные волокна. Свойства и применение. СПб.: Изд-во «Нестор», 2003. 130 с.

6. *Канарский А.В.* Фильтровальные виды бумаги и картона для промышленных технических процессов. М.: Экология, 1991. 272 с.

7. *Каролл-Порчинский Ц.* Материалы будущего. М.: Химия, 1996. 180 с.

8. *Фляте Д.М.* Свойства бумаги. СПб.: НПО «Мир и семья», 1999. 380 с.

Поступила 18.04.11

*V.K. Dubov<sup>1</sup>, D.P. Markeev<sup>2</sup>, N.V. Sysoeva<sup>3</sup>*

<sup>1</sup>Saint-Petersburg State Technological University of Plant Polymers

<sup>2</sup>JSC Gatchina Pilot Plant of Paper-making Equipment

<sup>3</sup>Northern (Arctic) Federal University

### **Effect of 1 m<sup>2</sup> Mass and Density on Properties of Papery Heat- and Noise-Insulating Materials from Different Mineral Fibers**

It is established that the increase of 1m<sup>2</sup> mass and density as well as the decrease of fiber diameter allows to obtain the wide range of insulating materials without changing composition at the decrease of heat loss coefficient in 2.5 – 4.0 times, increase of sound absorption and strength coefficient in 1.5 – 5.0 and 1.3 – 3.5 times accordingly.

Keywords: paper, mineral fibers, mineral-fiber composites, heat-noise insulation, density, mineral fibers size, heat loss coefficient, sound absorption coefficient, strength.



УДК 005.342

**Н.М. Горбов, Н.В. Серебряков**

Брянский государственный университет

Горбов Николай Михайлович родился в 1949 г., окончил в 1973 г. Белорусскую сельскохозяйственную академию, доктор экономических наук, профессор, заведующий кафедрой управления, декан финансово-экономического факультета Брянского государственного университета, действительный член АНСТИМС, член-корреспондент РАН, МАИ. Имеет 80 печатных работ по проблемам социального управления.  
Тел.: 8 (4832) 64-34-82



Серебряков Николай Вячеславович родился в 1974 г., окончил в 1999 г. Брянскую государственную сельскохозяйственную академию, аспирант кафедры управления Брянского государственного университета, ведущий специалист департамента экономики, инвестиций и промышленной политики администрации г. Твери. Имеет 10 печатных работ в области управления предприятиями малого бизнеса ЛПК.  
E-mail: corsarN@yandex.ru



## ИННОВАЦИОННОЕ УПРАВЛЕНИЕ РАЗВИТИЕМ МАЛЫХ ПРЕДПРИЯТИЙ ЛПК

Показано, что в современных условиях важным направлением развития малых предприятий ЛПК в целях повышения финансово-экономических результатов, является инновационное управление, основанное на деятельности модели.

*Ключевые слова:* инновации, управление, малые предприятия, деятельность модель.

Последний финансовый кризис усложнил проблему инновационного развития России. Вместе с тем он объективно вынуждает и государство, и хозяйствующие субъекты трансформировать их экономическую деятельность [1]. Основой решения данной задачи должно быть инновационное развитие. В нем особая роль принадлежит малым предприятиям, которые более гибко реагируют на изменения внешней среды.

Высокой эффективности инновационных технологий для малых предприятий способствует большая «живучесть» в трудных условиях рыночной экономики, что позволяет им быть устойчивыми и долговременными потребителями прогрессивных технологий [3]. В связи с небольшими объемами производства риск потерь, вызываемых переходом к новым техноло-

гиям, относительно невелик. Инновации, реализуемые в отдельных производственных звеньях малого производства, не требуют крупных финансовых затрат. Оперативность управления малыми предпринимательскими структурами помогает быстро совершенствовать и внедрять технологии [2].

В лесопромышленном комплексе наиболее острой проблемой малых предприятий, по нашему мнению, является неэффективность системы управления, низкий уровень квалификации менеджеров и персонала, несовершенство организационной структуры предприятия [5].

Инновационное управление должно стать основным направлением развития малых лесопромышленных предприятий. Ни одна организация или предприятие не могут добиться успеха без управления. Вряд ли мы сможем

соревноваться с западными странами в искусстве достижения цели их способами. Да это нам и не нужно. Знать американский менеджмент надо, но лишь для того, чтобы уметь сотрудничать и, что самое главное, противостоять попыткам Запада извлечь выгоду для себя. Надо изучать и японское управление. Русская культура принципиально отличается от западной и восточной, синтезируя противоположные черты. В России на протяжении многих веков происходил тот самый процесс интеграции учений Запада и Востока, без которого невозможно мировое единение стран. Но было бы ошибкой утверждать, что Россия механически что-то наследует от США, а что-то от Японии и Китая. Нет, она рождает свое новое, прогрессивное, российское [4].

Категория «модель управления» является одной из ключевых в науке управления. Это обусловлено тем, что любой руководитель задается вопросами: как управлять вверенным объектом, какой арсенал управленческих стратегий, рычагов и технологий использовать, чтобы эффективно решать стоящие перед ним задачи.

Еще Ф. Тейлор утверждал, что модель управления – это не изобретение, а эволюция. Она должна быть «родной», органичной и соответствовать культуре, традициям страны, в которой прививается [4]. Модель управления имеет сложную структуру, элементы которой по-разному влияют на идентификационные (сущностные) признаки, но, будучи взаимосвязанными и взаимозависимыми, обуславливают не только прямое, но и синергетическое воздействие на ее эффективность.

Мы предлагаем разрабатывать модели на основе экономической теории, учитывая теорию экономической деятельности, которая отражает, во-первых, взаимоотношения человека и

природы, во-вторых – людей между собой в процессе хозяйственной деятельности, в третьих – взаимосвязанность всех факторов экономического процесса. Основой функционирования организации является деятельность объединенных в ней людей. Поэтому деятельностная модель вполне приемлема не только для одного человека, но и для организации (интегрированного формирования).

Согласно этой модели деятельность есть человеческое (7) целесообразное (1) воздействие (2) орудием труда (3) на предмет труда (4), превращаемый (5) в продукт (6) для удовлетворения потребности (1) человека (7). Основанная на данной схеме модель предприятия представлена на рисунке. В ней показаны следующие элементы:

1) потребность, цель – обуславливается уровнем потребностей, целеполагания участников организации;

2) труд (действие, движение) – характеризуется уровнем знаний, способностей, квалификацией (качеством умственных и физических движений людей);

3) орудие труда – определяется уровнем обеспеченности основными средствами производства;

4) предмет труда – характеризуется состоянием сырьевой базы, количеством и качеством поступающих в обработку материалов;

5) преобразование (технологические операции) – обуславливается уровнем применяемых технологий, степенью соблюдения технологических требований;

6) готовая продукция – характеризуется потребительскими свойствами производимой продукции, т. е. ассортиментом, качеством выпускаемой продукции, уровнем маркетинга;

7) персонал организации (люди) – образует социальную среду хозяйствующего субъекта;



Содержательная модель предприятия, основанная на схеме деятельности

8) информация системы управления – определяется качеством информационного обеспечения функционирования организации;

9) внешняя среда организации – характеризуется составляющими элементами экономического пространства, с уровнем их освоения.

Элементы 1–6 образуют внутреннюю среду организации.

Взаимодействие элементов способно привести к возникновению экономического процесса организации, определяющегося уровнем искусства хозяйствования.

Проведенная на 31 лесопромышленном малом предприятии Брянской области экспертная оценка по модели показала, что уровень совершенства внутренней среды малых предприятий ЛПК составляет 59 %. Самыми проблемными оказались 2-й и 5-й элементы внутренней среды организации. Низкий уровень профессионализма и несоблюдение требований к осуществлению технологических операций приводят к недоиспользованию материальных ресурсов предприятия.

В таблице приведена группировка предприятий по элементам уровня

совершенства внутренней среды. Как видим, уровень труда (26 организаций, или 84 %), применяемых технологий (17 организаций, 55 %) имеют оценку 2 балла, обеспеченность основными фондами (27 организаций, 87 %) – 3 балла, материально-сырьевыми ресурсами (31 предприятие, 100 %) – 5 баллов. Выпускаемая малыми предприятиями готовая продукция (29 организаций, 93 %) имеет оценку 1 балл.

#### Группировка показателей уровня совершенства внутренней среды малых предприятий ЛПК

Группа	Балл				
	1	2	3	4	5
1	0	0	0	13	18
2	0	26	5	0	0
3	0	0	27	4	0
4	0	0	0	0	31
5	9	17	5	0	0
6	29	2	0	0	0

Организации с уровнем состояния внутренней среды более 60 % (ООО «Брянские окна» (73 %), ООО «Дарина» (63 %), ООО «Мегамебель» (63 %), ООО «33 Дуба» (67 %), ООО «Лесэкспо» (67 %), ООО «Мегаполис» (70 %) рентабельны (19 %), с показателем менее 60 % – убыточны.

Таким образом, путь инновационного развития малых предприятий ЛПК видится в повышении уровня труда (мастерство, опыт, профессионализм, уровень знаний) и применяемых технологий. Это позволит повысить уровень внутренней среды организаций, стабилизировать их экономическую деятельность и обеспечит предпосылки для быстрого и устойчивого подъема.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Александрова А.А.* Кризис и малый бизнес, ориентированный на науку // Российское предпринимательство. 2009. № 5 (1). С. 4–11.
2. *Волкова А.А.* Инновационный центр для малого предпринимательства // Там же. 2009. № 4 (1). С. 40–44.
3. *Галиева А.Ю.* Как сделать свой бизнес инновационным? // Там же. 2009. № 6 (2). С. 24–30.

4. *Горбова Т.М.* Управление без ошибок / Акад. наук социал. технологий и местн. самоуправления. М.: Муниципальный мир, 2006. С. 247–255.

5. *Кучуков Р.* Роль государства в формировании инновационной экономики // Вопросы экономики. 2009. № 6. С. 3–12.

Поступила 19.03.10

*N.M. Gorbov N.V. Serebryakov*  
Bryansk State University

#### **Innovation Management of Small Enterprises Development in Forest Industry**

It is shown that the innovation management based on the activity model is the important direction of small enterprises development in forest industry aimed at enhancing the financial-economic results.

Keywords: innovations, management, small enterprises, activity model.

УДК 339.543

**Ю.В. Кузминых<sup>1</sup>, Ю.К. Богачев<sup>2</sup>**<sup>1</sup>С.-Петербургский имени В.Б. Бобкова филиал Российской таможенной академии<sup>2</sup>УБЭП ГУВД по г. С.-Петербургу и Ленинградской области

Кузминых Юлия Валерьевна родилась в 1967 г., окончила в 1989 г. Ленинградскую лесотехническую академию, доктор экономических наук, доцент, заведующий кафедрой международных экономических отношений С.-Петербургского имени В.Б. Бобкова филиала Российской таможенной академии.

Тел.: 8-921-912-97-29:

Богачев Юрий Константинович родился в 1970 г., окончил в 2002 г. Ленинградский государственный университет, в 2007 г. Российский университет дружбы народов, сотрудник УБЭП ГУВД по г. С.-Петербургу и Ленинградской области. Имеет 3 печатные работы в области экономики и управления лесным хозяйством.  
E-mail: ubogachev@rambler.ru



## ГОСУДАРСТВЕННОЕ РЕГУЛИРОВАНИЕ ЛЕСНОГО ЭКСПОРТА В РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

Рассмотрены динамика объемов производства и место лесной промышленности России на мировом рынке, таможенная политика государства в сфере экспорта лесных товаров, проблемы развития деревообрабатывающих и целлюлозно-бумажных производств внутри страны.

*Ключевые слова:* мировой лесной рынок, лесной экспорт, государственное регулирование, таможенные пошлины.

Лесная промышленность России на протяжении многих десятилетий являлась одной из ведущих отраслей российской экономики. Спад производства в 1990 гг., характерный для всей национальной экономики, удалось преодолеть после финансового кризиса 1998 г. В период 1999–2007 гг. наблюдался рост и стабилизация производства основных видов продукции отрасли, что наглядно видно на рис. 1 и 2 (данные Федеральной службы государственной статистики <http://www.gks.ru>). Опережающие темпы роста по сравнению с остальными видами продукции имела заготовка древесины (в среднем 6 % в год). Такая ситуация была непосредственно связана с ориентированностью лесозаготовительного производства на экспорт. В 2008 г. произошло снижение объемов производства (за исключением бумаги газетной), основной причиной которого стал экономический кризис, охвативший все страны и все отрасли хозяйства. В 2009–2010 гг. тен-

денции к снижению объемов лесопромышленного производства сохранились.

По наличию лесных ресурсов Россия занимает ведущее место в мире. Леса России составляют 22...23 % всех лесов мира. Площадь покрытых лесом земель – 775,3 млн га, запас древесины – 82,3 млрд м<sup>3</sup>, лесистость территории – 45, 4 %, ежегодный прирост древесины – 980 млн м<sup>3</sup> [4]. Имеющийся лесосырьевой потенциал является объективной основой для того, чтобы Россия стала крупнейшим участником мирового лесного рынка, но в действительности доля России в мировом лесном секторе невелика. Удельный вес производства основных видов продукции лесной отрасли России от общемирового производства составляет\*: деловой древесины – 7,9; пиломатериалов – 5,1; древесных плит – 3,2; целлюлозы – 3,6; бумаги и картона – 1,9 %.

\* Данные FAO, Global Forest Resources Assessment 2005.

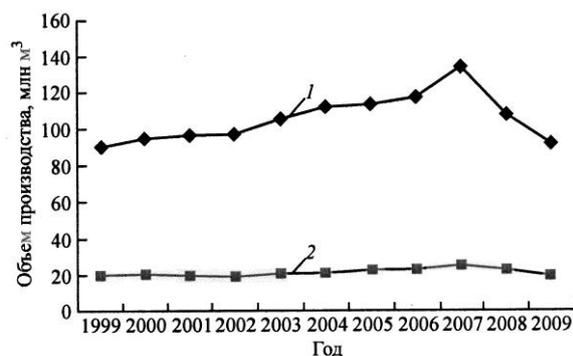
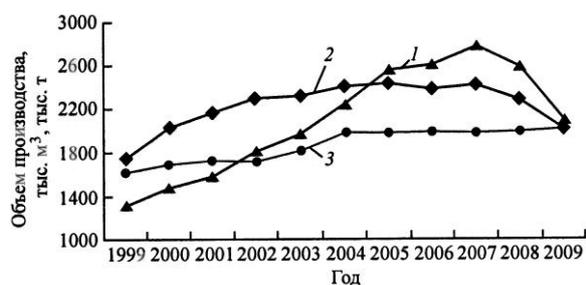


Рис. 1. Вывозка древесины (1) и производство пиломатериалов (2)



Основные причины сложившейся ситуации заключаются в следующем:

Рис. 2. Производство фанеры клееной, тыс. м<sup>3</sup> (1), целлюлозы товарной, тыс. т (2) и бумаги газетной, тыс. т (3)

расположение значительной части запасов лесных ресурсов на удаленных, труднодоступных территориях с неразвитой инфраструктурой (на 1 тыс. км<sup>2</sup> приходится лишь 1,2 км лесных дорог);

низкое освоение расчетной лесосеки (23 %);

исторически сформировавшийся разрыв между сырьевой базой и перерабатывающими предприятиями;

высокий уровень износа основных фондов, отсутствие высокотехнологического оборудования;

низкая степень переработки сырья и др.

Доля российского лесного экспорта в мировой торговле лесными товарами также невелика (за исключени-

ем круглого леса) и составляет\*: деловой древесины – 34,7; пиломатериалов – 9,6; древесных плит – 2,6; целлюлозы – 4,3; бумаги и картона – 2,4 %.

Мировой опыт показывает, что большие лесосырьевые ресурсы и объем лесозаготовок не являются определяющими факторами лесного экспорта. Россия имеет почти четверть запасов древесины и занимает седьмое место по заготовке деловой древесины, которая в 2000–2005 гг. составляла 106...131 млн м<sup>3</sup>. Доля лесного экспорта России в этот период не превышала 3...4 % в мировой торговле лесными товарами. Швеция и Финляндия, имея в 30–40 раз меньше лесосырьевых ресурсов и заготавливая в 2 раза меньше деловой древесины, экспортируют в 2,0–2,5 раза больше лесной продукции [1, 2].

В табл. 1 представлена товарная структура экспорта важнейших видов лесных товаров в разные страны. Из таблицы видно, что преобладающим экспортным лесным товаром России являются необработанные лесоматериалы (круглый лес). На втором месте находятся обработанные лесоматериалы (пиломатериалы). Продукция деревоперерабатывающих производств на мировом лесном рынке не является конкурентоспособной вследствие низкого уровня вертикальной интеграции лесопромышленных предприятий, отсутствия современных технологий, оборудования и мощностей, нехватки инвестиционных ресурсов и проводимой в течение длительного времени таможенной политики.

Для изменения сложившейся ситуации Правительством РФ были приняты меры по регулированию внешней торговли лесными товарами, направ-

\* Данные FAO, Global Forest Resources Assessment 2005.

ленные на развитие мощностей по переработке леса внутри страны, изменение структуры экспорта в сторону увеличения доли продукции деревопереработки и ограничения экспорта древесного сырья.

Государственное регулирование лесного экспорта как одного из направлений внешнеторговой деятельности предприятий российской лесной промышленности осуществляется в соответствии с Федеральным законом от 08.12.2003 № 164 «Об основах государственного регулирования внешнеторговой деятельности» с последую-

щими изменениями и дополнениями посредством таможенно-тарифного и нетарифного регулирования, а также мер экономического и административного характера, способствующих развитию внешнеторговой деятельности и предусмотренных настоящим Федеральным законом.

Однако в последнее время государственное регулирование внешнеторговой деятельности по отношению к лесной промышленности воспринимается, прежде всего, как повышение таможенных пошлин на вывоз необработанных лесоматериалов.

Таблица 1

## Товарная структура лесного экспорта Российской Федерации [5]

Наименование товара	Объем	Стоимость	Цена*
		млн долл.	США
2005 г.			
Лесоматериалы необработанные, тыс. м <sup>3</sup>	47 937,9	2 856,3	59,6
« обработанные, тыс. м <sup>3</sup>	8 998,8	1 899,0	211,0
Фанера клееная, тыс. м <sup>3</sup>	1 524,1	526,0	345,1
Целлюлоза древесная, тыс. т	1 920,9	746,3	388,5
Бумага газетная, тыс. т	1 319,3	606,1	459,4
2006 г.			
Лесоматериалы необработанные, тыс. м <sup>3</sup>	51 088,3	3 259,1	63,8
« обработанные, тыс. м <sup>3</sup>	9 741,5	2 311,1	237,2
Фанера клееная, тыс. м <sup>3</sup>	1 570,0	556,1	354,2
Целлюлоза древесная, тыс. т	1 895,7	828,4	437,0
Бумага газетная, тыс. т	1 258,5	636,6	505,8
2007 г.			
Лесоматериалы необработанные, тыс. м <sup>3</sup>	49 333,1	4 138,4	83,9
« обработанные, тыс. м <sup>3</sup>	10 705,2	3 254,4	304,0
Фанера клееная, тыс. м <sup>3</sup>	1 493,0	757,4	507,3
Целлюлоза древесная, тыс. т	1 891,4	1 031,6	545,4
Бумага газетная, тыс. т	1 168,9	631,4	540,2
2008 г.			
Лесоматериалы необработанные, тыс. м <sup>3</sup>	36 739,2	3 492,9	95,1
« обработанные, тыс. м <sup>3</sup>	8 810,9	2 822,8	320,4
Фанера клееная, тыс. м <sup>3</sup>	1 332,4	755,2	566,8
Целлюлоза древесная, тыс. т	1 905,2	1 085,5	569,8
Бумага газетная, тыс. т	1 292,8	774,7	559,2
2009 г.			
Лесоматериалы необработанные, тыс. м <sup>3</sup>	21 652,7	1 832,4	84,6
« обработанные, тыс. м <sup>3</sup>	9 060,0	2 606,0	287,6
Фанера клееная, тыс. м <sup>3</sup>	1 325,2	512,4	386,7
Целлюлоза древесная, тыс. т	1 570,3	645,9	411,3
Бумага газетная, тыс. т	1 420,5	681,0	485,7

\* Цена для лесоматериалов и фанеры указана за 1 м<sup>3</sup>, для целлюлозы и бумаги – за 1 т.

С 31 мая 2006 г. в соответствии с Постановлением Правительства РФ от 23.12. 2006 г. № 795 «Об утверждении ставок вывозных таможенных пошлин на товары, вывозимые с территории Российской Федерации за пределы государств-участников соглашений о Таможенном союзе и признании утратившими силу некоторых актов Правительства Российской Федерации» была увеличена ставка экспортной пошлины на необработанные материалы хвойных пород\* до 6,5 %, но не менее 4 вместо действующих 2,5 евро за 1 м<sup>3</sup>.

Постановление Правительства России от 5.02.2007 г. № 75 «О повышении вывозных таможенных пошлин на необработанные лесоматериалы» предусматривало дальнейшее планомерное повышение уровня вывозных пошлин на необработанные лесоматериалы. В соответствии с этим постановлением с июля 2007 г. пошлины на экспорт круглого леса выросли до 20 % от таможенной стоимости, но не менее 10 евро за 1 м<sup>3</sup>, а с апреля 2008 г. – до 25 %, но не менее 15 евро за 1 м<sup>3</sup>.

С 1 января 2009 г. ставка экспортной пошлины должна была составить 80 % от таможенной стоимости круглого леса, но не менее 50 евро за 1 м<sup>3</sup>. Третий этап призван стать значительным барьером для экспорта необработанных лесоматериалов. По существу данное повышение пошлин является уже мерой нетарифного регулирования. Это связано с тем, что вывозные пошлины в сумме 50 евро за 1 м<sup>3</sup> делают экспорт круглого леса нерентабельным. Данный этап повышения ставок из-за экономического кризиса

был отложен до 1 января 2011 г.\*\* Кроме того, премьер-министр В. Путин на открытии 3-го российско-финляндского лесного саммита в С.-Петербурге сделал заявление о том, что мораторий на повышение экспортных пошлин будет продлен и на 2011 г. из-за падения экспорта древесины, вызванного мировым кризисом. При этом для стимулирования переработки леса на территории России сохраняется нулевая ставка вывозной пошлины на необработанные лесоматериалы из березы диаметром менее 15 см.

Для стимулирования развития перерабатывающих производств внутри страны и последующего увеличения экспорта продукции глубокой переработки установлена нулевая ставка импортной таможенной пошлины на ввоз технологического оборудования, в том числе для лесной промышленности. Кроме того, введены нулевые ставки на экспорт пиломатериалов и отдельных видов целлюлозно-бумажной продукции.

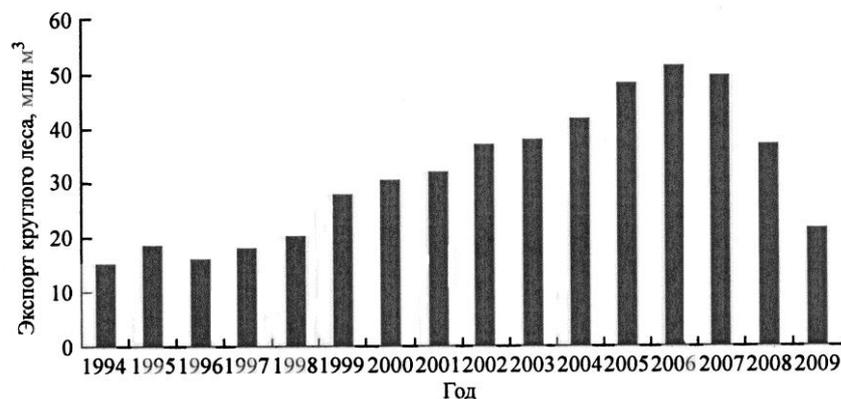
Ожидалось, что перечисленные меры приведут к значительному сокращению экспорта необработанных лесоматериалов и росту производства и экспорта деревообрабатывающей и целлюлозно-бумажной продукции. Данные табл. 1 показывают, что в 2007 г. по сравнению с 2006 г. экспорт круглого

---

\*\* Постановление Правительства РФ от 24 декабря 2008 г. № 982 «О ставках вывозных таможенных пошлин в отношении отдельных видов лесоматериалов, вывозимых с территории Российской Федерации за пределы государств-участников соглашений о Таможенном союзе»; Постановление Правительства РФ от 23 декабря 2009 г. № 1071 «О ставках вывозных таможенных пошлин в отношении отдельных видов лесоматериалов необработанных, вывозимых за пределы государств-участников соглашений о Таможенном союзе».

---

\* В лесном фонде России хвойные насаждения составляют около 80 % .



леса в натуральном выражении снизился. Сокращение произошло впервые с 1996 г. (рис. 3). Экспорт обработанных лесоматериалов в натуральном измерении в 2007 г. по отношению к предыдущему году увеличился почти на 10 %, а экспорт фанеры, целлюлозы и бумаги газетной сократился. Стоимостный объем экспорта по всем указанным видам продукции возрос вследствие повышения контрактных цен. Таким образом, задача по ограничению экспорта круглого леса была выполнена, но цель по увеличению объемов производства (см. рис. 1, 2) и экспорта продукции глубокой механической и химической переработки древесины не достигнута.

В 2008 г. по сравнению с 2007 г. снизились объемы производства и экспорта лесоматериалов (обработанных и необработанных) и фанеры. Положительным моментом является рост экспорта целлюлозы и бумаги газетной, несмотря на некоторое уменьшение объемов производства. Но 2008 г. нельзя считать показательным из-за экономического кризиса.

В 2009 г. на фоне снижения производства в лесной промышленности по всем основным направлениям лесного экспорта наблюдалось сокращение объемов. Наиболее существенно, более чем на 40 %, уменьшился

экспорт необработанных лесоматериалов (см. табл. 1).

Россия на мировом лесном рынке традиционно рассматривалась как поставщик, прежде всего, круглого ле-

Рис. 3. Экспорт круглого леса

са. Из табл. 2 видно, что доля экспорта необработанного леса Советским Союзом и затем Россией значительна и имеет динамику, противоположную общемировой тенденции.

Таблица 2

Доля экспорта круглого леса в общем объеме лесного экспорта, %

Страны мира	1961 г.	1990 г.	2000 г.
СССР, РФ	22	26	35
Другие	11	8	6

Повышение таможенных пошлин на экспорт необработанных круглых лесоматериалов вызвало неоднозначную реакцию у их основных покупателей. Главными импортерами таких лесоматериалов выступают Китай и Финляндия, на долю которых в 2007 г. пришлось 74 % стоимостного и 77 % физического объема экспорта круглого леса.

Финляндия и другие страны ЕС призывают Россию отказаться от дальнейшего увеличения экспортных пошлин на необработанную древесину. Повышение пошлин в 2006–2007 гг.

привело к тому, что в 2007 г. экспорт круглого леса в Финляндию сократился на 11,2 %. ЕС предлагает России договориться об оптимальном уровне пошлины в размере 7 евро за 1 м<sup>3</sup> в интересах скандинавских производителей целлюлозы и бумаги, закупающих основную долю сырья в России [3]. Позиция ЕС является достаточно жесткой. Повышение Россией пошлин на круглый лес создает определенные сложности и тормозит переговорный процесс по вступлению страны в ВТО.

Китай занимает другую позицию по вопросу повышения Россией экспортных пошлин на круглый лес. Об этом свидетельствует увеличение валютной выручки от экспорта круглого леса в 2007 г. по сравнению с 2006 г. на 57,0 % и физического объема на 26,8 %. Китай, в отличие от ЕС, готов к расширению экономического сотрудничества и осуществлению совместных проектов по переработке древесины на территории Российской Федерации.

Меры по тарифно-таможенному регулированию лесного экспорта вызывают обеспокоенность у российского лесного бизнеса. Цены на круглый лес на внутреннем рынке в 2–3 раза ниже, чем на внешнем. В условиях экономического кризиса повышение вывозных пошлин на необработанный лес и сокращение экспортных поставок может привести к снижению цен на продукцию отечественных лесозаготовителей и падению объемов производства. В настоящее время уже более половины лесозаготовительных предприятий убыточны или имеют нулевую рентабельность. Сокращение объемов производства и выручки ухудшит финансовое положение российских лесозаготовителей, в первую очередь мелких производителей. В настоящее вре-

мя около 90 % лесоматериалов производится небольшими предприятиями.

Снижение объемов экспорта круглого леса не приведет автоматически к развитию глубокой переработки внутри страны. Древоперерабатывающие и целлюлозно-бумажные предприятия в России на современном этапе не могут обеспечить потребление того объема круглого леса, который ранее экспортировался. Одной из причин этого является низкий технологический уровень производства. Действующее технологическое оборудование закупалось в основном 25...30 лет назад. В силу его естественного старения и частичного выбытия сокращаются производственные мощности.

Увеличение объемов глубокой переработки древесины невозможно без строительства новых предприятий. Целлюлозно-бумажная промышленность является капиталоемкой отраслью и недостаточно привлекательна в инвестиционном плане. Создание крупных современных целлюлозно-бумажных комбинатов предполагает серьезные капиталовложения (более 1 млрд долл.), длительные сроки строительства (около 5 лет) и окупаемости (более 10 лет). Кроме того, целлюлозно-бумажные предприятия являются, как правило, градообразующими, поэтому на них возлагается содержание не только производственной, но и социальной инфраструктуры. Препятствием к развитию переработки древесины является отсутствие в России надежных мер защиты прав акционеров и инвесторов. Поэтому реализация крупных проектов в лесной промышленности затруднена из-за высоких рисков.

В целях модернизации действующих и строительства новых производств по переработке древесины

внутри страны необходим свободный капитал. Для привлечения инвесторов в лесопромышленный сектор было принято Постановление Правительства РФ от 30.06.2007 г. «О приоритетных инвестиционных проектах в области освоения лесов», которое должно стимулировать привлечение финансовых средств в отрасль. Лесопромышленники в качестве меры поддержки приоритетных инвесторов предлагали возможность беспошлинного экспорта круглого леса на период строительства или модернизации производства. Однако Министерством экономики и развития РФ, которое отвечало за разработку указанного документа, это предложение было отвергнуто. Была оставлена лишь одна мера поддержки приоритетного инвестора – в течение срока окупаемости проекта к ставкам платы за единицу объема лесных ресурсов и ставкам платы за единицу площади лесного участка, находящегося в федеральной собственности, применяется коэффициент 0,5.

Реализация стратегической цели по сокращению экспорта необработанных лесоматериалов и развития внутри страны глубокой переработки древесины невозможна без действенной поддержки со стороны государства. В противном случае введение защитных вывозных пошлин на круглый лес приведет к сокращению объемов лесозаготовок и экспорта круглого леса, но не обеспечит позитивной динамики в деревообрабатывающей и целлюлозно-бумажной промышленности.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Дерево. ru. Деловой журнал по деревообработке. 2006. № 6 (39). URL: <http://www.derevo.ru>.
2. Лесной бюллетень. 2000. № 20. URL: <http://www.forest.ru>.
3. Ромашкин Р. Внешнеторговое регулирование и развитие лесопромышленного комплекса России: информ.-аналит. бюл. «Мосты». 2007. № 7. URL: <http://trade.ecoaccord.org/bridges/>.
4. Справочник лесоведа / под общ. ред. В.П. Рошупкина. М.: ВНИИЛМ, 2007. 608 с.
5. Статистика внешней торговли ФТС. URL: <http://www.customs.ru>.

Поступила 28.04.2011 г.

*Yu. V. Kuzminykh<sup>1</sup>, Yu. K. Bogachev<sup>2</sup>*

<sup>1</sup>Saint-Petersburg Branch of Russian Customs Academy

<sup>2</sup>Economic Crimes Department, Main Internal Affairs Directorate for Saint-Petersburg and Leningrad Region

#### **State Regulation of Forest Export in the Russian Federation**

Dynamics of production volumes and place of the Russian forest industry in the global market and the state customs policy in forest products export are considered, as well as problems of woodworking and pulp-and-paper productions development within the country.

Keywords: global forest market, forest export, state regulation, customs duties.





## КРАТКИЕ СООБЩЕНИЯ И ОБМЕН ОПЫТОМ

УДК 553.601.1:536.224

*А.Н. Мальцев, Э.Н. Сабуров*

Северный (Арктический) федеральный университет

Мальцев Андрей Николаевич родился в 1984 г., окончил в 2007 г. Архангельский государственный технический университет, аспирант кафедры теплотехники Северного (Арктического) федерального университета. Имеет 5 научных статей в области численных исследований аэродинамики и конвективного теплообмена нагретых устройств.

E-mail: aspMaltsev@yandex.ru



Сабуров Эдуард Николаевич родился в 1939 г., окончил в 1961 г. Архангельский лесотехнический институт, доктор технических наук, профессор, заведующий кафедрой теплотехники Северного (Арктического) федерального университета, академик Российской и Международной инженерных академий, Российской академии естественных наук, заслуженный деятель науки и техники РФ, почетный работник высшего профессионального образования, почетный энергетик РФ. Имеет более 600 публикаций в области аэродинамики и конвективного теплообмена в сильно закрученных потоках, их использования для интенсификации процессов теплообмена в аппаратах различного технологического назначения.

E-mail: teplotech@agtu.ru



### **ФИЗИЧЕСКОЕ И ЧИСЛЕННОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ АЭРОДИНАМИКИ ЦИКЛОННО-ВИХРЕВОЙ КАМЕРЫ С РАСПРЕДЕЛЕННЫМ ВВОДОМ ГАЗА**

Выполнено сопоставление результатов физического и численного экспериментов; установлено, что численное моделирование может быть использовано для исследования аэродинамики циклонно-вихревых камер с распределенным вводом газа.

*Ключевые слова:* аэродинамика, циклонно-вихревая камера, численное моделирование.

Распределенный по образующей рабочего объема циклонно-вихревой камеры многошлицевой ввод газа дает возможность легко регулировать процесс и широко используется в циклонных сушильных камерах, циклонных топках для сжигания древесных отходов [2, 3] и других устройствах [5], основой работы которых является их аэродинамика. Поэтому рассмотренные нами вопросы несомненно имеют определенный практический и теоретический интерес.

Цель статьи – на основе результатов физического и численного моделирования показать возможность использования программного комплекса CFX для определения аэродинамических характеристик циклонно-вихревых камер и дальнейшего совершенствования методики их аэродинамического расчета.

Физический эксперимент выполнен на модели циклонной топочной камеры со следующими геометрическими характеристиками: внутренний диаметр  $D_k = 2R_k = 310$  мм, длина  $L_k = 580$  мм, относительная длина  $\bar{L}_k = L_k / D_k = 1,87$ . Внутренняя поверхность рабочего объема камеры – технически гладкая с шероховатостью обычного стального проката. Подвод воздуха в камеру осуществлялся тангенциально с диаметрально противоположных сторон восьмью (по 4 с каждой стороны) входными каналами прямоугольного поперечного сечения – шлицами с внутренними размерами  $20 \times 44$  мм, расположенными равномерно по высоте камеры. Ближайшие к глухим торцам рабочего объема шлицы находились на расстоянии  $z$ , равном 48 мм и 554 мм ( $z$  определяли по

оси координат, совпадающей с осью рабочего объема). Безразмерные координаты местоположения шлицев  $\bar{z}_{\text{вх}} = z_{\text{вх}}/D_k$  с одной стороны камеры составляли 0,442; 0,884; 1,335; 1,72, с другой – 0,151; 0,536; 0,987; 1,429. Такое расположение шлицев создавало распределенную систему ввода воздуха. В опытах относительная площадь ввода воздуха  $\bar{f}_{\text{вх}} = 4f_{\text{вх}}/\pi D_k^2 = 0,936$ , а относительная высота шлицев  $\bar{h}_{\text{вх}} = h_{\text{вх}}/D_k = 0,128$ . Газ из камеры отводился через обычный плоский пережим. Сменные диафрагмы плоского пережима давали возможность изменять относительный диаметр выходного отверстия  $\bar{d}_{\text{вых}} = d_{\text{вых}}/D_k$  в диапазоне 0,2...1,0. Воздух, выходящий из камеры, выбрасывался в атмосферу.

Расход воздуха измеряли нормальным соплом, его температуру – ртутным термометром с ценой деления 1 °С. Во всех опытах поля скоростей и давлений подробно исследовали предварительно протарированными пятиканальными шаровыми зондами с диаметром шарика 5,0 мм, в отдельных опытах – цилиндрическим трехканальным зондом с диаметром насадка 2,6 мм. Относительные продольные координаты сечений замеров  $\bar{z}_c = z_c/D_k = 0,442; 0,884; 1,335; 1,720$  находились в диаметральной плоскости, перпендикулярной тангенциальным шлицам. Вектор полной скорости, определяемой в каждой точке по радиусу камеры через 5,0 мм, разлагался на три составляющие: тангенциальную  $w_\phi$ , осевую  $w_z$  и радиальную  $w_r$ . С помощью координатников перемещение зонда в радиальном направлении осуществлялось с точностью  $\pm 0,5$  мм, определение угла вектора полной скорости по отношению к горизонтали –  $\pm 1^\circ$ .

Численный эксперимент выполнен при использовании комплекса CFX 10.0. В качестве базовой модели турбулентности была принята двухпара-

метрическая математическая модель  $k$ - $\omega$ , основанная на теории турбулентной вязкости [6]  $\mu_t = \rho k / \omega$  (где  $\rho$  – плотность потока;  $k$  – турбулентная кинетическая энергия;  $\omega$  – турбулентная частота). Математическая модель турбулентности представляет собой следующую систему уравнений:

$$\frac{\partial (\rho k)}{\partial t} + \nabla(\rho U k) = \nabla \left[ \left( \mu + \frac{\mu_t}{\sigma_k} \right) \nabla k \right] + P_k - \beta' \rho k \omega;$$

$$\frac{\partial (\rho \omega)}{\partial t} + \nabla(\rho U \omega) = \nabla \left[ \left( \mu + \frac{\mu_t}{\sigma_\omega} \right) \nabla \omega \right] + \alpha \frac{\omega}{k} P_k - \beta \rho k \omega^2,$$

где  $U$  – скорость потока;

$P_k$  – член, учитывающий генерацию турбулентности силами вязкости и выталкивающими силами.

Для замыкания системы использовали стандартный набор постоянных коэффициентов [6]:  $\beta' = 0,09$ ;  $\beta = 0,075$ ;  $\alpha = 5/9$ ;  $\sigma_k = 2$ ;  $\sigma_\omega = 2$ .

Первоначально проведенные численные исследования с применением нескольких моделей (Zero Equation (в основу модели заложена теория пути смешения Прандля),  $k$ - $\varepsilon$  (двухпараметрическая модель, состоящая из системы уравнений турбулентной кинетической энергии в потоке и вихревой диссипации) и др.) показали предпочтительность модели  $k$ - $\omega$ , входящей в набор стандартных моделей, доступных в CFX 10.0.

На рис. 1 выполнено сопоставление опытных данных (точки) с расчетными распределениями безразмерной тангенциальной составляющей скорости потока  $\bar{w}_\phi(\bar{r})$  ( $\bar{w}_\phi = w_\phi/w_{\text{вх}}$ ;  $w_{\text{вх}}$  – среднерасходная скорость потока в шлицах;  $\bar{r} = r/R_k$ ;  $r$  – текущий радиус) при  $\bar{z}_c = 1,720$ , т. е. вблизи выходного торца рабочего объема (сплошные линии). Представленные данные показывают, что результаты физического

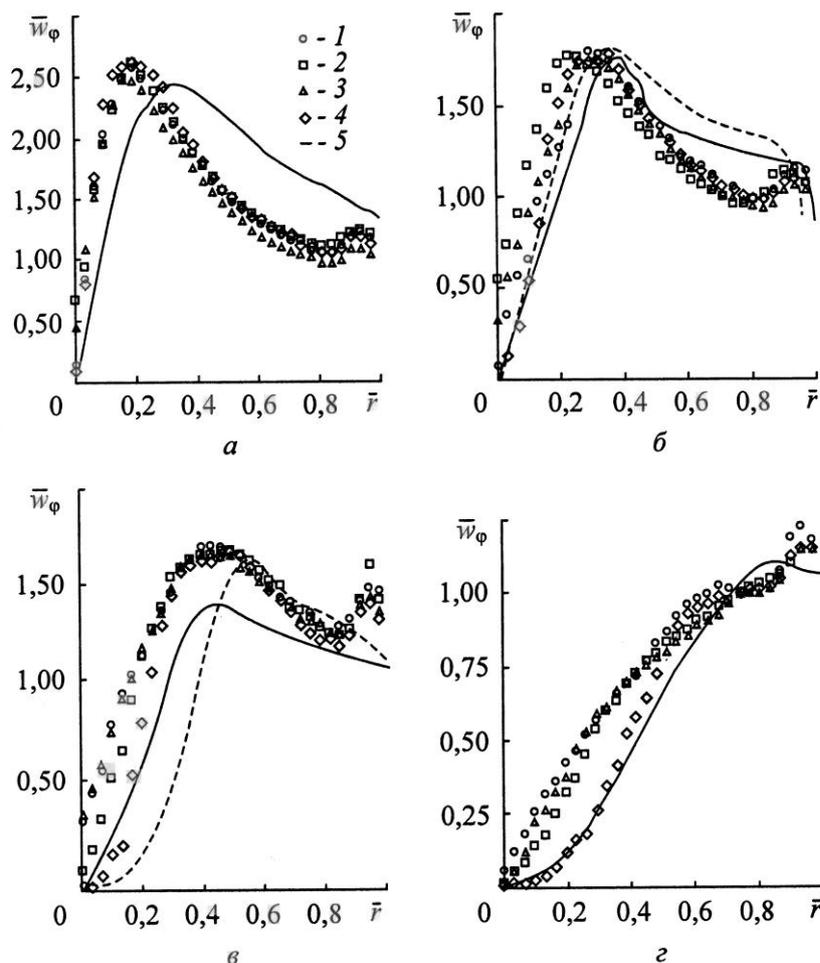


Рис. 1. Распределения опытных (1–4) и расчетных (5) значений  $\bar{w}_\varphi$  при различных  $\bar{d}_{\text{вых}}$  и  $\bar{z}_c$ : а –  $\bar{d}_{\text{вых}} = 0,3$ ; б –  $0,4$ ; в –  $0,5$ ; г –  $0,7$ ; 1 –  $\bar{z}_c = 0,442$ ; 2 –  $0,884$ ; 3 –  $1,335$ ; 4 –  $1,720$

и численного экспериментов удовлетворительно соответствуют друг другу и правильно описывают характерные особенности влияния параметра  $\bar{d}_{\text{вых}}$  на распределения  $\bar{w}_\varphi$ . С увеличением  $\bar{d}_{\text{вых}}$  как опытные, так и расчетные безразмерные значения максимума вращательной составляющей скорости потока снижаются, положение максимума  $\bar{w}_\varphi$  смещается в область больших значений  $\bar{r}$ . Условная тангенциальная скорость  $\bar{w}_{\varphi\text{К}} = w_{\varphi\text{К}} / w_{\text{вх}}$  на границе рабочего объема (граница пограничного слоя на боковой поверхности рабочего объема) в физическом и численном экспериментах при  $\bar{d}_{\text{вых}} > 0,3$  практически не зависит от  $\bar{d}_{\text{вых}}$ . Следует отметить, что опытные распределения тангенциальной составляющей скорости по длине камеры практически не изменяются, в то время как расчетные

претерпевают значительные изменения. Перестройка по длине камеры расчетного профиля  $w_\varphi$ , вероятно, определяется условиями ввода газа в камеру, который поступает равномерно распределенными по высоте (практически в шахматном порядке) восьмью тангенциальными струями, по четыре с диаметрально противоположных сторон. Струи взаимодействуют между собой и с боковой поверхностью рабочего объема. В результате создается сложная схема течения, трудно воспроизводимая в численном эксперименте.

С учетом положительного опыта использования комплекса CFX 10.1 для расчета незагруженных циклонных камер с локальным двусторонним вводом газов [4, 5] распределенный ввод рассматриваемой камеры в одном из вариантов схемы был заменен на локальный тангенциальный двусторонний с диаметрально противоположных

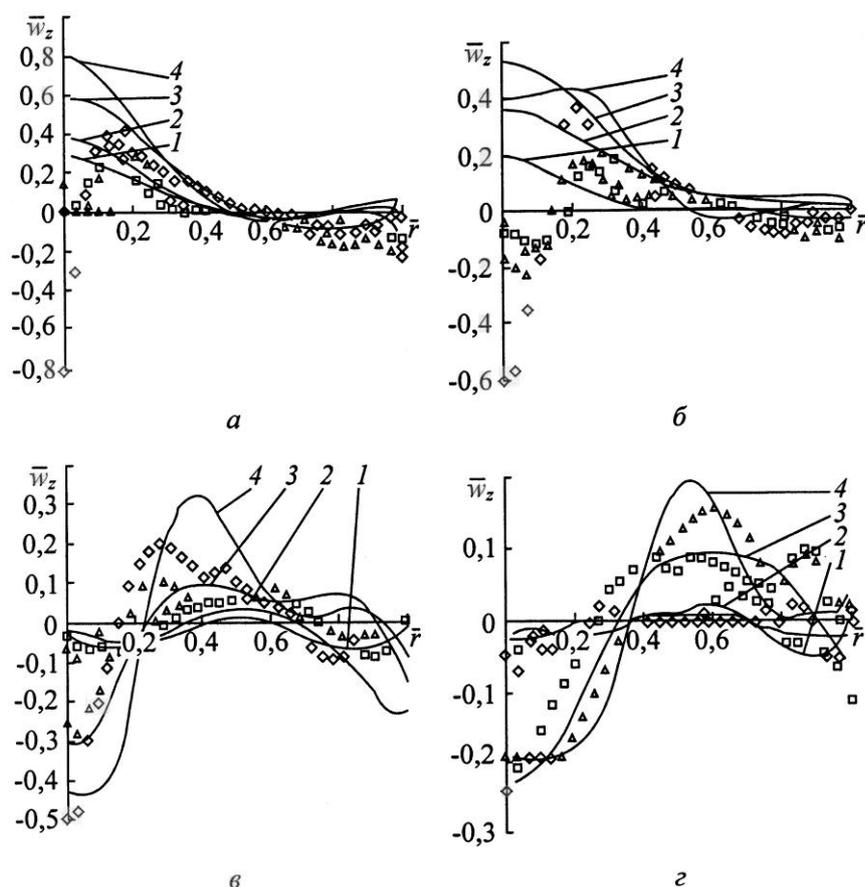


Рис. 2. Сопоставление опытных и расчетных распределений  $\bar{w}_z$  при различных значениях  $\bar{d}_{\text{вых}}$  и  $\bar{z}_c$  (см. обозначения на рис. 1)

сторон с теми же суммарной площадью входа и высотой шлицев. При этом координата  $\bar{z}_{\text{вх}} = 0,35$ , а относительная длина шлицев  $l_{\text{вх}}/D_{\text{к}} = 0,568$ . Результаты расчетов безразмерных распределений тангенциальной скорости для принятой схемы ввода газа в камеру  $\bar{d}_{\text{вых}} = 0,4$  и  $0,5$  приведены на рис. 1 в виде графиков (штриховые линии). Представленные распределения не дают существенного уточнения расчетных распределений  $\bar{w}_\varphi$ , рассмотренных выше (рис. 1). Однако при принятой схеме ввода наблюдается намного меньшее расхождение расчетных значений  $\bar{w}_\varphi$  по длине рабочего объема, что соответствует физическому эксперименту.

По-видимому, большего согласования расчетных и опытных значений  $\bar{w}_\varphi$  можно достичь, если использовать в качестве базовой более современную и сложную модель турбулентности LES (Large Eddy Simulation)

[8, 11]. Однако в этом случае расчет нужно выполнять на более мощной и скоростной ЭВМ кластерного типа [7]. Попытка использовать для этих целей имеющийся у нас процессор Intel Pentium IV Duo T2300E не дала положительных результатов.

Тангенциальная скорость, как показывают физический и численный эксперименты, значительно превышает осевую составляющую скорости потока (рис. 2). Представленные на рис. 2 опытные и расчетные данные находятся в удовлетворительном соответствии при всех рассмотренных значениях  $\bar{d}_{\text{вых}}$ . Расчетные значения  $\bar{w}_z = w_z/w_{\text{вх}}$  в приосевой зоне правильно отражают тенденцию снижения мощности обратного течения по мере его продвижения к глухому торцу камеры.

Полученные в работе численные значения радиальной составляющей скорости  $\bar{w}_r = w_r/w_{\text{вх}}$  (рис. 3) подтверждают мнение о том, что радиальная компонента полной скорости в циклонном

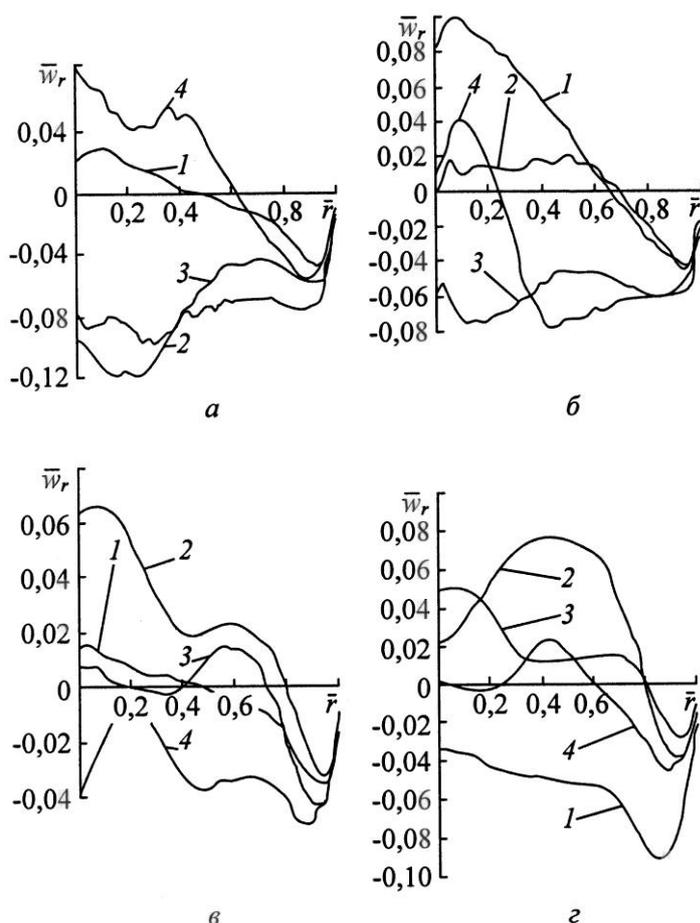


Рис. 3. Расчетные распределения  $\bar{w}_r$  при различных значениях  $\bar{d}_{\text{вых}}$  и  $\bar{z}_c$ : а –  $\bar{d}_{\text{вых}} = 0,3$ ; б –  $0,4$ ; в –  $0,5$ ; г –  $0,7$ ; 1 –  $\bar{z}_c = 0,442$ ; 2 –  $0,884$ ; 3 –  $1,335$ ; 4 –  $1,720$

потоке значительно меньше не только тангенциальной, но и осевой [1–5].

Направления осевой и радиальной составляющих скорости в значительной степени зависят от координаты рассматриваемой точки рабочего объема. Это подтверждается и расчетными распределениями проекций вектора полной скорости на поверхность диаметрального сечения, перпендикулярного осям входных шлицев (рис. 4).

Представленные данные показывают, что поток в циклонной камере отличается высокой сложностью, даже большей, чем это представлялось ранее [2, 3, 5]. Возникновение вихревых структур и циркуляционных зон определяется не только непосредственно геометрией рабочего объема (местоположение шлицев, их расстояние от торцов камеры, значение  $\bar{d}_{\text{вых}}$  и т. п.), но и конфигурацией выходного вихря.

Схемы осевых и радиальных движений потока (рис. 4) значительно различаются в зависимости от диаметра выходного отверстия камеры. При  $\bar{d}_{\text{вых}} = 0,3$  характерным является образование нескольких вихревых зон в рабочем объеме камеры. Причем три из них расположены в нижней части, в области ввода газа в камеру. Выходной вихрь начинает формироваться у глухого торца и имеет криволинейную ось, напоминающую синусоиду. При перемещении он четыре раза меняет радиальное направление движения. Мощность его увеличивается по мере приближения к выходному отверстию. Осевое обратное течение отсутствует. Общая структура потока предопределяет высокий уровень перемешивания и турбулентности, особенно, в приосевой области рабочего объема. При  $\bar{d}_{\text{вых}} = 0,4$  движение потока становится более упорядоченным. Выходящие из шлицев струи газа формируют

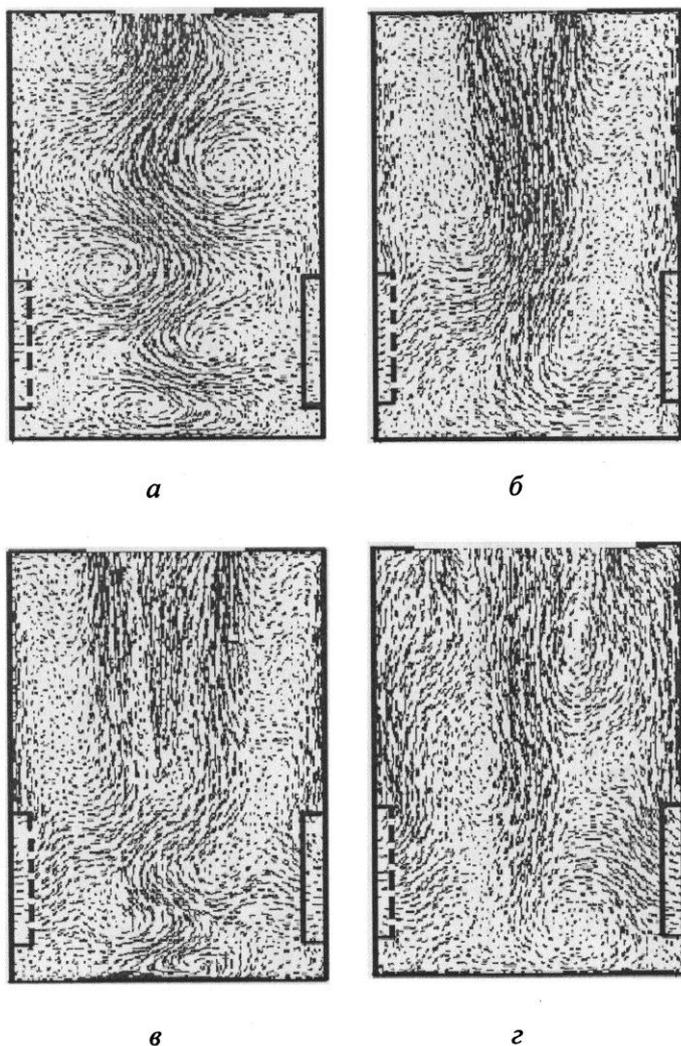


Рис. 4. Схемы осевых и радиальных движений потока при различных значениях  $\bar{d}_{\text{вых}}$ : а – 0,3; б – 0,4; в – 0,5; г – 0,7

периферийный выходной вихрь. В области глухого торца зарождается выходной вихрь, близкий к осесимметричному. Появляется осевой обратный ток, занимающий значительную часть рабочего объема вблизи выходного отверстия. Истечение газов из камеры с внешней стороны осуществляется по кольцу, ограниченному выходным отверстием, а с внутренней – зоной формирования осевого обратного тока. С увеличением  $\bar{d}_{\text{вых}}$  влияние осевого обратного тока в камере становится больше как с точки зрения влияния на выходной вихрь, так и с точки зрения условий его формирования в нижней части рабочего объема. При  $\bar{d}_{\text{вых}} = 0,7$  осевой обратный ток проникает до глухого торца камеры.

Рассмотренная схема осевых и радиальных движений потока соответствует расчетным и опытным распределениям осевой  $\bar{w}_z(\bar{r})$  и радиальной  $\bar{w}_r(\bar{r})$  компонент полной скорости потока.

Полученные опытные и расчетные распределения  $\bar{w}_\varphi(\bar{r})$  позволили определить и сопоставить между собой и другие характеристики, важные с точки зрения аэродинамики камеры. В частности такие, как относительная максимальная тангенциальная скорость  $\bar{w}_{\varphi m} = w_{\varphi m} / w_{\text{вх}}$  и радиус  $\bar{r}_{\varphi m} = r_{\varphi m} / R_{\text{к}}$ , характеризующий ее положение.

На основании результатов физического эксперимента получены следующие расчетные формулы для

определения  $\bar{w}_{\phi m}$  и  $\bar{r}_{\phi m}$  при различных  $\bar{d}_{\text{вых}}$ :

$$\bar{w}_{\phi m} = 0,507 \bar{d}_{\text{вых}}^{-1,3571}; \quad (1)$$

$$\bar{r}_{\phi m} = 1,050 \bar{d}_{\text{вых}} - 0,033. \quad (2)$$

Аналогичные формулы получены и по результатам численного эксперимента:

$$\bar{w}_{\phi m} = -1,767 \ln \bar{d}_{\text{вых}} + 0,117; \quad (3)$$

$$\bar{r}_{\phi m} = 0,943 \bar{d}_{\text{вых}} - 0,017. \quad (4)$$

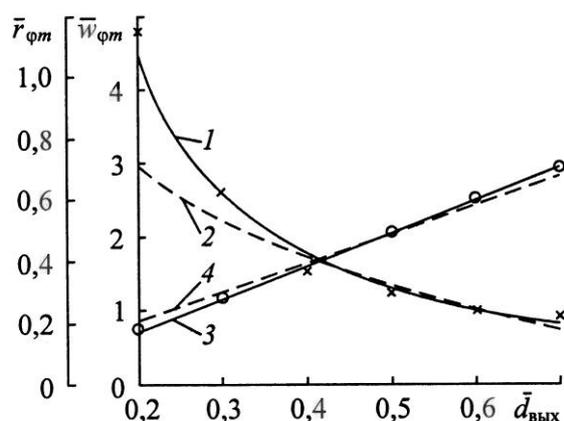


Рис. 5. Графики, построенные на основании физического (1, 2) и численного (3, 4) экспериментов: 1, 3 —  $\bar{w}_{\phi m}$ ; 2, 4 —  $\bar{r}_{\phi m}$

На рис. 5 эти зависимости (1) и (3), (2) и (4) графически сопоставлены между собой, а также непосредственно с результатами физического эксперимента (обозначено  $\times$  и  $\circ$ ). Сопоставление показало, что при  $0,3 < \bar{d}_{\text{вых}} \leq 0,7$  формулы, полученные по опытным и расчетным данным, дают близкие результаты, соответствующие опытным значениям характеристик. Это позволяет рекомендовать пакет CFX 10.1 для расчета этих характеристик в отмеченном диапазоне  $\bar{d}_{\text{вых}}$ . Вероятно, этот вывод можно распространить и на циклонно-вихревые камеры с другими геометрическими характеристиками, близкими рассмотренной.

## Выводы

Представленные в статье результаты позволяют сделать следующие выводы.

1. Программный комплекс CFX 10.0 может быть использован для расчетов аэродинамических характеристик циклонно-вихревых камер и дальнейшего совершенствования методик их аэродинамического расчета. Однако необходимая точность расчетов с помощью  $k-\omega$ ,  $k-\epsilon$  и RSM-моделей турбулентности, вероятно, может быть достигнута лишь в определенных диапазонах геометрических и режимных характеристик камер. Интервал диапазонов зависит от их технологического назначения и может быть определен сопоставлением результатов численного и физического экспериментов.

2. На данном этапе (при моделировании, проведенном с учетом заданных программно коэффициентов замыкания в математической модели, а также исходной расчетной схемы) при использовании CFX 10.1 в расчетах аэродинамики рабочего объема, вероятно, следует ориентироваться на распределение тангенциальной скорости потока вблизи выходного торца — в сечении, расположенном вблизи осевой границы приторцевого пограничного слоя.

3. Численный эксперимент с использованием CFX 10.0 позволяет исследовать структуру вторичных течений циклонного потока, что сложно сделать существующими методами. Для исследования структуры вторичных течений в циклонно-вихревых камерах с распределенным вводом можно использовать предложенную нами схему условного локального ввода.

4. Программный комплекс CFX 10.1 позволяет с достаточной точностью рассчитывать такие важные характеристики циклонного потока, как относительная максимальная тангенциальная скорость потока и ее поло-

жение в наиболее важном для практики диапазоне относительного диаметра выходного отверстия циклонной камеры ( $0,3 < \bar{d}_{\text{вых}} \leq 0,7$ ).

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Балугев Е.Д., Троянкин Ю.В. Исследование аэродинамической структуры газового потока в циклонной камере // Теплоэнергетика. 1967. № 1. С. 63–65.
2. Сабуров Э.Н. Аэродинамика и конвективный теплообмен в циклонных нагревательных устройствах. Л.: Изд-во ЛГУ, 1982. 240 с.
3. Сабуров Э.Н. Циклонные нагревательные устройства с интенсифицированным конвективным теплообменом. Архангельск: Сев.-Зап. кн. из-во, 1995. 341 с.
4. Сабуров Э.Н., Мальцев А.Н. Численное исследование аэродинамики и вихревой структуры потока в циклонно-вихревой камере с односторонним вводом и выводом газов // Сб. «Наука – Северному региону». Архангельск. 2008. Вып. 76. С. 150–157.
5. Сабуров Э.Н., Мальцев А.Н. Численное исследование аэродинамики и вихревой структуры потока циклонно-вихревой камеры с разносторонним вводом-выводом газов // Сб. «Наука – Северному региону». Архангельск. 2008. Вып. 76. С. 142–150.
6. ANSYS® CFX® - 10.0™ Users Guide.
7. Bernardo S., Peres A.P., Mori M. Computational Study of Cyclone Flow Fluid Dynamics using a Different Inlet Section Angle // Thermal Engineering. 2005.N 4. P. 18.
8. Hoekstra A.J., Derksen J.J., Akker Van Den. An experimental and numerical study of turbulent swirling flow in gas cyclones // Chem. Eng. Sci. 1999. N 54. P. 2055–2065.
9. Gimbin J., Chuah T. G., Fakhru'l-Razi A. The influence of temperature and inlet velocity on cyclone pressure drop: A CFD study // Chem. Eng. Prog. 2005. N 44. P. 7–12.
10. Gong A.L., Wang L.-Z. Numerical study of gas phase flow in cyclones // Aero. Technol. 2004. N 38. P. 506–512.
11. Griffiths W.D., Boysan F. Computational Fluid Dynamics (CFD) and Empirical Modeling of the Performance of a Number of Cyclone Samplers // Journal of Aerosol Science. 1996. N 2. P. 281–304.
12. Zhu Y., Lee K. Experimental study on small cyclones operating at high flow rates // Aero. Sci. 1999. N 30. P. 1303–1315.

Поступила 28.12.09

A.N. Maltsev, E.N. Saburov

Northern (Arctic) Federal University

### Physical and Numerical Simulation of Cyclone-Vortex Chamber Aerodynamics with Distributed Gas Inlet

The comparison of results of physical and numerical simulation experiments is carried out. It is established that numerical simulation could be applied for study of aerodynamics of cyclone-vortex chambers with the distributed gas inlet.

Keywords: aerodynamics, cyclone-vortex chamber, numerical modeling.

УДК 621.18-182.2

**В.К. Любов, А.Ю. Романов**

Северный (Арктический) федеральный университет

Любов Виктор Константинович родился в 1954 г., окончил в 1976 г. Архангельский лесотехнический институт, доктор технических наук, профессор, заведующий кафедрой промышленной теплоэнергетики Северного (Арктического) федерального университета. Имеет более 190 публикаций в области совершенствования энергохозяйства промышленных предприятий.

Тел.: 8 (8182) 21-61-75

Романов Алексей Юрьевич родился в 1982 г., окончил в 2005 г. Архангельский государственный технический университет, зам. главного энергетика АГТУ. Имеет 11 публикаций в области совершенствования энергохозяйств промышленных предприятий.

Тел.: 8 (8182) 44-17-59



## ИССЛЕДОВАНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ РАБОТЫ ОТОПИТЕЛЬНЫХ КОТЕЛЬНЫХ

Предложены мероприятия для комплексного повышения технико-экономических и экологических показателей работы отопительных котельных.

*Ключевые слова:* древесное топливо, секционный чугунный водогрейный котел, теплогенерирующая установка, эмиссия оксидов азота и оксида углерода, коэффициент полезного действия, потери теплоты от химической и механической неполноты сгорания.

В городах с небольшой плотностью застройки и населенных пунктах сельской местности эксплуатируется большое количество котельных малой мощности, оборудованных секционными чугунными водогрейными котлами. Первые чугунные котлы появились в эксплуатации более 90 лет назад, но и в настоящее время они имеют достаточно широкое применение.

Чугунные водогрейные котлы набирают из отдельных элементов – секций, внутри которых циркулирует вода, снаружи они обогреваются продуктами сгорания. Вверху и внизу секции имеют ниппельные головки с отверстиями, соединяющими водяное пространство смежных секций. Чугунные секции могут иметь различную форму. Наибольшее распространение получили О-, Г- и Р-образные, а также секции без вылета.

Большинство объектов коммунальной энергетики Архангельской области было рассчитано на сжигание ка-

чественных каменных углей. Использование углей низкого качества приводит к резкому снижению КПД чугунных котлов и, как следствие, к перерасходу топлива, а при нормированной поставке топлива – к недовыработке тепловой энергии и загрязнению атмосферы не только продуктами неполного сгорания, но и частицами золы и негоревшего топлива.

В соответствии с тенденцией последних лет многие объекты малой энергетики области были переведены на сжигание местного топлива – древесины. При этом перспективное направление оптимизации топливного баланса области за счет увеличения доли биотоплива во многих случаях реализовывалось простым, но крайне неэффективным методом – путем замены угля на древесное топливо, без учета конструктивных особенностей установленных котлов и требований нормативных документов [1, 4–7].

Сжигание сырой древесины в топочных камерах чугунных водогрейных секционных котлов, не приспособленных для данного вида топлива, значительно ухудшает топочный процесс и снижает его экономические и экологические показатели. Данные котлы обычно являются немеханизированными и полностью обслуживаются вручную. Слой топлива на колосниковой решетке при ручной загрузке непостоянен, достигает максимальных размеров при загрузке свежей порции топлива и уменьшается по мере его выгорания. При постоянной тяге количество воздуха, поступающего в топку через слой топлива в период между загрузками, постепенно увеличивается вследствие прогорания слоя и уменьшения его сопротивления. Одна часть поступающего в топку воздуха расходуется на выгорание топлива в слое, другая – на горение летучих горючих веществ в топочном пространстве, какое-то количество воздуха остается неиспользованным.

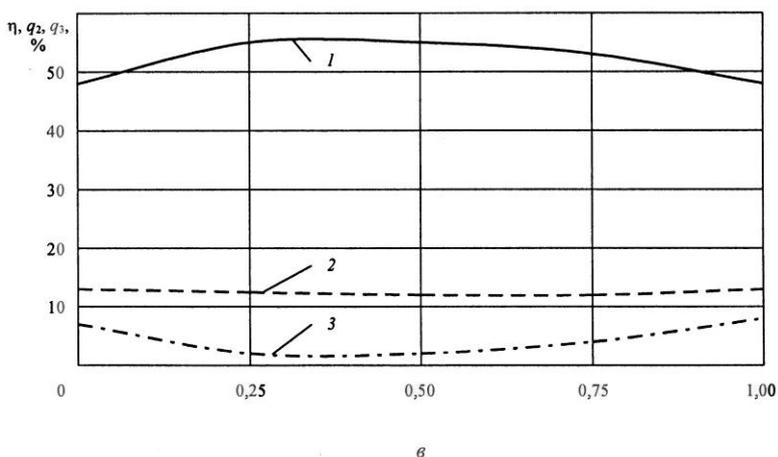
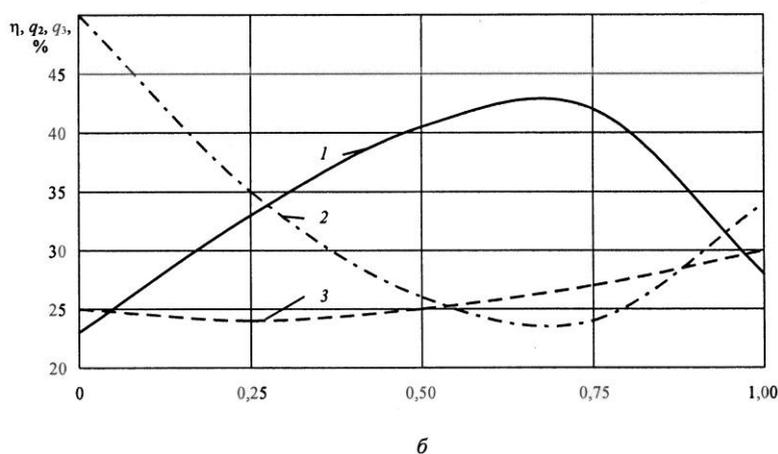
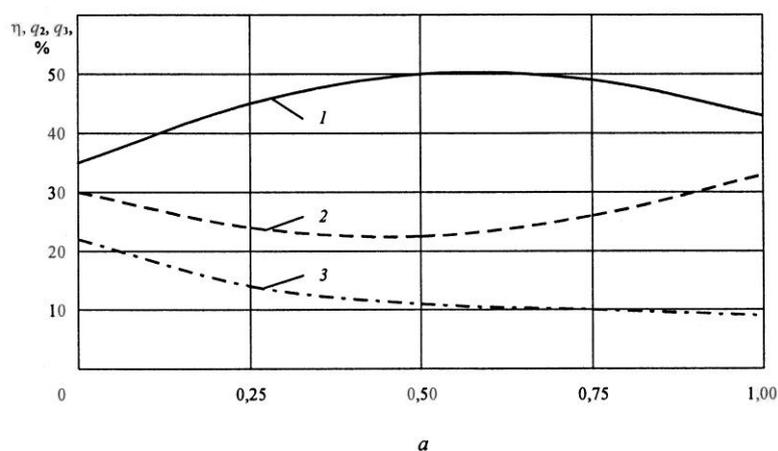
При загрузке свежего топлива на горящий слой сначала происходит его термическая подготовка к воспламенению (подсушка и выход летучих), после которой начинается процесс горения. До момента воспламенения свежего топлива в топочной камере содержится большое количество избыточного воздуха, однако после воспламенения летучих веществ количество воздуха, поступающего в топку, недостаточно для полного выгорания горючих веществ, что вызывает неполноту сгорания топлива, которая снижается по мере уменьшения выхода летучих и завершения процесса коксования свежей порции топлива. К концу периода между загрузками

топлива на колосниковой решетке в тонком слое горит преимущественно кокс. Обычно этот период для котлов с нормативной плотностью обмуровки связан с повышением полноты выгорания горючих компонент, однако коэффициент избытка воздуха в топке тоже повышается.

Таким образом, в начальный период цикла между загрузками топлива процесс горения характеризуется повышенными потерями с химической неполнотой сгорания топлива, в конечный – большим избытком воздуха и, следовательно, повышенными потерями теплоты с уходящими газами (см. рисунок *а, б*). Правильно выбранная толщина слоя топлива позволяет минимизировать суммарные потери теплоты от химического недожога и с уходящими газами. В период загрузки поступает большое количество воздуха, что вызывает охлаждение топки и увеличение всех тепловых потерь (см. рисунок *а, в*). Поэтому при эксплуатации немеханизированных котлов топливо следует загружать чаще, небольшими порциями, как можно быстрее прикрывая зольниковую дверку.

Серьезные исследования по определению технико-экономических и экологических показателей работы объектов коммунальной энергетики Архангельской области до настоящего времени практически не проводились. Цель нашей работы – провести энергетическое обследование девяти чугунных водогрейных секционных котлов, установленных в четырех котельных.

Обследованные котельные по своему назначению относятся к отопительным и вырабатывают теплоноситель для жилых домов и зданий социального назначения.



Изменение КПД брутто  $\eta$  (1) и потерь теплоты с уходящими газами  $q_2$  (2) и химической неполнотой сгорания топлива  $q_3$  (3) в период цикла между загрузками осины для котлов «Универсал-6М» котельной № 1 (а), «Тула-3» котельной № 3 (б) и «Энергия-3М» котельной № 4 (в)

Все девять котлов (см. таблицу) относятся к шатровому типу, их топочный объем спереди и сзади огражден с помощью крайних секций или кирпичных стенок («Тула-3»), в некоторых конструкциях – перевернутыми средними секциями («Энергия-3М»). Образующиеся при горении топлива высокотемпературные дымовые газы поднимаются в верхнюю часть топки и че-

рез окна в стыкующихся ребрах поступают в газоходы секций, затем опускаются и уходят в боковые сборные кирпичные газоходы, выложенные ниже секций с обеих сторон котла. В некоторых конструкциях котлов дымовые газы движутся не только по каналам секций, но и омывают наружные торцы пакетов. В этом случае боковые газоходы выкладывают из кирпича до

## Результаты энергетического обследования отопительных котельных

Показатели	Значения показателей для котлов, работающих на разных видах топлива								
	Древесина (осина)						Каменный уголь		
	«Универсал-6М»			«Тула-3»			«Энергия-3М»		
	Котельная № 1 (К-0/30)		Котельная № 2 (К-8/18)	Котельная № 3 (КМ 1150-125- 250)			Котельная № 4 (КМ 80-65-160)		
	I	II	I	I	II	III	I	II	III
Влажность топлива $W_t^f$ , %	56,27		54,3	54,3			15,38		
Зольность топлива $A^f$ , %	1,12		0,58	0,58			24,69		
Низшая теплота сгорания топлива $Q_i^f$ , МДж/кг	6,37		6,91	6,91			17,59		
Теплопроизводительность котла Q, кВт	94,2	94,6	77,3	201,2	215,2	215,2	128,3	113,6	128
Температура уходящих газов $\vartheta_{yx}$ , °С	213	212	200	204	212	212	217	223	219
Коэффициент избытка воздуха в уходящих газах $\alpha_{yx}$	2,98	3,03	5,69	3,75	3,6	2,98	1,97	1,97	2,00
Потери теплоты, %:									
с уходящими газами $q_2$	26,57	26,33	42,00	30,01	29,02	23,02	12,30	12,53	12,46
с химнедожогом $q_3$	12,47	12,06	21,69	31,65	28,65	30,15	4,00	3,16	3,31
с мехнедожогом $q_4$	1,45	1,45	0,56	0,6	0,6	0,6	16,91	16,91	17,61
от наружного охлаждения $q_5$	13,13	13,08	10,71	7,70	7,19	7,19	12,94	14,35	12,97
Средний за цикл КПД брутто $\eta$ , %	46,3	47,0	25,0	30,0	34,5	39,0	53,2	52,4	53,0
Удельный расход условного топлива, кг у.т./ГДж	73,63	72,55	136,37	113,65	98,83	87,42	64,08	65,06	64,32
Эмиссия, г/МДж:									
NO <sub>x</sub>	0,248	0,247	0,246	0,147	0,140	0,253	0,169	0,140	0,155
CO	7,100	6,955	6,160	13,787	12,964	13,707	3,803	2,923	3,150
SO <sub>2</sub>	–	–	–	–	–	–	0,486	0,491	0,494

Примечания. 1. В скобках указана марка сетевого насоса.

2. I – III – номера котлов в котельной.

верха секций («Энергия-3М»). Из сборных газоходов продукты сгорания поступают в боры и далее в дымовую трубу.

На всех обследованных котельных золоулавливающие установки отсутствуют, котлы работают на естественной тяге, создаваемой с помощью металлических труб, обеспечивающих рассеивание продуктов сгорания в атмосферном воздухе. Все операции по обслуживанию котлов выполняются вручную.

Для регулирования тяги на газоходе за котлом должен быть шибер, однако на всех объектах они отсутствуют. Тягу котлов регулируют так, чтобы в топке (на уровне верхней части загрузочной дверки) поддерживалось разрежение не более 20...30 Па. При этом ни один из котлов не имеет приборов контроля разрежения в топке и за котлами.

Межнippельное расстояние секций обследованных котлов составляет: 1100 мм – для котла «Универсал-6М»; 1330 мм – для котлов «Тула-3» и «Энергия-3М».

Воду из отопительной системы подводят к задним нижним нippельным головкам котлов, горячую воду отводят в систему отопления от верхних нippельных головок передних секций (Z-образная схема). На подводящей и отводящей трубах котла должны быть установлены запорные устройства, обеспечивающие возможность его полного отключения от системы теплоснабжения [1]. Максимальное давление воды для чугунных котлов составляет 0,60 МПа, температура воды на выходе 95 °С. Допускается работа котлов при температуре до 115 °С и рабочем давлении в системе отопления не ниже 0,35 МПа. Для защиты от повышения давления воды выше допустимого котлы оборудованы предохранительными клапанами.

Чугунные секционные котлы по своей конструкции подразделяют на два основных типа: с внутренней и внешней топками.

Внутренние топки применяют для сжигания высокосортных сортированных углей. Для сжигания низкосортных видов топлива данные топки не предназначены, так как при большой радиационной поверхности нагрева невозможно обеспечить необходимую температуру горения. Если возникает необходимость сжигания низкосортного топлива, то к котлу пристраивают выносную топку.

В котлах с внешними топками колосниковая решетка устанавливается ниже нижних нippельных головок, при этом расстояние от решетки до низа секций зависит от вида сжигаемого топлива. Наличие кирпичной футеровки в топке обеспечивает создание необходимой температуры горения для сжигания низкосортных видов топлива. Чугунные котлы «Универсал-6М», «Тула-3» и «Энергия-3М» обычно оборудованы внешними топками, при этом имеются рекомендации по высоте расположения колосниковых решеток для сжигания каменных и бурых углей, однако для древесины такие рекомендации отсутствуют.

Для уменьшения потерь теплоты в окружающую среду снаружи чугунные водогрейные котлы обмуровывают кирпичом. В процессе эксплуатации температура наружной поверхности обмуровки котла при номинальной теплопроизводительности и средней температуре воды 80 °С не должна превышать температуру в помещении более чем на 30 °С, за исключением участков шириной 100 мм вокруг неизолированных элементов (дверцы, гляделки и др.) [1]. Однако ни у одного из обследованных котлов обмуровка не соответствует требованию ГОСТ [1].

Одновременно обмуровка предохраняет котел от неорганизованного притока воздуха в топку и газоходы. В соответствии с [4] плотность обмуровки и газоходов должна контролироваться путем осмотра и определения присосов воздуха один раз в месяц. Однако данное требование не выполняется, о чем свидетельствует наличие большого количества неплотностей на фронтальных стенах всех котлов (котельная № 3), на задней стене котла, а также на правой стороне отводящего газохода и в зоне его входа в дымовую трубу (котельная № 2). На всех обследованных котлах имеются значительные неплотности в обмуровке по периметру загрузочных и зольниковых дверок, ни на одном из котлов не обеспечена возможность их плотного закрытия. На некоторых котлах нет зольниковых дверок (котельная № 4).

Данные обстоятельства, а также отсутствие шиберов на газоходах всех обследованных котлов приводят к постоянному нарушению Правил [4], в соответствии с которыми при остановке котла в резерв после вентиляции топки и газоходов все шиберы газовоздушного тракта, лазы, дверцы и лючки должны быть плотно закрыты. Несоблюдение данных требований приводит к протягиванию воздуха из помещения котельной через топку и газоход неработающего котла, что вызывает снижение мощности и КПД работающих котлов, охлаждение воды в секциях неработающего котла и снижение срока службы дымовой трубы, а также появление дополнительных теплопотерь помещением котельной.

Отсутствие систем контроля за температурой уходящих газов на всех обследованных котлах противоречит требованиям [4].

Нет системы учета поступающего топлива, периодический контроль

его качества отсутствует. Данное обстоятельство приводит к работе на топливе низкого качества, хотя конструкции топок котлов не рассчитаны на его сжигание. Так, в трех обследованных котельных (№ 1 – № 3) сжигалась сырая осина, в четвертой – длиннопламенный рядовой каменный уголь с повышенной зольностью, влажностью и, соответственно, пониженной теплотворной способностью (см. таблицу). Как теплотехнические, так и гранулометрические характеристики сжигаемого каменного угля значительно отличаются от приведенных в сертификате качества, предоставленном поставщиком топлива.

Во всех обследованных котельных отсутствует система учета отпуска тепловой энергии. В соответствии с [5, 6] на водогрейных котлах должны быть установлены приборы контроля температуры воды не только на выходе из каждого котла, но и на общем трубопроводе перед котлами. Кроме того, давление воды должно фиксироваться не только за котлами, но и перед ними, а также на всасывающей и нагнетательной линиях циркуляционных насосов [5]. В соответствии с нормативными документами [1, 4–7] должен фиксироваться и расход теплоносителя, однако данное требование не выполняется.

У всех котлов отсутствуют Режимные карты, что противоречит требованиям [5], на трех – журналы ремонта и производственные инструкции.

На всех котлах нет возможности регулировать тягу и практически не регулируется дутье. Это приводит к значительному изменению технико-экономических и экологических параметров котлов за период между загрузками топлива, что значительно усложняет проведение исследовательских работ и обработку полученных результатов.

Однако применение современного малоинерционного оборудования и обработка экспериментальных результатов с помощью многомодульного программно-методического комплекса (ПМК) [3] позволили получить данные, объективно отражающие состояние и эффективность работы котлов.

Для исследования состава продуктов сгорания использовали многокомпонентный газоанализатор «Каскад-Н 512.2», для определения разрежений в газовых трактах котлов – микроманометр «Comark». Теплотехнический анализ топлива проводили с помощью установок лаборатории комплексного термического анализа и калориметра В-08 МА с бомбой типа 2, гранулометрический состав каменного угля определяли на анализаторе «029» [2], температуры наружных поверхностей обмуровки котлов, а также прямого и обратного трубопроводов – с помощью пирометра.

Как видно из таблицы, в топках котлов «Универсал-6М» и «Тула-3» сжигалась сырая осина (по сведениям обслуживающего персонала котельных, она в течение всего отопительного сезона была основным видом топлива (70 %), остальное приходилось на березу (30 %)). Диоксид серы в дымовых газах отсутствовал во всех опытах.

Учитывая, что эти котлы не рассчитаны на сжигание древесины и их состояние не позволяет проводить регулировку тяги и дутья, технико-экономические и экологические показатели работы данных котлов имеют низкие значения, особенно, для котельной № 2. Как отмечалось ранее, у данной котельной самый неплотный газовый тракт, что вызывало уменьшение разрежения за котлом до  $-40$  Па, тогда как для котельной № 1 оно составляло  $-110$  Па.

Анализ условий работы древесных котлов показал, что потери теплоты с уходящими газами за период цикла между загрузками топлива имеют очень большие значения (особенно для котельной № 2). Высокие потери, прежде всего, объясняются большими значениями коэффициента избытка воздуха в топках котлов ( $\alpha_{yx} = 2,98...5,69$ ).

Потери теплоты с химическим недожогом топлива также имеют чрезвычайно высокие (особенно для котельных № 2 и № 3) значения  $q_3 = 12,06...31,65$  % (см. рисунок б), что объясняется низким уровнем температур в топках и техническим состоянием котлов, а также их непригодностью к сжиганию древесины с повышенной влажностью. Все это приводит к значительному загрязнению атмосферы вредными ингредиентами. Так, для теплогенерирующих установок котельной № 3 концентрация оксида углерода в уходящих газах, приведенная к  $\alpha_{yx} = 1,40$ , составляет  $18,50...41,51$  г/нм<sup>3</sup>.

Потери теплоты с механической неполнотой сгорания для котлов, работающих на древесине,  $q_4 = 0,56...1,45$  %; более высокие значения получены для котельной № 1 ввиду сжигания в ней осины с большей зольностью (осина с гнилой сердцевиной).

Потери теплоты от наружного охлаждения  $q_5$  определяли на основании результатов замеров температуры наружной поверхности обмуровки котлов с учетом температуры окружающего воздуха. Более высокие значения отмечены для котельной № 1 (см. таблицу), что объясняется более низким качеством обмуровки и более низкой температурой окружающего воздуха в помещении котельной ( $t_{o,b} = 15$  °С).

Потери с физической теплотой шлака на котлах, работающих на древесине,  $q_6 = 0,04...0,08$  %.

При проведении балансовых опытов средний КПД брутто ( $\eta$ ) водогрейных котлов за цикл между загрузками древесины составлял 25...47 % (см. таблицу), при этом определяющее влияние на него оказывало техническое состояние котла. Наибольший перерасход топлива имеет место для котельной № 2, где удельный расход условного топлива на выработку 1 ГДж почти в 2 раза больше, чем для котельной № 1.

Эмиссии оксидов азота и, особенно, монооксида углерода при проведении балансовых опытов на древесных котлах имели большие значения (см. таблицу), что вызвано их неудовлетворительным техническим состоянием и неоптимальным режимом эксплуатации.

Снижение выбросов угарного газа и оксидов азота может быть достигнуто путем приведения технического состояния котлов в соответствие с требованиями норм [1, 4–7] и уменьшения коэффициентов избытка воздуха в топках котлов до нормативных значений. Оптимизация конструкции топок и снижение влажности сжигаемой древесины создадут дополнительные возможности для уменьшения выбросов вредных веществ.

В топках котлов «Энергия-3М», установленных в котельной № 4, сжигаются высокорекреационные каменные угли. Исходя из данных сертификата качества, это каменный уголь марки «Д», обогащенный, класс крупности ПК, с низшей теплотой сгорания на рабочую массу  $Q_i^r = 23,05$  МДж/кг. Однако проведенное энергетическое обследование и последующие анализы показали, что сжигаемый уголь относится к классу рядовых (марка «Р»), имеет повышенную зольность и влажность (см. таблицу) и, соответственно, пониженную (почти на 24 %) тепло-

творную способность. При этом более 40 % (по массе) сжигаемого угля имеют размер частиц менее 13 мм, что вызывает дополнительные потери топлива в слоевых топках с ручным обслуживанием.

При сборке котла № 3 использовалось ограниченное количество секций, поэтому у него меньшие габариты и, соответственно, мощность. На котлах № 1 и № 2 зольниковые дверки отсутствуют, функцию верхних стенок у газоходов за котлами выполняют установленные на газоходы стальные радиаторы, что не позволяет обеспечить требуемые аэродинамическую плотность и термическое сопротивление.

Учитывая, что котлы данного типа рассчитаны на сжигание качественных малозольных углей с ограниченным количеством мелочи, а также тот факт, что их состояние не позволяет проводить регулировку тяги и дутья, эколого-экономические показатели работы данных котлов имеют невысокие значения (см. таблицу). Разрежение в газоходах за котлами в среднем составляет –50...–70 Па.

При проведении балансовых опытов средний КПД брутто водогрейных котлов за цикл между загрузками каменного угля  $\eta = 52,4...53,2$  %. Более высокий КПД угольных котлов и значительно меньшие значения эмиссий монооксида углерода объясняются большей теплотой сгорания каменного угля по сравнению с древесиной, что позволяет обеспечивать более высокую температуру в топках и снижение потерь теплоты с химическим недожогом топлива (см. таблицу). Однако сжигание угля сопровождается образованием диоксида серы, эмиссия которого составляет 0,486... 0,494 г/МДж. Кроме того, увеличивается загрязнение атмосферы твердыми частицами.

Выполненные исследования показали, что техническое состояние обследованных теплогенерирующих установок и низкое качество сжигаемого топлива не позволяют им работать с номинальной теплопроизводительностью.

Первоочередными мероприятиями для повышения эколого-экономических показателей работы обследованных секционных водогрейных котлов являются:

обеспечение нормативной плотности обмуровки котлов, их газоходов и плотности примыкания загрузочных и зольниковых дверей;

установка шиберов на газоходах котлов для обеспечения возможности регулирования их тяги и отключения газовых трактов неработающих установок;

установка датчиков и вторичных приборов контроля разрежения в топке и за котлом;

организация контроля температуры газов на выходе из котлов;

обеспечение возможности регулирования расхода воздуха в топках котлов;

организация системы учета поступающего топлива и периодический контроль его качества, обеспечение качественных показателей топлива в соответствии с техническими требованиями установленных котлов;

организация системы учета отпуска тепловой энергии, установка приборов контроля температуры и давления воды в трубопроводах перед котлами, манометров на всасывающей и нагнетательной линиях циркуляционных насосов, а также расходомеров;

проведение режимно-наладочных работ, разработка Режимных карт и эксплуатация котлов в соответствии с рекомендациями;

обеспечение эксплуатации, ремонта, технической диагностики и наладки оборудования котельных в пол-

ном соответствии с действующими нормативными документами [1, 4–7];

проведение энергосберегающих мероприятий на тепловых сетях и у потребителей тепловой энергии.

Сжигание сырой древесины в топочных камерах чугунных водогрейных секционных котлов, не приспособленных для данного вида топлива, значительно ухудшает топочный процесс и снижает его экономические и экологические показатели. Для обеспечения эффективного сжигания сырой древесины чугунные секционные котлы должны иметь внешние (или выносные) топки, размеры которых должны быть достаточными для термической подготовки древесного топлива, его устойчивого воспламенения и эффективного выгорания. Топки обследованных чугунных котлов («Универсал-6М», «Тула-3») для сжигания сырой древесины не приспособлены, поэтому следует ограничить ее влажность 40 % или провести реконструкцию топочных камер. Снижение влажности сжигаемой древесины до 40 % позволит повысить средний КПД брутто теплогенерирующих установок для котельной № 1 не менее чем на 8,2 %; для котельной № 2 – на 7,7 %; для котельной № 3 – на 6,5 %.

При сжигании углей в чугунных котлах с ручным обслуживанием необходимо использовать сортированное сухое ( $W_f^r \leq 9\%$ ) топливо с зольностью не более 18 % (на сухую массу) с максимальным размером кусков не более 50 мм и содержанием мелочи не более 20 %. Повышение качественных показателей каменных углей, поставляемых на котельную № 4, позволит повысить средний КПД брутто ее теплогенерирующих установок не менее чем на 9,8 %.

Генеральным направлением развития коммунальной энергетики является замена немеханизированных

морально и физически устаревших котлов новыми высокоэффективными автоматизированными теплогенерирующими установками повышенной мощности с преимущественным использованием местных видов топлива и отходов ЛПК.

Measures are offered for complex improvement of technico-economic and ecological characteristics of heating boilers operation.

Keywords: fuel wood, sectional cast-iron hot-water boiler, heat-generating device, nitrogen oxides and carbon oxide emission, coefficient of efficiency, heat losses resulting from chemical and mechanical incomplete burning.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. ГОСТ 30735–2001. Котлы отопительные водогрейные теплопроизводительностью от 0,1 до 4,0 МВт. Общие технические условия. М.: Изд-во стандартов, 2001. 18 с.

2. Любов В.К., Опякин Ю.К. Испытания твердых топлив: Метод. указания. – Архангельск, РИО АЛТИ, 1988. 24 с.

3. Любов В.К. Уменьшение выбросов вредных веществ путем повышения экологических показателей работы котлоагрегатов и увеличения доли биотоплива в топливном балансе региона // Экология северных территорий России. Проблемы, прогноз ситуации, пути развития, решения: Материалы междунар. конф. Архангельск: Ин-т эколог. проблем Севера УрО РАН, 2002. Т. 1. С. 200–204.

4. Правила технической эксплуатации коммунальных отопительных котельных. М.: НПО ОБТ, 1992. 87 с.

5. Правила устройства и безопасной эксплуатации паровых котлов с давлением пара не более 0,07 МПа (0,7 кгс/см<sup>2</sup>), водогрейных котлов и водоподогревателей с температурой нагрева воды не выше 388 К (115 °С). М.: НПО ОБТ, 1993. 185 с.

6. СНиП П-35–76. Котельные установки. Нормы проектирования. М.: Стройиздат, 1977. 50 с.

7. СП 41-104–2000. Свод правил по проектированию и строительству. Проектирование автономных источников теплоснабжения. 2000. 22 с.

Поступила 09.02.11

V.K. Lyubov, A.Yu. Romanov  
Northern (Arctic) Federal University

**Operating Efficiency Analysis of Heating Boilers**



УДК 556.566

**И.В. Тельминов, А.Л. Невзоров**

Северный (Арктический) федеральный университет

Тельминов Илья Валентинович родился в 1984 г., окончил в 2008 г. Архангельский государственный технический университет, аспирант кафедры инженерной геологии, оснований и фундаментов Северного (Арктического) федерального университета. Область исследований – геоэкология.

E-mail: ilya\_telm@mail.ru



Невзоров Александр Леонидович родился в 1954 г., окончил в 1976 г. Архангельский лесотехнический институт, доктор технических наук, профессор, заведующий кафедрой инженерной геологии, оснований и фундаментов Северного (Арктического) федерального университета. Имеет более 180 печатных работ в области грунтоведения, геоэкологии.

Тел.: 8(8182) 21-89-23



## ИССЛЕДОВАНИЕ ФИЛЬТРАЦИОННЫХ СВОЙСТВ ВЕРХОВОГО ТОРФА\*

Приведены результаты исследований фильтрационной анизотропии верхового торфа в компрессионно-фильтрационном приборе специальной конструкции.

*Ключевые слова:* торф, фильтрация, коэффициент фильтрации, фильтрационная анизотропия.

Для расчетов, связанных с мелиорацией торфяников, необходимо знать водно-физические свойства торфа, в первую очередь его водопроницаемость, характеризующуюся коэффициентом фильтрации.

Нами предложен прибор для определения водопроницаемости торфа, позволяющий определять коэффициент фильтрации при движении воды в различных направлениях на одном образце в ходе его одноосного уплотнения (рис. 1). На конструкцию прибора получен патент на полезную модель\*\*.

Рабочая камера 5 прибора имеет размеры 150×150×180 мм. В стенках 8, 14 выполнены горизонтальные кана-

лы 6, 16 с отверстиями для подачи или выпуска воды, снабженные штуцерами 2. К штуцерам подсоединены резиновые трубки, совмещенные со стендом управления. В корпусе стенда на одном уровне со штуцерами размещены краны 7 подачи и отвода воды. Стенки с каналами перекрываются перфорированными пластинами 4 и 17. Отверстия в пластинах, служащие для подачи и отвода воды, расположены рядами, совпадающими с осями каналов. Днище прибора 1 с каналами 18 перекрывается перфорированной пластиной 3. Для передачи давления на образец торфа используется поршень 15. Крышка прибора 9 снабжена втулкой 12, необходимой для фиксации штока 11 винтом 10. В крышке предусмотрен кран для стравливания воздуха 13.

В ходе испытаний определяли значение коэффициента фильтрации при движении воды в вертикальном, горизонтальном и диагональных направлениях (рис. 2).

\* Исследования выполнены в рамках исполнения Государственного контракта № 16.740.11.0436 по федеральной целевой программе «Научные и научно-педагогические кадры инновационной России» на 2009–2013 гг.

\*\* Прибор для определения коэффициента фильтрации пат. 97532 Рос. Федерация. № 2010117094/28; заявл. 29.04.10; опубл. 10.09.10, Бюл. № 25. 2 с.

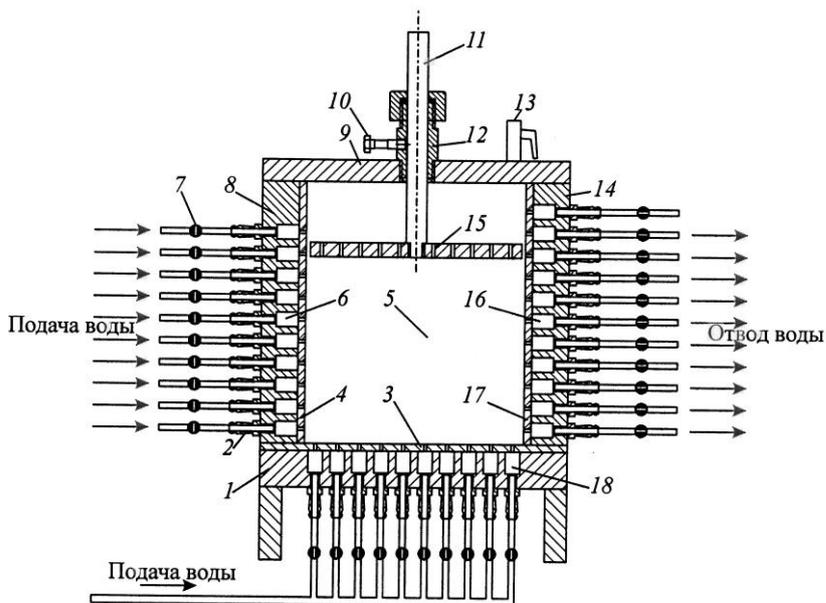


Рис. 1. Схема компрессионно-фильтрационного прибора

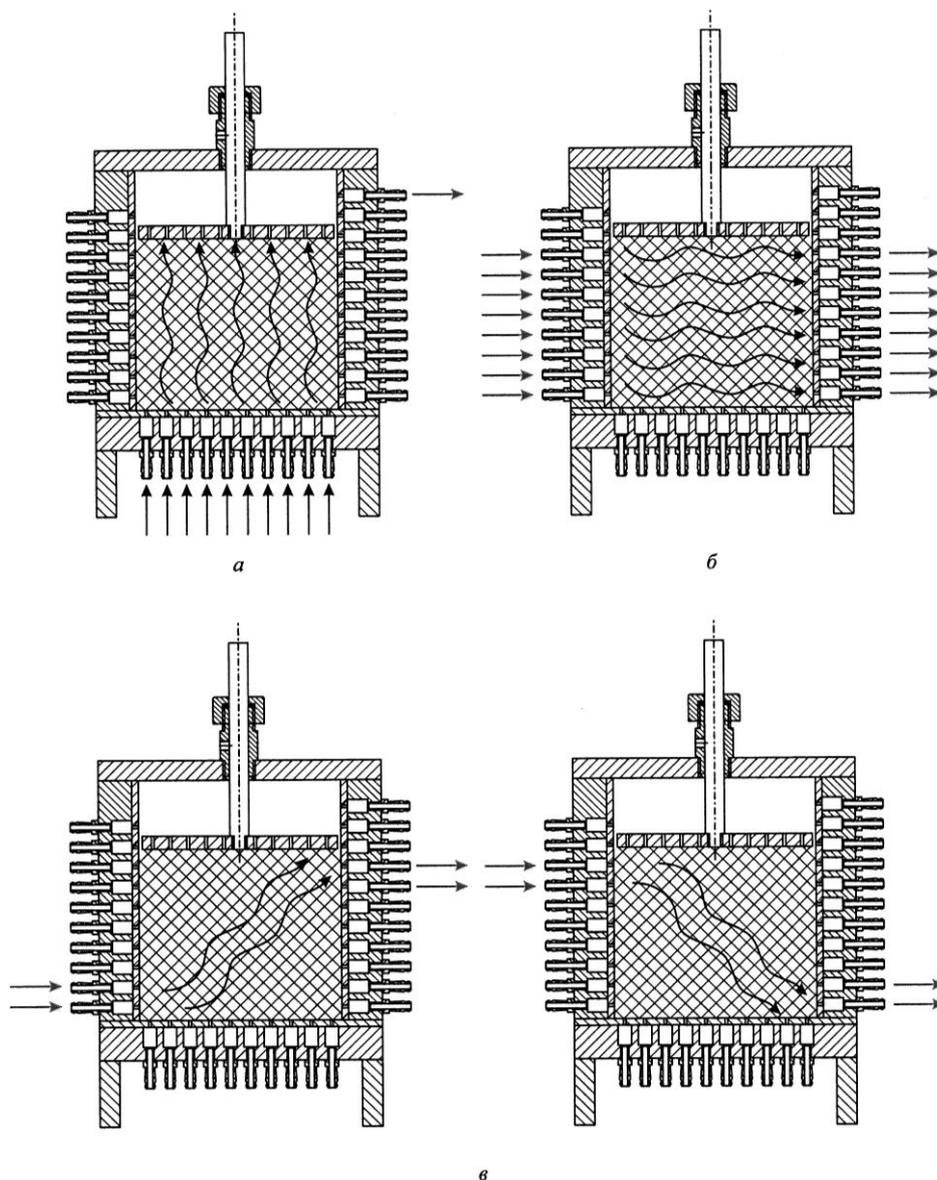


Рис. 2. Схемы движения воды в образце при испытаниях: *а* – вертикальное; *б* – горизонтальное; *в* – диагональное

Отбор образцов торфа для исследований производили на болоте верхового типа под г. Архангельском, с глубины 0,3...0,6 м. Монолиты размерами 20×20×20 см отбирали и упаковывали в герметичные емкости, которые до начала испытаний хранили при температуре +(4...5) °С. Физические свойства торфа: плотность 0,83...1,03 г/см<sup>3</sup>, влажность 888...1036 %, степень влажности 0,88...1,00, плотность частиц 1,48...1,50 г/см<sup>3</sup>, коэффициент пористости 12,1...16,8, степень разложения 5...10 %.

Непосредственно перед испытаниями из заранее отобранных монолитов кубической режущей формой вырезали образцы размером 15×15×15 см. Для предотвращения засорения отверстий стенки прибора покрывали неплотной хлопчатобумажной тканью. Форму с образцом опускали в рабочую камеру прибора, затем, слегка придерживая образец, аккуратно извлекали. Всего было испытано 11 образцов-монолитов.

Коэффициент фильтрации в вертикальном направлении определяют следующим образом. Закрывают краны для подачи и отвода воды в стенках прибора, кроме верхнего, и открывают краны в днище. Вода поступает через каналы днища, проходит через образец и поршень и сливается через верхнее отверстие в стенке в мерный цилиндр.

Для определения коэффициента фильтрации в горизонтальном направлении закрывают краны подачи воды в днище корпуса и открывают в стенках прибора. Высота слоя, фильтрующей жидкостью, регулируется числом открытых кранов.

Для выявления параметров фильтрации по диагонали образца в приборе поочередно устанавливают

движение воды от нижнего левого края образца к верхнему правому (восходящий поток) и от верхнего левого края образца к нижнему правому (нисходящий поток). Для этого открывают по два крана в каналах левой и правой стенок.

Средние значения коэффициентов фильтрации торфа в различных направлениях представлены в таблице.

**Коэффициенты фильтрации торфа, м/сут**

Давление, кПа	Направление движения воды		
	вертикальное	горизонтальное	диагональное
0	4,6	21,6	19,2
10	2,4	10,7	9,2
20	1,2	5,3	4,4
30	0,6	2,6	2,1

Опыты показали, что горизонтальная составляющая фильтрации превалирует над вертикальной. Степень фильтрационной анизотропии неуплотненного торфа составляет 4,7 и при росте давления от 0 до 30 кПа уменьшается до 4,1. Значения коэффициентов фильтрации торфа при диагональном движении воды для восходящего и нисходящего потоков не отличаются и находятся между значениями вертикальной и горизонтальной фильтрации.

*I.V. Telminov, A.L. Nevzorov*  
Northern (Arctic) Federal University

#### **Investigation of Filtration Properties of High-moor Peat**

The investigation results of filtration anisotropy of high-moor peat in the compressive-filtration device of a special design are presented.

Keywords: peat, filtration, filtration coefficient, filtration anisotropy.

УДК 661.183: [66.067+66.074]

**Ю.А. Варфоломеев, Н.И. Богданович, Е.М. Бокова**

Северный (Арктический) федеральный университет им. М.В. Ломоносова

Варфоломеев Юрий Александрович родился в 1953 г., окончил в 1975 г. Архангельский лесотехнический институт, доктор технических наук, профессор, проректор по инновационному развитию Северного (Арктического) федерального университета имени М.В. Ломоносова, заслуженный деятель науки РФ. Имеет более 300 научных трудов в области обеспечения долговечности древесины в строительстве экологически безопасными методами.

E-mail: y.varfolomeev@narfu.ru



Богданович Николай Иванович родился в 1943 г., окончил в 1969 г. Ленинградскую лесотехническую академию, доктор технических наук, профессор, заведующий кафедрой лесохимических производств Северного (Арктического) федерального университета имени М.В. Ломоносова, заслуженный работник высшей школы РФ. Имеет более 320 печатных трудов в области изучения пиролиза древесины и отходов ее химической и механической переработки с получением адсорбентов для очистки сточных вод и газовых выбросов, а также адсорбционных методов очистки сточных вод и переработки осадков.

Тел.: (8182) 21-89-46



Бокова Елена Михайловна окончила в 1969 г. Архангельский лесотехнический институт, директор Архангельского опытного водорослевого комбината. Имеет более 20 научных работ по переработке водорослей, получению новых продуктов, в том числе медицинского и парфюмерного назначения.

Тел.: 8 (8182) 62-83-49



## **ИНТЕГРАЦИЯ ИННОВАЦИОННОЙ ДЕЯТЕЛЬНОСТИ ПО РАЗРАБОТКЕ И ПРОИЗВОДСТВУ СРЕДСТВ ЗАЩИТЫ ОТ ПОСЛЕДСТВИЙ ТЕХНОГЕННЫХ АВАРИЙ И КАТАСТРОФ В АРКТИКЕ И СУБАРКТИКЕ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ МЕСТНЫХ СЫРЬЕВЫХ РЕСУРСОВ**

Рассмотрены особенности инновационного развития и освоения приарктических территорий, имеющих сырьевые ресурсы для получения вспомогательных продуктов, которые будут востребованы при создании средств защиты от последствий чрезвычайных ситуаций в условиях Севера.

*Ключевые слова:* активные угли, адсорбенты ферромагнитные, Арктика, морские водоросли, биологически активные вещества.

Высокотехнологичная разработка крупных месторождений углеводородов на морских акваториях Арктики активизировала деятельность многих стран по формированию и наращиванию своего экономического, информационного, политического и военного присутствия в этом отдаленном малонаселенном регионе, отличающемся экстремальными погодными-климатическими условиями. Особо следует отметить крайне высокую уязвимость северной природной среды, практически не восстанавливаемой после негативного антропогенного воздействия.

Северный (Арктический) федеральный университет (САФУ) обеспечивает научную и кадровую поддержку защиты геополитических и экономических интересов России в Арктике. Это реализуется на основе стратегического партнерства с бизнес-сообществом путем интеграции науки, производства и образования с созданием системы непрерывного профессионального образования.

В связи с этим необходима ориентация научного сообщества и отраслей промышленности на инновационный путь развития и освоения арктиче-

ских и субарктических территорий. Запланировано интенсивно развивать существующие в Архангельской области мощные предприятия судостроения и машиностроения, нефтегазодобывающую промышленность (создание высокотехнологичных морских сооружений для добычи, хранения, транспортирования и переработки углеводородного сырья в холодном климате и др.), лесную и деревообрабатывающую промышленность, глубокую переработку возобновляемых биоресурсов, северную (полярную) медицину, здравоохранение и др.

Активизация работ с углеводородами значительно повышает вероятность возникновения чрезвычайных (взрывы, пожары, загрязнение территорий и акваторий нефтепродуктами и т.п.) ситуаций (ЧС). Последствия ЧС и их ликвидация неизбежно связаны с риском для жизни и здоровья людей. Поэтому необходимо разрабатывать и создавать средства защиты. Особое место занимают эффективные адсорбенты для очистки воздуха и воды. При этом для получения углеродных и углерод-минеральных ферромагнитных адсорбентов предлагается использовать сухостойную древесину ели, которую необходимо срочно использовать в связи с большими объемами биоповреждений еловых древостоев в междуречье Северной Двины и Пинеги (Архангельская область), что подтверждается результатами космического мониторинга и полевых исследований [3, 4].

В САФУ разрабатывается [1, 2, 6, 7] два принципиально отличающихся способа термохимической активации древесных и других растительных материалов, являющихся, в основном, отходами переработки древесины, а также некоторых сельскохозяйственных культур.

По первому способу исходное сырье (технические лигнины, опилки, кора, солома, косточковые отходы, плодоваягодные жмыхи и др.) подвергается термической обработке (предпиролиз), смешивается с концентрированными растворами щелочи (лучше NaOH) и направляется на дополнительную термообработку (термохимическая активация), осуществляемую без доступа воздуха в атмосфере выделяющихся парогазов. Полученный науглероженный материал подвергают тщательной промывке водой и, при необходимости, 0,5 н HCl для снижения зольности. Активный уголь (АУ) сушат и упаковывают.

Выход АУ по этой технологии составляет от 15 до 35 % в расчете на сухое вещество сырья и зависит в основном от вида последнего. АУ получают в виде порошка, попытки гранулирования приводили к потере сорбционных свойств.

Сорбционные свойства углей (метиленовый голубой, йод, гексан и др.) в 2,5–4,0 раза превосходят аналогичные показатели промышленно выпускаемых в России активных углей подобного класса. Объем сорбирующих пор достигает 1,2 см<sup>3</sup>/г по бензолу и 2,0 см<sup>3</sup>/г по азоту (БЭТ). Варьируя режимные параметры предпиролиза и термохимической активации можно получить микропористые активные угли, в том числе с преобладанием супермикропор, а также угли с высоким содержанием мезопор. В определенных условиях получают легкие (вспученные с насыпной массой 48...50 г/л) или тяжелые (до 300 г/л) АУ.

Практически все полученные этим способом угли применяют для изготовления порошкообразных углеродных адсорбентов. Из новых направлений использования некоторых из них следует отметить получение тканевых

материалов для газовых респираторов, а также изготовление аккумуляторных батарей большой мощности.

По второму способу исходное сырье (как и в первом способе) обрабатывают гидроксидами железа, после чего полученную смесь подвергают термообработке в режиме пиролиза (в атмосфере парогазов). В результате взаимодействия с гидроксидами железа происходит активирование углеродной матрицы и формирование пористой структуры органоминеральных ферромагнитных адсорбентов, сорбирующих до 380 мг/г метиленового голубого, до 120 % йода, до 600 мг/г гептана. Объем сорбирующих пор, по данным низкотемпературной адсорбции азота, достигает 0,58 см<sup>3</sup>/г, в том числе на микропоры приходится 0,26 см<sup>3</sup>/г. Для отдельных образцов общая удельная поверхность по БЭТ превышает 600 м<sup>2</sup>/г, поверхность мезопор достигает 200 м<sup>2</sup>/г.

Гидроксиды железа при термообработке вступают в химическое взаимодействие с сырьевыми материалами, что приводит к формированию циклически полимеризованных углеродных матриц и ферромагнитных свойств, обусловленных наличием соединений железа в наиболее активной форме. Намагниченность насыщения полученных образцов достигает 60 А·м<sup>2</sup>/кг. При этом следует отметить, что увеличение напряженности магнитного поля выше 4000 Гс не приводит к росту удельной намагниченности.

Синтезированные ферромагнитные адсорбенты могут найти применение при обработке газообразных и жидких сред в самых разнообразных областях. Наиболее эффективно их использовать для очистки газовых сред от сероводорода и сероорганических соединений. Данные предварительных исследований свидетельствуют об их

эффективности при извлечении углекислого газа из воздуха и других газов, причем процесс адсорбции СО<sub>2</sub> сопровождается химическим взаимодействием с активными центрами адсорбента и высвобождением некоторого количества кислорода.

Внедрение порошкообразных частиц ферромагнитных адсорбентов в структуру волокнистых материалов (целлюлоза, синтетические нетканые материалы) позволяет изготовить материалы для защиты людей от электромагнитного излучения.

Исследования синтеза активных углей и ферромагнитных адсорбентов продолжают в основном в лабораторных условиях. На укрупненной экспериментальной установке наработано около 200 л АУ, переданного различным фирмам для определения потребительских свойств. Полученные ими результаты подтверждают сделанные в САФУ выводы о свойствах адсорбентов, рассматриваемых в настоящей работе.

Имеются некоторые предположения по технологическому и аппаратному оформлению процессов. Однако опытно-конструкторские и проектные работы в данном направлении пока не проводились из-за отсутствия финансирования. Некоторые элементы технологии, разрабатываемые как ноу-хау, при необходимости могут быть защищены патентами на изобретения.

Другим важным направлением инновационной деятельности САФУ является кардинальная модернизация переработки беломорских водорослей с расширением ассортимента готовой продукции и объемов производства ОАО «Архангельский опытный водорослевый комбинат». В фармакологическую группу продукции этого предприятия входят препараты альгимаф и альгипор, предназначенные для

лечения заболеваний кожи. Альгимаф эффективен для лечения ожогов, длительно незаживающих трофических ран и язв. Его фармакологическое действие – дерматопротективное, адсорбирующее, противомикробное, стимулирующее регенерацию. Альгипор предназначен для лечения ожогов, в том числе глубоких, с влажным струпом и обильными отделениями, а также вяло заживающих ран и язв, трофических язв и пролежней. Его фармакологическое действие – раноочищающее, адсорбирующее, дезинтоксикационное, стимулирующее регенерацию. Имеются большие перспективы по совершенствованию противоожоговых препаратов.

В настоящее время на ОАО «Архангельский опытный водорослевый комбинат» осуществляется выпуск ряда биологически активных защитных средств. Например, препарат каналгат оказывает противорадиационное действие при внешнем облучении организма и стимулирующее действие на систему кроветворения. Препараты магний-альганат и калий-альганат избирательно связывают и выводят из организма ионы тяжелых металлов и радионуклидов, среди них опасные Sr-90 и Cs-137. На основе природного полисахарида морских бурых водорослей с основным действующим веществом альгинатом натрия производится продукт натальгин, который способен выводить из организма ионы тяжелых металлов (свинца и кадмия), а также радионуклиды (стронция, бария, радия и др.). Дополнительным источником йода и профилактическим средством при гиповитаминозах, повышающим сопротивляемость организма неблагоприятным факторам окружающей среды и снижающим риск возникновения атеросклероза, рака, хронических инфекций является общеукрепляющее сред-

ство фукал в виде капсул, которое представляет собой наиболее удобную для применения форму морской водоросли фукус. Продукт с товарным названием кальцинат поставляет в организм кальций, помогает при аллергических заболеваниях, последствиях лучевой болезни и химиотерапии, выводит из организма токсичные вещества, поступающие с продуктами питания, водой, воздухом, избирательно выводит соли тяжелых металлов и радионуклидов без потери жизненно важных микро- и макроэлементов. Выпускаемый в капсулах марикор является дополнительным источником йода, нормализует обменные процессы в организме, является легким желче- и мочегонным средством, применяется при нарушении функций щитовидной железы. Пищевая дробленая ламинария, или морская капуста, выводит токсины и радионуклиды, ликвидирует витаминно-минеральную недостаточность, повышает иммунитет, способствует нормализации функций щитовидной железы, центральной нервной, сердечно-сосудистой и дыхательной систем, улучшает пищеварительные и обменные процессы в организме.

В настоящее время в САФУ разрабатывается технология комплексной глубокой переработки морских водорослей и зеленой растительной массы, получаемой при переработке леса. Это позволит значительно расширить сырьевую базу для производства биоактивных препаратов. Результаты исследований используются для обоснования проекта реконструкции ОАО «Архангельский опытный водорослевый комбинат».

Важнейшими направлениями совместной инновационной деятельности САФУ и ОАО «Корпорация «Росхимзащита» являются подготовка и повышение квалификации кадров для

науки и производства в сфере создания биологически активных средств защиты на основе использования местного сырья [1, 2, 5–7] Арктики и Субарктики. В настоящее время разрабатывается программа обучения, в том числе в ходе проведения совместных научных исследований аспирантов и докторантов с привлечением студентов, а также при выполнении проектно-технологических работ по внедрению новой продукции и наращиванию объемов производства.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Богданович Н.И., Калинин О.А., Добеле Г.В. Предпиролиз древесного сырья в синтезе активных углей с NaOH // Лесн. журн. 2008. № 2. С. 117–122. (Изв. высш. учеб. заведений).
2. Богданович Н.И. Пиролиз технических лигнинов // Лесн. журн. 1998. № 2. С. 120–132. (Изв. высш. учеб. заведений).
3. Варфоломеев Ю.А., Гурьев А.Т., Алешко Р.А. Методические и технические аспекты космического мониторинга биоповреждения и усыхания еловых лесов // Лесн. журн. 2010. № 5. С. 149–156. (Изв. высш. учеб. заведений).
4. Варфоломеев Ю.А. Модернизация производства переработки еловой древесины с биоповреждениями // Лесн. журн. 2010. № 4. С. 142–147. (Изв. высш. учеб. заведений).
5. Комплексная химическая переработка древесины: Учеб. для ВУЗов / Н.И. Богданович [и др.]. 3-е изд., испр. и доп. Архангельск: Изд-во АГТУ, 2006. 374 с.

6. Формирование пористой и надмолекулярной структуры активных углей в совмещенном процессе пиролиза-активации технических лигносульфонатов на Na-основании / Н.И. Богданович [и др.] // Лесн. журн. № 3. 1998. С. 153–166. (Изв. высш. учеб. заведений).

7. Формирование сорбционных и магнитных свойств ферромагнитных адсорбентов при пиролизе отходов переработки древесины в присутствии гидроксида железа (III) / Н.И. Богданович [и др.] // Лесн. журн. 1999. № 2-3. С. 142–150. (Изв. высш. учеб. заведений).

*Yu.A. Varfolomeev, N.I. Bogdanovich, E.M. Bokova*  
Northern (Arctic) Federal University named after M.V. Lomonosov

#### **Integration of Innovation Activity on Development and Production of Protection Facilities against Industrial Accidents Consequences and Catastrophes in the Arctic and Subarctic with Use of Local Raw Resources**

The analysis is carried out for peculiarities of innovation and subarctic territories development possessing raw resources for producing auxiliary products to be called for in the North conditions when creating protection facilities against emergency situations.

**Keywords:** active coals, ferromagnetic adsorbents, the Arctic, marine algae, biologically active substances.

УДК 330.15:211.17

*Ю.А. Варфоломеев*

Северный (Арктический) федеральный университет им. М.В. Ломоносова

## **ПРОБЛЕМЫ И ПЕРСПЕКТИВЫ БЕЗОПАСНОГО ОСВОЕНИЯ РЕСУРСОВ АРКТИКИ**

Изложены основные направления и первые этапы реализации разработанного в САФУ инновационного проекта технологической платформы «Инфраструктура Арктики» с участием ведущих научных, образовательных, проектных и производственных организаций Архангельской и Мурманской областей, Ненецкого автономного округа, Республики Коми, городов Москвы и С.-Петербурга.

*Ключевые слова:* Арктика, природные ресурсы, безопасность, инфраструктура, мониторинг.

В федеральном государственном автономном образовательном учреждении высшего профессионального образования «Северный (Арктический) федеральный университет имени М.В. Ломоносова» (далее – САФУ) в 2010 г. разработан инновационный проект технологической платформы «Развитие инфраструктуры арктических и субарктических территорий для безопасного освоения ресурсов и повышения качества жизни населения» (краткое название проекта – «Инфраструктура Арктики»). В его реализации приняли участие ведущие научные, образовательные, проектные и производственные организации Архангельской и Мурманской областей, Ненецкого автономного округа (НАО), Республики Коми, городов Москвы и С.-Петербурга.

Основные направления деятельности в рамках разработанного проекта:

высокотехнологичный мониторинг климата и природной среды, совершенствование автоматизированной обработки информации и систем доведения данных до разных групп пользователей;

безопасное освоение природных ресурсов с принятием управленческих решений на основе оперативной информации об изменениях климата и других

факторов, влияющих на реализацию запланированных процессов;

повышение качества жизни коренного населения, вахтовых работников и военнослужащих за счет нового эффективного строительства и развития коммуникативной инфраструктуры.

Проектом предусмотрено развивать космический мониторинг климата, природной среды территорий и влияния антропогенного воздействия; мониторинг воздействия холодного климата на людей и системы адаптации человека; технологии традиционных промыслов и ремесел коренного населения; создание новых материалов для эксплуатации в холодном климате; энергоэффективное и эргономичное строительство в арктическом климате, эффективное энергообеспечение малых населенных пунктов и локальных промышленных объектов, модернизация инфраструктур транспортных и энергетических систем; создание морских сооружений для добычи, хранения и транспорта углеводородного сырья в холодном климате, создание и модернизация технического флота, в т.ч. многофункциональных транспортных средств для эксплуатации на необорудованных береговых и заболоченных территориях; глубокая переработка возобновляемых биоресурсов и др.

Имеется ряд технологических вызовов, определяющих создание проекта технологической платформы, направленной на научное сопровождение активизирующейся деятельности в Арктике, где будут работать крупнейшие в мире инновационные производственные компании других развитых государств. Можно выделить три основные группы вызовов, подтверждающих значимость использования новых технологий и материалов в Арктике.

#### *1. Ситуация в мире:*

в связи с высокотехнологичной разработкой крупных месторождений углеводородов на морских акваториях Арктики многие страны активизировали деятельность в целях формирования и наращивания своего экономического, информационного, политического и военного присутствия в этом отдаленном малонаселенном регионе, отличающемся экстремальными погодно-климатическими условиями, которые кардинально усложняют жизнедеятельность;

проводимая сопредельными странами политика направлена на достижение превосходства во всех сферах деятельности и основана на активном использовании передовых достижений науки и техники.

#### *2. Ситуация в стране:*

удаленность арктических и субарктических территорий от основных промышленных и населенных центров;

высокая обеспеченность крупномасштабными, но труднодоступными запасами природных ресурсов;

природные условия, экстремальные для постоянного проживания человека и организации хозяйственной деятельности, низкая плотность населения;

очаговое развитие территории, освоения ресурсов и использования современных средств телекоммуникаций;

несовершенство транспортных и энергетических систем;

отсутствие в регионе (за исключением г. Мурманска) предприятий (особенно малых) по переработке рыбы, недревесной продукции леса и др., что снижает мотивацию коренного населения к занятиям традиционными промыслами;

высокий физический и моральный износ построек в сельской местности, несоответствие их современным требованиям энергоэффективности, комфортности, трудосбережения;

недостаточно развитая система мониторинга климата и природной среды территорий для оперативного использования полученных данных в различных сферах деятельности;

крайне высокая уязвимость природной среды, практически не восстанавливаемой вследствие негативного антропогенного воздействия;

неразвитая инфраструктура транспорта (многие аэродромы находятся в запущенном состоянии, не оснащены современными средствами для обеспечения безопасности полетов, поэтому на малонаселенных территориях не развивается малая авиация);

за исключением крайнего запада Мурманской области (до г. Мурманска железная дорога перегружена) отсутствует связь побережья арктических морей с сетью железных и автомобильных дорог круглогодичного действия;

неэкономичная система энергообеспечения малых населенных пунктов, отсутствие рациональных технологий использования попутного газа (в местах добычи углеводородного сырья попутный газ сжигают в атмосфере);

полная зависимость хозяйственной деятельности и жизнеобеспечения населения от завоза топлива, продовольствия, товаров первой необходимости, строительных материалов, в регионе не обеспечена продовольственная безопасность;

высокие затраты на осуществление хозяйственной деятельности и жизнеобеспечение населения.

### *3. Ситуация в отраслях:*

несоответствие производственного потенциала отечественных разработок для освоения Арктики мировому научно-техническому уровню;

низкий ассортимент материалов, в том числе наноматериалов, эффективных для применения в холодном климате;

развиваются процессы оттока из региона постоянно проживающего трудоспособного населения;

порты и портопункты побережья в устьях рек резко теряют свою пропускную способность из-за нерегулярного проведения дноуглубительных работ в условиях приливных арктических морей и отсутствия техники для этого;

отсутствует системное научно-техническое сопровождение деятельности в регионе с экстремальным климатом, что резко снижает экономическую эффективность и может нанести невосполнимый ущерб природной среде Арктики;

наука и производство не имеют средне- и долгосрочных программ научно-технического и промышленного развития арктических и субарктических территорий, отсутствует единая инновационная технологическая цепочка по их освоению;

слаба организация частногосударственного партнерства в сфере освоения региона, силен фактор регионального субъективизма;

не развита перерабатывающая промышленность даже для нужд региона;

нехватка и неэффективное использование инвестиций в развитие региона.

По указанным причинам необходима ориентация общества и отраслей промышленности на инновационный путь развития и освоения арктических и субарктических территорий. В число основных секторов (отраслей) экономики, на которые нацелено влияние разработанной технологической

платформы, входят лесная и деревообрабатывающая промышленность; сельское, рыбное хозяйство; нефтегазодобывающая промышленность (высокотехнологичные морские платформы и др.); водный, воздушный, железнодорожный, автомобильный и специальный транспорт; промышленное производство; пищевая промышленность; гражданское и промышленное строительство (в т.ч. предприятий разной мощности по переработке местного сырья); строительство энергосетей, железных и автомобильных дорог, аэродромов; водоочистные сооружения и утилизация отходов; муниципальное образование и жилищно-коммунальное хозяйство; общественные сооружения, лечебные учреждения, бассейны, спортивные и развлекательные комплексы и др.

Разработанный проект полностью соответствует концепции создания и программе развития САФУ, которые поддержаны Правительством РФ. В настоящее время осуществляется реализация указанного проекта по ряду направлений.

В САФУ разработана и реализуется долгосрочная региональная программа комплексных обследований существующих на Севере аэродромов (Котлас, Соловки, Васьково и др.), в том числе и заброшенных, в целях последующего их восстановления либо кардинальной модернизации. Для этих целей закуплено современное геодезическое оборудование, все работы выполняются в соответствии с требованиями Международной организации гражданской авиации. В состав рабочих групп включены аспиранты и студенты, которые на практике осваивают сложное оборудование. На территории Архангельской области и НАО предстоит обследовать 43 аэродрома, из которых 32 имеют грунтовые взлетно-посадочные полосы. Ввод в эксплуатацию заброшенных и модернизация

эксплуатируемых аэродромов позволит развивать на Севере малую авиацию, использование которой эффективно для грузо- и пассажирских перевозок и мониторинга территорий.

Особое значение для малонаселенных и труднодоступных арктических и субарктических территорий имеет развитие информационно-коммуникационной инфраструктуры. Например, исследования американской компании «Cisco» показали, что в 2010–2015 гг. мировой мобильный трафик возрастет в 26 раз и составит 75 эксабайт/год. Без применения широкополосной связи эффективную деятельность в Арктике не обеспечить. Поэтому в САФУ сформированы рабочие группы аспирантов и докторантов для апробации и исследований в жестких климатических условиях Арктики и Субарктики технологии нового поколения – 4G беспроводной широкополосной передачи данных, с помощью которой можно обеспечить безопасность стратегических объектов, постоянное автоматизированное скрытое наблюдение за государственной границей, осуществлять мониторинг природной среды, инженерных объектов и др.

Для развития высокотехнологичных наукоемких производств по тем направлениям, которыми ранее в САФУ никто не занимался, создан ряд оснащенных самым современным оборудованием инновационных структур (Центр космического мониторинга «Арктика», Центр мониторинга лесов, Центр радиотехнического мониторинга, Центр инновационного обучения), а также малые инновационные предприятия (Навигационная диспетчерская служба «Арктика», Региональный центр «Комплексная безопасность», Экспертно-аттестационный инженерный центр, Центр наукоемких технологий» и др.). Ведутся проектные работы по созданию в САФУ производства микросхем с

последующим его развитием (выпуск микрочипов).

Для обучения студентов, аспирантов и докторантов САФУ и организации совместных исследований Арктики с использованием космического мониторинга, осуществляемого с помощью спутников, завершается создание межуниверситетской кафедры при Арктическом и антарктическом научно-исследовательском институте (АНИИ, г. Санкт-Петербург). Ведутся совместные работы по организации национальной ледовой службы на базе АНИИ, которая необходима для развития Северного морского пути. При этом планируется рационально использовать потенциал созданного в САФУ Центра космического мониторинга «Арктика».

Ведутся подготовительные работы для организации в рамках проекта «Инфраструктура Арктики» совместной деятельности с учеными Республики Коми по развитию строительства железнодорожной магистрали «Белкомур», современных автодорог круглогодичного действия Нарьян-Мар–Печора и Мезень–Архангельск. Совместно с зарубежными партнерами завершается подготовительная работа по реализации второго этапа проекта «Энергоэффективный деревянный дом для Северо-Запада России» (начат в 1997 г.). При участии ведущих научных структур России в сфере строительства (Российская академия архитектуры и строительных наук, Научно-исследовательский центр «Строительство» (г. Москва) и др.) с привлечением передового опыта Норвегии, Швеции, Финляндии, Германии и др. зарубежных стран в рамках этого инновационного международного проекта проводятся комплексные исследования по строительству в экстремальных условиях Арктики быстровозводимых (в течение 5 ч) энергоэффективных деревянных модульных зданий полной заводской комплектации, оснащенных автономными

системами инженерных коммуникаций. Ученые изготовили и смонтировали на территории САФУ экспериментальный образец такого дома. Мониторинг состояния его конструкций, инженерных систем, управление внутренним климатом в помещениях в режиме рационального расхода энергии осуществляется дистанционно с использованием сети Internet, например, с базового узла управления, находящегося на неограниченном расстоянии от обслуживаемого объекта. Создание комфортных условий и минимизация затрат на обслуживание жилья позволят не только повысить качество жизни населения в Арктике, но и в несколько раз снизить энергозатраты, а также обеспечить контроль за этой территорией РФ.

Следует отметить, что в Архангельской области и НАО отсутствуют хранилища природных носителей геологической информации (керна, образцы горных пород, дубликаты проб, образцы пластовых флюидов, шлама, полученные в процессе научных, геологоразведочных и добычных работ), оборудованные в соответствии с существующими нормативными требованиями. Поэтому Архангельский филиал ФГУ «Территориальный фонд геологической информации по Северо-Западному федеральному округу» арендует необорудованные помещения или вывозит образцы в пос. Апрельевка Московской области. Однако динамичное развитие геологоразведки и нефтедобывающих предприятий на Европейском Севере невозможно обеспечить без специализированного исследовательского центра с механизированным хранилищем природных носителей геологической информации. В связи с этим в Управлении инновационных технологий САФУ раз-

работано техническое задание на строительство учебно-производственного комплекса, включающего хранилище природных носителей геологической информации и аналитическую лабораторную базу для исследования полезных ископаемых.

Сочетание в едином современном центре хранилища природных носителей геологической информации и их исследований позволит значительно повысить эффективность решения научных и производственных задач, объединить усилия научных и производственных организаций в изучении природных ресурсов Европейского Севера России и Арктики. Это положительно повлияет на качество поисково-разведочных и добычных работ. Независимость САФУ от ведомственной принадлежности предприятий, осуществляющих хозяйственную деятельность в Арктике, обеспечит загрузку заказами создаваемого центра, оснащаемого самым современным оборудованием.

*Yu.A. Varfolomeev*

Northern Arctic Federal University named after  
M.V. Lomonosov

### **Challenges and Perspectives of Safe Development of the Arctic Resources**

The main directions and first realization stages of the innovation project developed by NArFU on technological platform "Infrastructure of the Arctic" are stated. The leading scientific, educational, design and production organization of Arkhangelsk and Murmansk Regions, Nenets Autonomous Area, Komi Republic, Moscow and Saint-Petersburg are involved in the project.

Keywords: the Arctic, natural resources, safety, infrastructure, monitoring.



УДК 06.091

**ЮБИЛЕЙ ЕФИМА ДМИТРИЕВИЧА ГЕЛЬФАНДА**

7 июля 2011 г. исполнилось 75 лет со дня рождения доктора технических наук, профессора кафедры биотехнологии Северного (Арктического) федерального университета имени М.В. Ломоносова (САФУ), чл.-корр. РАЕН Е.Д. Гельфанда.

В 1954 г. он поступил на химико-технологический факультет Архангельского лесотехнического института, который окончил в 1959 г. Вся дальнейшая трудовая жизнь Ефима Дмитриевича связана с АЛТИ–АГТУ: старший инженер Проблемной лаборатории химической переработки древесины, с 1967 г. – доцент, после учебы в аспирантуре и успешной защиты кандидатской диссертации, с 1988 г. – профессор кафедры химии древесины, целлюлозы и гидролизных производств. В 1996 г. он защищает докторскую диссертацию и продолжает работу на кафедре.

Результатом его многолетней научной деятельности в области химической технологии древесины, гидролиза растительного сырья, биохимической переработки гидролизатов и сульфитных щелочков на спирт и кормовые дрожжи, очистки производственных сточных вод, утилизации осадков сточных вод, переработки лигнина и промышленной экологии являются более 350 публикаций. Е.Д. Гельфанд – автор 150 изобретений, защищенных авторскими свидетельствами СССР и патентами РФ, некоторые из них внедрены в производство. Под его руководством подготовлены и защищены несколько кандидатских диссертаций. Профессор Гельфанд привлекает к научной и изобретательской работе студентов, более 70 из них являются его соавторами.

Е.Д. Гельфанд принимает активное участие в работе трех диссертационных советов САФУ. Много лет он входит в состав редколлегии «Известий высших учебных заведений. Лесного журнала».

Ефим Дмитриевич – высококвалифицированный и эрудированный преподаватель, автор учебника и ряда учебных пособий.

Деловитость и увлеченность, широкую эрудицию и целеустремленность, умение четко сформулировать проблему и обеспечить ее творческое и рациональное решение, требовательность к себе и другим высоко ценят не только его коллеги, но и студенты университета.

За заслуги в научной и общественной деятельности Ефим Дмитриевич удостоен звания заслуженного изобретателя РФ, награжден знаком «Почетный работник высшего профессионального образования РФ», отмечен многочисленными дипломами ВДНХ СССР, почетными грамотами мэрии г. Архангельска и Областного совета ВОИР за многолетнюю изобретательскую деятельность.

Приветствуя Ефима Дмитриевича по случаю юбилея, желаем ему крепкого здоровья, творческих успехов и благодарных учеников.

**Ректорат Северного (Арктического) федерального университета имени М.В. Ломоносова, редколлегия и редакция «Лесного журнала»**

*Administration of Northern Arctic Federal University named after M.V. Lomonosov, editorial board and editorial staff of "Lesnoi Zhurnal"*

**Jubilee of Efim D. Gelfand**