

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

АРХАНГЕЛЬСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ ТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ

ИЗВЕСТИЯ
ВЫСШИХ УЧЕБНЫХ
ЗАВЕДЕНИЙ

Лесной журнал

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

3

2009

ИЗДАТЕЛЬ – АРХАНГЕЛЬСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ
ТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ

Главный редактор – д-р техн. наук, проф. **А.Л. Невзоров**

Заместители главного редактора:

д-р хим. наук, проф. **О.М. Соколов**, д-р экон. наук, проф. **Е.С. Романов**

ЧЛЕНЫ РЕДКОЛЛЕГИИ:

д-р хим. наук, проф. **А.М. Айзенштадт**, д-р геогр. наук, проф. **А.С. Алексеев**, д-р техн. наук, проф. **Е.Д. Гельфанд**, д-р техн. наук, проф. **А.А. Камусин**, д-р экон. наук, проф., акад. РАСХН **Н.И. Кожухов**, д-р техн. наук, проф. **В.И. Комаров**, д-р техн. наук, проф. **В.С. Куров**, канд. техн. наук, проф. **Н.В. Лившиц**, д-р с.-х. наук, проф. **Р.Н. Матвеева**, д-р техн. наук, проф. **В.И. Мелехов**, д-р с.-х. наук, проф. **М.Д. Мерзленко**, д-р биол. наук, проф. **Е.Г. Мозолевская**, д-р техн. наук, проф. **Д.Г. Мясичев**, д-р с.-х. наук, проф. **Е.Н. Наквасина**, канд. с.-х. наук, доц. **О.А. Неволин**, д-р техн. наук, проф. **А.Н. Обливин**, д-р техн. наук, проф. **А.В. Питухин**, д-р хим. наук, проф. **Д.А. Пономарев**, д-р с.-х. наук, проф. **Е.М. Романов**, д-р с.-х. наук, проф. **В.П. Рябчук**, д-р техн. наук, проф. **Э.Н. Сабуров**, д-р биол. наук, проф. **Е.Н. Самошкин**, д-р техн. наук, проф. **В.Г. Санаев**, д-р биол. наук, проф. **А.В. Селиховкин**, д-р техн. наук, проф. **В.В. Сергеевичев**, д-р техн. наук, проф. **В.А. Суслов**, д-р техн. наук, проф. **Ф.Х. Хакимова**, д-р техн. наук, проф. **В.Я. Харитонов**, д-р с.-х. наук, проф. **А.И. Чернодубов**, д-р с.-х. наук, проф. **Г.А. Чибисов**, д-р техн. наук, проф. **Ю.А. Ширнин**, проф. **Х.-Д. Энгельмани**

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

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

Сдан в набор 27.04.2009. Подписан в печать 30.06.2009. Заказ № 145
Форм. бум. 70×108 1/16. Гарнитура Таймс. Усл. печ. л. 12,77. Усл. кр.-отг. 12,77.
Уч.-изд. л. 16,351. Тираж 1000 экз.
Архангельский государственный технический университет

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

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



СОДЕРЖАНИЕ

ЛЕСНОЕ ХОЗЯЙСТВО

<i>В.Н. Косицын.</i> Динамика лесоустроительных работ и перспективы лесостроительства в России.....	7
<i>Е.Н. Наквасина.</i> Ассимиляционный аппарат как показатель адаптации сосны обыкновенной к изменению климатических условий произрастания.....	12
<i>А.Ю. Карпечко.</i> Влияние разреживания на корненасыщенность почвы еловых древостоев южной Карелии.....	19
<i>Ю.Т. Цай, В.М. Груманс.</i> Оценка энергозатрат рабочих при тушении лесных пожаров.....	25
<i>Н.М. Матвеев.</i> Особенности степных лесов крайнего юго-востока Европейской России.....	30
<i>Б.П. Чураков, А.И. Кандрашкин.</i> Зараженность древостоев сосны сосновой губкой в различных типах леса и ее влияние на выход деловой древесины 37	
<i>И.Ю. Адамович, Е.Н. Самошкин.</i> Микоризы сосны обыкновенной при различных уровнях радиоактивного загрязнения.....	41
<i>А.В. Туунен, А.Н. Громцев.</i> Оптимизация использования зеленых зон в условиях таежной зоны на ландшафтной основе.....	47

ЛЕСОЭКСПЛУАТАЦИЯ

<i>Д.Г. Мясищев, А.Ф. Прокопьев.</i> Обоснование параметров и выбор компонентов шасси мини-форвардера для рубок ухода в молодняках.....	53
<i>А.С. Миляев.</i> Прочностные расчеты конструкций лесовозных дорог с жесткими покрытиями при движении гусеничных машин.....	60
<i>В.А. Грязин.</i> Влияние природных условий на энергоемкость трелевки древесины тракторами с чокерным оборудованием.....	68
<i>А.Ф. Павлов, Ф.А. Павлов.</i> Лесовозные усы с глубоким дренированием земляного полотна.....	73
<i>А.П. Соколов, Ю.Ю. Герасимов.</i> Геоинформационная система для решения оптимизационной задачи транспортной логистики круглых лесоматериалов 78	

*МЕХАНИЧЕСКАЯ ОБРАБОТКА ДРЕВЕСИНЫ**И ДРЕВЕСИНОВЕДЕНИЕ*

<i>В.И. Коняшкин.</i> Теоретический анализ напряжений режущей части упрочненного инструмента.....	86
<i>Б.Д. Руденко.</i> Гипсополимерный композит на основе древесных частиц.....	91
<i>А.Е. Алексеев, В.П. Емельянов, Н.И. Маркин.</i> Исследование параметров линейного электропривода узла резания маятникового торцовочного устройства 95	
<i>В.К. Пашков, С.В. Щепочкин.</i> О тепловом балансе процесса резания древесины круглыми пилами.....	101

ХИМИЧЕСКАЯ ПЕРЕРАБОТКА ДРЕВЕСИНЫ

<i>И.К. Гиндулин, С.В. Еранкин, Ю.Л. Юрьев, В.Т. Суриков.</i> Катионообменные свойства древесного окисленного угля.....	108
<i>М.Ф. Кирюшина, Т.Г. Федулина, М.Я. Зарубин.</i> Щелочная варка древесины в присутствии соединений фосфора.....	112

<i>В.П. Сиваков, В.И. Музыкантова, С.Н. Вихарев, С.А. Мишин.</i> Обоснование технического обслуживания оборудования целлюлозно-бумажного производства диагностированием.....	118
<i>В.Н. Леонтьев.</i> Системный подход к задаче совершенствования печатных свойств бумаг.....	125

КРАТКИЕ СООБЩЕНИЯ И ОБМЕН ОПЫТОМ

<i>Ю.А. Фролов, С.Н. Штрахов.</i> Основные показатели смолопродуктивности сосновых насаждений для расчета нормативов.....	129
<i>С.П. Агеев.</i> Показатели энергоиспользования лесопильных рам.....	131

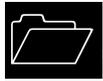
ИСТОРИЯ НАУКИ

<i>И.А. Захаренко.</i> Описание лесов Приморской области Дальнего Востока.....	139
--	-----

ЮБИЛЕИ

<i>Ректорат Архангельского государственного технического университета, коллектив лесохозяйственного факультета, коллеги и ученики.</i> Александр Иванович Барабин (к 70-летию со дня рождения).....	143
<i>Ректорат и коллектив АГТУ, Институт экологических проблем Севера, коллеги и ученики.</i> К.Г. Боголицыну – 60 лет.....	144





CONTENTS

FORESTRY

<i>V.N. Kositsyn.</i> Dynamics of Forest Organization Works and Prospects of Forest Organization in Russia.....	7
<i>E.N. Nakvasina.</i> Assimilation Apparatus as Factor of Scotch Pine Adaptation to Change of Growth Climatic Conditions.....	12
<i>A.Yu. Karpechko.</i> Influence of Thinning on Root Saturation of Spruce Stands Soil in Southern Karelia.....	19
<i>U.T. Tsay, V.M. Grumans.</i> Estimation of Workers' Power Inputs in Forest Fire Extinguishing.....	25
<i>N.M. Matveev.</i> Peculiarities of Steppe Forests in Extreme South-East of European Russia.....	30
<i>B.P. Churakov, A.I. Kandrashkin.</i> Contamination of Pine Stands by Pine Fungus in Different Forest Types and its Influence on Timber Yield.....	37
<i>I.Yu. Adamovich, E.N. Samoshkin.</i> Mycorrhizas of Scotch Pine at Different Levels of Radioactive Radiation.....	41
<i>A.V. Tuyunen, A.N. Gromtsev.</i> Landscape-based Optimization of Green Belts Use in Taiga Zone.....	47

WOODEXPLOITATION

<i>D.G. Myasishchev, A.F. Prokopjev.</i> Substantiation of Parameters and Components Choice of Miniforwarder Chassis for Young Growth Tending.....	53
<i>A.S. Milyaev.</i> Strength Calculations for Wood Tracks Design with Loose Surfaces for Track-type Machines Motion.....	60
<i>V.A. Gryazin.</i> Influence of Natural Conditions on Energy-capacity of Skidding by Tractors with Cable Equipment.....	68
<i>A.F. Pavlov, F.A. Pavlov.</i> Wood Roads with Deep Drainage of Road Bed.....	73
<i>A.P. Sokolov, Yu.Yu. Gerasimov.</i> Geoinformation System for Solving Optimization Problem of Transport Logistics for Round Timber.....	78

MECHANICAL TECHNOLOGY OF WOOD AND WOODSCIENCE

<i>V.I. Konyashkin.</i> Theoretical Strain Analysis of Cutting Part for Hardened Tool...	86
<i>B.D. Rudenko.</i> Gypspolymeric Composite on Wooden Particles Basis.....	91
<i>A.E. Alekseev, V.P. Emeljanov, N.I. Markin.</i> Investigation of Linear Drive Parameters of Cutting Angle for Swing Butt Device.....	95
<i>V.K. Pashkov, S.V. Shchepochkin.</i> On Heat Balance of Wood Cutting Process by Circular Saws.....	101

CHEMICAL TECHNOLOGY OF WOOD

<i>I.K. Gindulin, S.V. Erankin, Yu.L. Yurjev, V.T. Surikov.</i> Cation-exchange Properties of Oxidized Charcoal.....	108
<i>M.F. Kiryushina, T.G. Fedulina, M.Ya. Zarubin.</i> Alkaline Pulp Cooking in Presence of Phosphorus Compounds.....	112
<i>V.P. Sivakov, V.I. Muzykantova, S.N. Vikharev, S.A. Mishin.</i> Substantiation of Pulp-and-paper Production Maintenance Service by Diagnostics.....	118

V.N. Leontiev. System Approach to Improvement of Paper Printing Characteristics 125

SUMMARIES AND EXCHANGE OF TEACHING

Yu.A. Frolov, S.N. Shtrakhov. Basic Indices of Resin Productivity in Pine Stands for Standards Calculation..... 129

S.P. Ageev. Power Use Factors of Frame Saws..... 131

HISTORY OF SCIENCE

I.A. Zakharenko. Description of Primorsky Region Forests in the Far East..... 139

JUBILEES

Administration of Arkhangelsk State Technical University, employees of forestry faculty, colleagues and followers. Alexander I. Barabin (by 70th Birthday)..... 143

ASTU administration and staff, Institute of Ecological Problems of the North, colleagues and followers. Konstantin G. Bogolitsyn – 60 Years Old..... 144



УДК 630*62

В.Н. Косицын

Рослесхоз

Косицын Владимир Николаевич родился в 1959 г., окончил в 1985 г. Московский государственный университет, кандидат сельскохозяйственных наук, старший научный сотрудник, помощник руководителя Рослесхоза. Имеет более 280 печатных трудов в области побочного лесопользования, лесоустройства и лесной таксации.
E-mail: lesoustr@rosleshoz.ru



ДИНАМИКА ЛЕСОУСТРОИТЕЛЬНЫХ РАБОТ И ПЕРСПЕКТИВЫ ЛЕСОУСТРОЙСТВА В РОССИИ

Приведены сведения о динамике объемов лесоустроительных работ в лесах РФ за последние годы и применяемых технологиях работ.

Ключевые слова: лесоустройство, лесхозы, технология работ.

Лесоустройство представляет собой составную и неотъемлемую часть устойчивого управления лесами России. В последние годы в Российской Федерации эту работу осуществляли 13 федеральных государственных унитарных лесоустроительных предприятий Рослесхоза, в состав которых входило 29 лесоустроительных экспедиций и 203 лесоустроительные партии с общей численностью специалистов 2,8 тыс. человек, в том числе 2,1 тыс. инженерно-технических работников, из них 57 % выезжающих на полевые работы. Структурные подразделения располагались в 29 субъектах Российской Федерации, имели развитую производственно-техническую базу (более 550 единиц компьютеров и периферийного оборудования, 460 геопозиционеров), использовали современные информационные технологии на основе 747 лицензионных программных продуктов в среде ГИС.

В связи с рядом нововведений в лесном законодательстве в 2007 г. за счет средств федерального бюджета по заказу Федерального агентства лесного хозяйства проводились только плановые камеральные лесоустроительные работы по данным полевых работ 2006 г. Поэтому дальнейшая информация о полевых лесоустроительных работах приведена по этот год.

В 2006 г. плановые полевые лесоустроительные работы по заказу Федерального агентства лесного хозяйства проводили в соответствии с действующей лесоустроительной инструкцией [1] в 158 лесхозах Рослесхоза, расположенных в 39 субъектах РФ на площади 45,1 млн га; наземным методом устроено по первому разряду 10,2, по второму 9,8, по третьему 34,3, всего 54,3 %. Оставшаяся площадь устроена с применением метода камерального дешифрирования аэрофотоснимков.

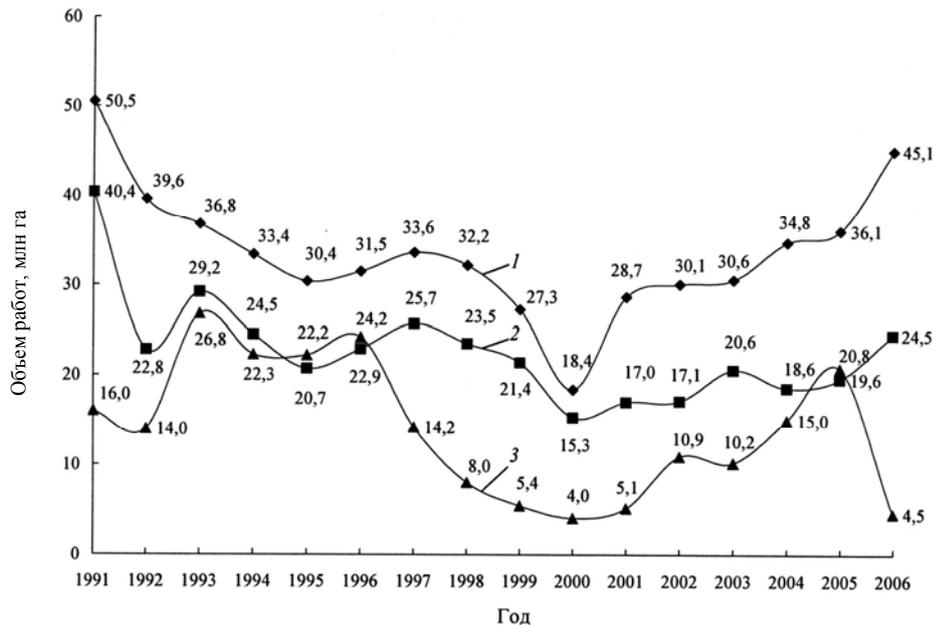
Учитывая, что материалы аэрофотосъемки являются технической основой лесоустройства, объекты 2006 г. были обеспечены материалами аэрофотосъемки на 99,0 % устраиваемой площади, в том числе цветными спектрозональными снимками на 98,3 %. На 97,3 % площади лесхозов использовали свежие материалы аэрофотосъемки (до 3 лет), на 1,2 % – давностью 4-5 лет и только на 1,5 % площади – более 5 лет. Аэрофотосъемка лесхозов осуществлена преимущественно с самолетов Ан-30 в масштабе 1:40 000–1:60 000. В дальнейшем аэрофотоснимки приведены к масштабу, требуемому по лесоустроительной инструкции.

В течение последних 5 лет ежегодная площадь насаждений, протаксированных измерительно-перечислительным методом с точностью определения запаса 15 %, увеличилась от 1288,1 до 2381,5 тыс.га, или от 7,5 до 10,3 % общей площади лесоустроительных работ наземным методом. При этом практически полностью охвачена площадь спелых и перестойных насаждений, включаемых в эксплуатационный фонд ревизионного периода.

При проведении лесоустройства обследуется естественное и искусственное возобновление леса [1]. За последние 5 лет ежегодные объемы обследования естественного возобновления на вырубках возросли от 226,1 до 376,9, под пологом леса – от 238,8 до 319,6 тыс. м², лесных культур – от 22,8 до 31,2 тыс. га, что составило в среднем 11,1 % общей площади созданных за прошедший ревизионный период.

Ежегодный контроль за выполнением полевых лесоустроительных работ, проводимый территориальными органами Рослесхоза и руководящими работниками лесоустроительных предприятий, показал удовлетворительное качество работ, рекламаций от заказчиков не поступало. Число таких проверок в 2005 г. составило 1412 и 1603, в 2006 г. – 1490 и 1675 (т. е. 2,2 на одного таксатора).

В соответствии с приказом МПР России от 16.08.2001 г. № 589 «Об усилении контроля за качеством отвода и таксации лесосек» все лесоустроительные предприятия ежегодно представляют отчеты о соблюдении требований лесного законодательства и обеспечении нормативной точности таксации насаждений при отводе и таксации лесосек работниками лесхозов, где проводились полевые лесоустроительные работы. В 2006 г. в 102 лесхозах было проверено 509 лесосек, в том числе 272 протаксированных методом сплошного перечета, 151 методом ленточного перечета, 50 круговыми реласкопическими площадками, 36 с использованием материалов лесоустройства. Недопустимые нарушения Наставления по отводу и таксации лесосек в лесах Российской Федерации (1993) отмечены на 64 лесосеках в 32 лесхозах, или на 12,6 % всех проверенных лесосек и 31,4 % проверенных лесхозов. В 2001–2005 гг. при лесоустройстве выявлено в среднем 8,5 % таких лесосек. Основные виды нарушений: отклонения в общем запасае и запасае деловой древесины, особенно по отдельным породам (главным образом из-за неучтенных составляющих пород, неверного распределения стволов по категориям технической годности, использования устаревших лесотаксационных нормативов), ошибки в определении эксплуатационной



Объемы лесоустроительных и лесоинвентаризационных работ, выполненных государственными лесоустроительными предприятиями в 1991–2006 гг.:

1 – лесоустройство; 2 – в том числе наземным методом; 3 – лесоинвентаризация

площади делянки (связанные в основном с отклонениями в промере линий и неполным выделением мелких эксплуатационных участков), неудовлетворительное оформление лесосек в натуре.

На рисунке приведены объемы лесоустроительных работ в 1991–2006 гг. Как видим, за последние три года они имели устойчивую тенденцию к увеличению и приблизились к объемам работ 1991 г. Доля расходов на проведение лесоустроительных и аэрофотосъемочных работ в общих расходах Рослесхоза на выполнение производственного плана по лесному хозяйству в 2004–2006 гг. составила в среднем 2,8 %. Основной объем затрат (66 %) пришелся на подготовительные и полевые работы.

В целях увеличения объемов лесоустроительных работ в лесхозах привлекаются средства федерального бюджета, а также субъектов Российской Федерации и собственные средства лесхозов. Ежегодные объемы таких сверхплановых работ за последние пять лет составили в среднем 2085,4 тыс. га.

Кроме того, по прямым договорам с заказчиками лесоустроительные предприятия выполняют работы в лесах, находящихся в хозяйственном ведении субъектов Российской Федерации (ранее бывшие во владении сельскохозяйственных организаций – 491,9 тыс. га ежегодно в среднем за последние пять лет), Минобороны России (317,9 тыс. га), Рособразования (58 тыс. га), муниципальных образований (75 тыс. га), а также в национальных парках и государственных природных заповедниках Росприроднадзора (1263,5 тыс. га). Основанием служит действующая нормативно-техническая лесоустроительная документация.

В малоосвоенных и труднодоступных лесах Сибири и Дальнего Востока применяется метод инвентаризации насаждений с использованием космических снимков, преимущественно Landsat [2]. При этом не проводят организацию территории. Все необходимые границы устанавливаются по естественным рубежам (реки, водоразделы). Ежегодные объемы работ по данному методу в среднем за последние три года составили 13,4 млн га. Значительные стабильные объемы работ с применением данного метода пришли на 1993–1996 гг. (см. рисунок).

В настоящее время все лесоустроительные предприятия формируют документацию с использованием ГИС-технологий. По состоянию на 01.01.2007 г. 62 % от общего числа лесхозов имели материалы лесоустройства давностью до 10 лет, 28 % – 11...15 лет.

В целях более эффективной информационной поддержки лесного сектора в 2005 г. при ФГУП «Рослесинфорг» создан централизованный фонд документов лесоустройства Рослесхоза, в котором хранится электронная информация (лесотаксационная и картографическая) по всем лесхозам, устроенным за последние 5 лет.

В порядке перехода базового лесоустройства к последующим ежегодным инвентаризациям части выделов лесхоза, вовлекаемых в хозяйственную деятельность, подвергшихся стихийным или иным неблагоприятным воздействиям, силами лесоустроительных предприятий проводят непрерывное лесоустройство. Оно призвано обеспечить поддержание в актуализированном состоянии информации о лесном фонде в целях решения задач текущего и среднесрочного планирования лесохозяйственной деятельности и рационального использования лесных ресурсов.

Начальным этапом непрерывного лесоустройства в Российской Федерации являлись 1970-е гг. Своего пика оно достигло в начале 1990-х гг. в связи с внедрением в производственный процесс персональных компьютеров и возможностью создания на их основе автоматизированных рабочих мест. В то время непрерывным лесоустройством ежегодно охватывалось до 25 лесхозов. В дальнейшем из-за прекращения финансирования из федерального бюджета и существенных затрат на выполнение работ, покрывать которые лесхозы вынуждены из собственных средств, число устраиваемых лесхозов существенно сократилось. В последние годы непрерывное лесоустройство проводили в лесхозах Карелии, Брянской и Ленинградской областей. Ежегодные объемы работ за 1998–2003 гг. составили в среднем 192,9, а за последние три года 316,5 тыс. га. При этом обследовано 11 тыс. выделов, заложено 28,3 тыс. реласкопических площадок, взято 13 тыс. моделей, обследовано 1,5 тыс. га лесных культур, естественное возобновление на 6,7 тыс. м² вырубок.

Непрерывное лесоустройство является переходным этапом к процессам компьютеризации ведения лесного хозяйства, создания отраслевых ГИС, интегрированного банка данных по лесным ресурсам, внедрения информационных систем управления лесами. После приобретения

специалистами лесхозов навыков оценки и внесения текущих изменений в материалы периодического лесоустройства предполагается переход на компьютерное ведение лесного хозяйства при консультативной (технической и тематической) поддержке лесоустроительных предприятий.

В связи с принятием нового Лесного кодекса Российской Федерации (№ 200-ФЗ от 4 декабря 2006 г.) основой лесочетных работ в России становится государственная инвентаризация лесов, а лесоустройство сводится преимущественно к учету лесов на региональном и локальном уровнях. Изменились также цели и структура российского лесоустройства. Теперь за Рослесхозом закреплены следующие его функции: проектирование лесничеств и лесопарков, лесов по целевому назначению (эксплуатационные, защитные, резервные) и особо защитных участков лесов, закрепление на местности границ лесничеств (лесопарков) и лесов по целевому назначению.

Другие функции лесоустройства – проектирование лесных участков для организации лесопользования, закрепление на местности их границ, таксация лесов, проектирование лесохозяйственных мероприятий – обеспечиваются по результатам размещения государственных и муниципальных заказов за счет средств федерального бюджета, бюджетов субъектов Российской Федерации и органов местного самоуправления, средств отдельных лесопользователей.

Таким образом, крупные вертикально интегрированные лесопромышленные структуры, занимающиеся заготовкой и переработкой древесины, получают возможность проводить уточненную таксацию и проектировать в границах своих целевых хозяйств лесохозяйственные мероприятия по конкретным видам сортиментов, учитывая, что срок проведения повторных лесоустроительных работ не лимитируется.

Исчисление расчетных лесосек и размеров других видов лесопользования, определение возрастов рубок не входят в обязанности лесоустройства, они прописываются в лесохозяйственных регламентах лесничеств.

Лесоустроительные работы по новому лесному законодательству могут проводить не только государственные лесоустроительные организации федерального органа управления лесным хозяйством, но и различные лесопроектные организации, в связи с чем повышается уровень конкуренции. Существовавшие ранее 13 государственных лесоустроительных предприятий вошли в качестве филиалов в ФГУП «Рослесинфорг», которое стало заметным игроком на рынке лесоустроительных работ и услуг.

Несмотря на значительные изменения в российском лесоустройстве, его материалы остаются основой для разработки лесных планов субъектов Российской Федерации, лесохозяйственных регламентов лесничеств (лесопарков), проектов освоения лесов, а также для ведения государственного лесного реестра и государственной инвентаризации лесов.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Инструкция по проведению лесоустройства в лесном фонде России, утвержденная приказом Рослесхоза от 15.12.94 № 265 [Текст]. – М.: ВНИИЦлесресурс, 1995. – Ч.1. – 174 с.; Ч.2. – 112 с.

2. Технические указания по инвентаризации резервных лесов на основе материалов аэрокосмических съемок, утвержденные Гослесхозом СССР 12.01.88 [Текст]. – М.: В/О «Леспроект», 1988. – 85 с.

Поступила 18.02.08

V.N. Kositsyn

Federal Agency of Forestry

Dynamics of Forest Organization Works and Prospects of Forest Organization in Russia

The data on dynamics of forest organization work volumes in RF forests over the last years and applied technologies are provided.

Keywords: forest organization, forestry enterprises, technologies of operations.

Е.Н. Наквасина

Архангельский государственный технический университет

Наквасина Елена Николаевна родилась в 1952 г., окончила в 1975 г. Архангельский лесотехнический институт, доктор сельскохозяйственных наук, профессор, заведующий кафедрой лесоводства и почвоведения Архангельского государственного технического университета. Имеет более 170 печатных работ в области лесовосстановления и экологии экосистем.

E-mail: nakvasina@agtu.ru



АССИМИЛЯЦИОННЫЙ АППАРАТ КАК ПОКАЗАТЕЛЬ АДАПТАЦИИ СОСНЫ ОБЫКНОВЕННОЙ К ИЗМЕНЕНИЮ КЛИМАТИЧЕСКИХ УСЛОВИЙ ПРОИЗРАСТАНИЯ*

Рассмотрена изменчивость показателей ассимиляционного аппарата сосны обыкновенной при выращивании потомства в географических культурах Архангельской области. Установлена зависимость размеров, массы хвои и охвоенности побегов от происхождения исходных насаждений.

Ключевые слова: сосна обыкновенная, ассимиляционный аппарат, адаптация.

Хвоя – самый чувствительный орган, который быстро реагирует на условия окружающей среды и определяет рост и развитие дерева [13]. Особенности морфологии и физиологии хвои в значительной степени зависят от комплекса внешних факторов, в которых произрастает сосна [1, 3, 9, 13-16, 18], и в то же время находятся под генетическим контролем [22].

В естественных насаждениях наблюдается клинальная изменчивость размеров хвои: при продвижении с севера на юг ее длина и масса увеличиваются, а продолжительность жизни снижается [9, 13, 21]. Эта закономерность сохраняется и в географических культурах различного возраста и местоположения [2, 12, 15, 16, 18]. В коллекции климатипов сосны на Украине (Львовское Расточье) установлено уменьшение биометрических показателей хвои у восточных и северо-восточных климатипов: длина хвои оказалась на 16...57 % меньше, чем у местного и близких к нему потомств [3]. У южных климатипов интенсивность фотосинтеза выше, они содержат больше сухого вещества, чем северные [6, 15]. В Воронежской области местная сосна по массе занимала промежуточное положение, в Беларуси была на уровне украинского климатипа.

Наиболее важным среди показателей ассимиляционного аппарата А.И. Чернодубов [20] считает длину хвои. По его мнению, у автохтонной сосны обыкновенной 22 % варьирования признаков определяется именно длиной хвои. Бóльшую изменчивость этого показателя у инорайонных климатипов по сравнению с местным отмечает Г.В. Агафонова [1].

* Исследования поддержаны грантом администрации Архангельской области и РФФИ № 05-04-97509.

Длина хвои является косвенным показателем энергии роста деревьев, несмотря на ее значительную вариабельность по годам у отдельных деревьев в климатипе. Установлено, что растения и климатипы сосны обыкновенной с более длинной хвоей и большим числом веток в мутовке являются быстрорастущими [3, 5, 11, 14–17]. В географических культурах юго-западной Сибири отмечена тесная прямая связь запаса сосны обыкновенной различного происхождения с длиной хвои. Для ели эта связь слабая обратная [5]. В молодых географических культурах и на прививочных плантациях в Ленинградской области выявлена тесная связь массы сухого вещества хвои и числа пучков хвои на побеге с годичным приростом по высоте [17].

Для молодых автохтонных культур сосны Республики Коми В.Б. Лариным и Ю.А. Паутовым [8] обнаружена значительная связь (коэффициент корреляции 0,5...0,7) массы и длины хвои текущего года с таксационными показателями, прежде всего с диаметром, высотой, показателем D^2H . По их мнению, в фазе индивидуального роста культур степень развития дерева определяет его физиологическую активность и фитоценотический статус. П.А. Феклистов и Н.А. Бабич [19] установили, что площадь хвои на дереве и число хвоинок на единице побега определяют объем дерева, и предложили использовать эти параметры для оценки продуктивности древостоев.

Изучение морфометрической изменчивости ассимиляционного аппарата сосны в географических культурах представляет интерес для выявления генотипической неоднородности популяций, особенностей их адаптации к новым лесорастительным условиям в процессе формирования древостоя.

На Европейском Севере России, отличающемся достаточно суровыми и в то же время переменными условиями окружающей среды, подобные исследования приобретают особый интерес для оценки адаптационных свойств породы.

Для 6–10-летних культур различного географического происхождения, произрастающих на Европейском Севере России, установлено, что у южных климатипов сосны обыкновенной при выращивании в Архангельской области (средняя подзона тайги) хвоя была длиннее, имела большую массу одной хвоинки и суммарную, но меньшее число хвоинок на 1 см побега, чем у северных потомств [10, 12].

Для изучения особенностей ассимиляционного аппарата в географических культурах, созданных в Плесецком лесхозе Архангельской области, в фазе смыкания крон (21 год) были выбраны климатипы, достаточно резко различающиеся по обеспеченности фотопериодическими и термодинамическими характеристиками пунктов происхождения семян, материнские насаждения которых расположены от северной подзоны тайги до зоны смешанных лесов. В долготном направлении различия местоположений пунктов заготовки семян составили от 30° (Карелия) до 130° в.д. (Якутия). Образцы хвои отбирали с побегов прошлого года на восточной стороне кроны (междурядные пространства), на высоте 2,0...2,5 м.

Биометрические и численные показатели хвои снижаются по мере продвижения родины климатипов к северу и востоку от пунктов испытания

(табл. 1). Наиболее изменчивым показателем у климатипов разного происхождения оказалась масса хвои и диаметр побега (коэффициент изменчивости 22,9...24,5 %). В пределах опыта масса 10 хвоинок колебалась от 92,4 мг (Архангельская область) до 184 мг (Псковская область). Варьирование охвоенности и длины хвои между климатипами ниже (коэффициент изменчивости 8,5...12,8 %) и составляет 12,6...19,1 шт. и 3,45...4,65 см соответственно. Автохтонный климатип занимает промежуточное положение по охвоенности и размерам хвои, но отличается наименьшей ее массой.

Таблица 2

Связь между длиной хвои и происхождением климатипов сосны обыкновенной

Показатели мест происхождения культур	Коэффициент корреляции r	Ошибка коэффициента корреляции $\pm m_r$	Достоверность t	Оценка связи по [4]
Географическое положение, град – мин:				
Северная широта	-0,711	0,143	4,98	Высокая
Восточная долгота	0,188	0,279	0,67	Слабая
Длительность периода вегетации, дн.	0,680	0,155	4,37	Значительная
Сумма температур выше +5 °С, град	0,624	0,176	3,54	«

Таблица 3

Биометрические показатели хвои в лесорастительных подзонах (зонах) $(F_{5\%} = 8,8; F_{1\%} = 28)$

Лесорастительная подзона (зона) по [7]	Число климатипов	Охвоенность, шт.	Длина хвои, см	Суммарная длина хвои на 1 см побега, см
Северотаежная	2	14,8	3,49	51,6
Среднетаежная	5	17,0	4,02	68,5
Южнотаежная	1	17,3	4,03	69,7
Смешанные леса	3	15,3	4,41	67,7

Примечание. Дисперсионное отношение $F_{\text{факт}}$ для охвоенности составляет 1,20; длины хвои – 10,95; суммарной на 1 см побега – 2,88; коэффициент детерминации соответственно 0,340; 0,824 и 0,552.

Видимо, изменение условий произрастания сосны, усиление приспособительных реакций в процессе адаптации потомства вызывает усиленное накопление органической массы, прежде всего, в хвое как наиболее чувствительном органе растения. Установлена тесная связь длины хвои с северной широтой и климатическими характеристиками мест заготовки семян (табл. 2).

Дисперсионный анализ изменчивости признаков при группировке климатипов по зонам (подзонам) в пределах европейской части России показал, что длина хвои – единственный из изученных показателей, который с

возрастом сохраняет предрасположенность к клинальному изменению. Сила влияния географического происхождения семян по Плохинскому при 5 %-м уровне значимости составляет 82,4 % (табл. 3). Такие показатели, как масса хвои, число хвоинок на единице побега в культурах сосны I класса возраста, меньше зависят от географического происхождения климатипа (табл. 4). Охвоенность побега сосны сильнее связана с долготным происхождением климатипа ($r = -0,596$ при $t = 3,2$). Восточные потомства сосны при выращивании в средней подзоне тайги Архангельской области имеют побеги с меньшим числом хвои.

Таблица 4

Массовые показатели хвои в лесорастительных подзонах (зонах)
($F_{5\%} = 8,8$; $F_{1\%} = 28$)

Лесорастительная подзона (зона) по [7]:	Число климатипов	Масса 10 хвоинок, мг	Суммарная масса хвои на 1 см побега, мг	Масса 1 см длины хвои, мг
Северотаежная	2	119,5	177,9	3,51
Среднетаежная	5	109,1	185,2	2,70
Южнотаежная	1	124,0	214,5	2,98
Смешанные леса	3	160,9	249,5	3,65

Примечание. Дисперсионное отношение $F_{\text{факт}}$ для массы 10 хвоинок составляет 3,2; суммарной массы хвои на 1 см побега – 1,76; массы 1 см длины хвои – 2,84; коэффициент детерминации соответственно 0,58; 0,43 и 0,52.

Таблица 5

Связь между длиной хвои и биометрическими показателями роста и продуктивности древостоя ($t_{\text{табл}} = 2,7$)

Показатели роста и продуктивности климатипов	Коэффициент корреляции r	Ошибка коэффициента корреляции $\pm m_r$	Достоверность t	Оценка связи по [4]
Высота, м	-0,472	0,224	2,11	Умеренная
Диаметр ствола на 1,3 м, см	0,565	0,196	2,88	Значительная «
Объем ствола в коре, дм ³	0,515	0,212	2,43	
Высота ствола до первого живого сука, м	-0,506	0,215	2,36	

При группировке климатипов по зонам (подзонам) сила влияния признака географического происхождения семян по Плохинскому на длину и массу хвои составляет всего 34...58 % (при 5 %-м уровне значимости). В этих же пределах колеблется показатель Плохинского и у относительных показателей работы ассимиляционного аппарата, таких как масса единицы длины хвои, суммарная длина и масса хвои на единице побега (см. табл. 3,

4). Это объясняется их большой зависимостью от внешних условий (место расположения хвои, освещенность). Нельзя исключать и вероятность популяционной обусловленности показателей. В пределах одной лесорастительной подзоны колебания могут достигать 30...40 %.

Длина хвои тесно связана с ростом и продуктивностью потомств (табл. 5). Однако из-за происшедшего в I классе возраста культур перераспределения рангового положения потомств по высоте между нею и длиной хвои наблюдается обратная связь. У южных климатипов, которые в условиях севера имеют меньшую высоту, но больший диаметр, снижение интенсивности роста компенсируется развитием ассимиляционного аппарата. Связь длины хвои с диаметром и объемом ствола в коре – прямая достоверная и близкая к ней (на 5 %-м уровне значимости).

Таким образом, в культурах сосны 21-летнего возраста сохраняется установленная ранее (в первом десятилетии) закономерность увеличения размеров хвои от северных климатипов к южным, от западных к восточным. Из изученных показателей ассимиляционного аппарата закрепленным наследственно и проявляемым в потомстве в других условиях произрастания является длина хвои. В процессе адаптации климатипов в суровых условиях севера этот показатель более стабилен, чем рост (высота) деревьев, и в меньшей степени связан с условиями произрастания потомства. С возрастом в географических культурах нарушается установленная ранее (для 6-летних культур) прямая связь между длиной хвои и высотой культур. У инорайонных потомств в фазе смыкания крон длина хвои тесно связана, прежде всего, с радиальным приростом и объемом ствола сосны.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

2

1. *Агафонова, Г.В.* Состояние и рост географических культур сосны обыкновенной на Среднем Урале [Текст]: автореф. дис. ... канд. с.-х. наук / Г.В. Агафонова. – Екатеринбург, 1998. – 19с.

2. *Видякин, А.И.* Влияние географического происхождения семян на рост сосны обыкновенной в таежной зоне Кировской области [Текст] / А.И. Видякин // Тез. докл. Всесоюз. совещ. по лесной генетике, селекции и семеноводству (1–4 ноября 1983 г., Петрозаводск). – Петрозаводск, 1983. – С.118–120.

3. Географические культуры сосны обыкновенной на Львовском Ростоцье [Текст] / З.Ю. Герушинский, Г.Г. Криницкий, Р.Г. Гут [и др.]. – Львов: ЛЛТИ, 1983. – 47с.

4. *Дворецкий, М.Л.* Пособие по вариационной статистике [Текст] / М.Л. Дворецкий. – М.: Лесн. пром-сть, 1971. – 102 с.

5. *Демиденко, В.П.* Географические культуры сосны и ели на юге Западной Сибири [Текст] / В.П. Демиденко, Ю.Б. Алексеев, В.М. Урусов // Лесн. хоз-во. – 1984. – № 3. – С. 40–42.

6. *Ковалевич, А.И.* Влияние географического происхождения семян на некоторые физиологические особенности сосны обыкновенной [Текст] / А.И. Ковалевич // Роль науки в создании лесов будущего: тез. докл. Всесоюз. конф. – Пушкино, 1981. – С. 84–85.

7. *Курнаев, С.Ф.* Лесорастительное районирование СССР [Текст] / С.Ф. Курнаев. – М.: Лесн. пром-сть, 1973. – 240 с.

8. Ларин, В.Б. Формирование хвойных молодняков на вырубках [Текст] / В.Б. Ларин, Ю.А. Паутов. – Л.: Наука. Ленингр. отд-ние, 1989. – 142 с.
9. Мамаев, С.А. Закономерности внутривидовой изменчивости семейства *Pinaceae* на Урале [Текст]: автореф. дис. ... д-ра биол. наук / С.А. Мамаев. – Свердловск: Ин-т экологии растений и животных, 1970. – 54 с.
10. Попов, В.Я. Географические культуры сосны в Архангельской области [Текст]: автореф. дис. ... канд. с.-х. наук / В.Я. Попов. – Минск, 1968. – 20 с.
11. Попов, В.Я. Использование методов селекции в повышении продуктивности селекционных насаждений [Текст] / В.Я. Попов, В.М. Жариков // Повышение продуктивности лесов Европейского Севера. – Архангельск: Сев.-Зап. кн. изд-во, 1974. – С. 95–106.
12. Попов, В.Я. О некоторых эколого-морфологических признаках сосны различного происхождения в Архангельской области [Текст] / В.Я. Попов // Лесн. журн. – 1965. – № 2. – С. 15–16. – (Изв. высш. учеб. заведений).
13. Правдин, Л.Ф. Сосна обыкновенная. Изменчивость, внутривидовая систематика и селекция [Текст] / Л.Ф. Правдин. – М.: Наука, 1964. – 190 с.
14. Проказин, А.Е. Географические культуры сосны обыкновенной и вопросы лесосеменного районирования в центральных районах зоны смешанных лесов [Текст]: автореф. дис. ... канд. с.-х. наук / А.Е. Проказин. – М., 1983. – 15 с.
15. Рязанцева, Л.А. Физиолого-биохимические особенности экотипов сосны обыкновенной в географических культурах Воронежской области [Текст] / Л.А. Рязанцева, А.М. Шутяев // Генетика, селекция и интродукция лесных пород: сб. науч. тр. – Воронеж: ЦНИИЛГиС, 1977. – С. 91–95.
16. Савченко, А.И. Повышение продуктивности лесов на селекционно-генетической основе [Текст] / А.И. Савченко [и др.]. – Минск: Ураджай, 1981. – 199 с.
17. Уварова, Н.И. Использование географической изменчивости на Северо-Западе РСФСР [Текст]: метод. рекомендации / Н.И. Уварова. – Л.: ЛенНИИЛХ, 1983. – 22 с.
18. Хиров, А.А. Исследование географических прививок сосны обыкновенной в Бузулукском бору [Текст] / А.А. Хиров // Генетика, селекция и интродукция лесных пород: сб. науч. тр. – Воронеж: ЦНИИЛГиС, 1975. – С. 188–205.
19. Феклистов, П.А. Биометрические показатели ассимиляционного аппарата культур сосны [Текст] / П.А. Феклистов, Н.А. Бабич // Экология и защита леса: межвуз. сб. науч. тр. – Л.: ЛТА, 1990. – С. 56–59.
20. Чернодубов, А.И. Изменчивость морфолого-анатомических признаков сосны обыкновенной в островных борах юга Русской равнины [Текст] / А.И. Чернодубов // Лесоведение. – 1994. – № 2. – С. 28–35.
21. Шульгин, В.А. Географическая изменчивость некоторых признаков и свойств сосны обыкновенной в условиях Коми АССР [Текст] / В.А. Шульгин // Генетика, селекция, семеноводство и интродукция лесных пород. – М., 1975. – С. 163–176.
22. Этверк, И.Э. Селекция ели обыкновенной в Эстонской ССР [Текст] / И.Э. Этверк // Докл. ученых-участников Междунар. симпозиума по селекции, генетике и семеноводству хвойных пород. – Пушкино, 1972. – С. 107–116.

Поступила 14.11.06

Assimilation Apparatus as Factor of Scotch Pine Adaptation to Change of Growth Climatic Conditions

The variability of assimilation apparatus factors of Scotch pine is viewed in growing progeny in the geographical cultures of the Arkhangelsk region. The dependence of needles mass and needle coverage of sprouts on provenance of initial stands is established.

Keywords: Scotch pine, assimilation apparatus, adaptation.

Таблица 1

**Основные показатели развития ассимиляционного аппарата различных климатипов
в географических культурах сосны обыкновенной в Архангельской области**

№ климатипа	Происхождение культур		Охвоенность, шт.		Масса 10 хвоинок, мг		Длина хвои, см	
	Область (Республика)	с.ш.	$X \pm m_x$	t	$X \pm m_x$	t	$X \pm m_x$	t
2	Мурманская	67°00'	17,00±0,89	0,55	105,0±10,2	1,15	3,45±0,10	4,21
3	Архангельская	64°45'	12,60±0,92	4,82	134,0±6,3	5,65	3,53±0,11	0,49
4	«	62°54'	17,60±0,48	–	92,4±3,8	–	4,00±0,09	–
14	Карелия	62°54'	16,20±0,57	1,85	104,0±8,8	1,21	3,75±0,12	1,67
9	Вологодская	60°00'	19,10±1,06	1,29	105,0±8,2	1,39	4,04±0,12	0,27
16	Карелия	61°50'	16,20±0,84	1,45	114,0±1,9	5,08	4,19±0,12	1,27
17	«	61°40'	16,00±0,70	1,89	131,3±5,5	5,83	4,13±0,11	0,92
23	Новгородская	58°15'	16,40±0,69	1,38	178,0±1,5	21,00	4,30±0,12	2,00
47	Костромская	58°30'	17,30±0,98	0,24	124,0±4,7	5,23	4,03±0,08	0,25
22	Псковская	57°50'	15,90±0,67	2,06	184,2±5,6	13,60	4,65±0,08	4,06
67	Удмуртия	57°03'	13,67±0,78	4,26	120,4±3,6	5,34	4,29±0,10	2,16
118	Якутия	62°00'	12,30±0,58	7,05	154,1±5,9	8,59	4,30±0,11	2,14
	Среднее по опыту		15,86±0,61	–	128,9±8,9	–	4,06±0,10	–
	$t_{0,05}$		–	2,09	–	2,57	–	2,01

УДК 630*24+630*163.3(470.22)

А.Ю. Карпечко

Карельский НЦ РАН

Карпечко Анна Юрьевна родилась в 1977 г., окончила в 1999 г. Петрозаводский государственный университет, кандидат сельскохозяйственных наук, младший научный сотрудник лаборатории лесоведения и лесоводства Карельского НЦ РАН. Имеет 8 печатных работ по оценке качества древесного сырья, изучению влияния механизированных рубок ухода на корненасыщенность почвы и продуктивность насаждений, лесозаготовительной техники на водно-физические свойства почвы.
E-mail: yuvkarp@onego.ru



ВЛИЯНИЕ РАЗРЕЖИВАНИЯ НА КОРНЕНАСЫЩЕННОСТЬ ПОЧВЫ ЕЛОВЫХ ДРЕВОСТОЕВ ЮЖНОЙ КАРЕЛИИ

Установлено, что разреживание стимулирует рост корней лишь во втором десятилетии после рубки. Расстояние до ближайшего дерева, а также сумма площадей сечений древостоя не влияют на массу корней.

Ключевые слова: разреживание, корни, насаждение, почва.

Рубки ухода вызывают изменения в горизонтальной структуре насаждения и его микроклимате, что, безусловно, не может не сказаться и на корневой системе. Реакция корней на разреживание непосредственно после рубки и некоторое время спустя, влияние расстояния до ближайшего дерева и суммы площадей сечений на массу корней – важные вопросы, обсуждение которых дает некоторое представление о связи надземной и подземной биомассы. Вопросы эти уже изучались, однако для условий Карелии они не рассмотрены.

Производительность древостоя тесно связана с развитием корневых систем [6, 8], их угнетение негативно отражается на росте надземной части. В связи с этим необходимо изучить влияние разреживания как одного из наиболее важных лесохозяйственных мероприятий на рост корней.

Объектами исследования служили еловые насаждения, пройденные рубками ухода. Продолжительность послерубочного периода варьирует от 2 до 19 лет. Все объекты можно отнести к черничной группе типов леса, преобладающий класс бонитета III, почва в основном модергумусная среднеподзолистая супесчаная. В насаждениях, где собраны экспериментальные данные, рубки выполнены в производственном и опытно-производственном порядке. Лесосечные работы проводили с применением бензомоторных пил; древесину транспортировали по заранее подготовленным технологическим коридорам в виде сортиментов или хлыстов с использованием колесного трактора с тросово-чокерной оснасткой (МТЗ-82), форвардеров (ЛТ-189А, ЛТ-189М), трелевочного трактора (ТДТ-55). Технологические коридоры

укрепляли порубочными остатками. Таксационная характеристика древостоев до и после рубки дана в табл. 1.

При исследовании использовали метод монолитов, их размер 10×10 см. Глубина образца составляла 20 см, поскольку это наиболее корнеобитаемый слой почвы. На каждой пробе в пасаках отбирали по 10 образцов. В радиусе 5 м от места взятия образцов учитывали все окружающие деревья, чтобы изучить вопросы корневой конкуренции и проследить влияние полноты древостоя на корненасыщенность. Из почвенного монолита (отдельно из подстилки A_0 и горизонта A_1A_2) извлекали корни, которые затем делили на фракции по толщине (до 1 мм и 1...3 мм). Согласно классификации И.Н. Рахтеенко [11], корни диаметром до 1 мм принимали за мелкие, 1...3 мм – за крупные. После сортировки каждую фракцию высушивали до воздушно-сухого состояния и взвешивали.

Таблица 1

Таксационная характеристика древостоев на пробных площадях
(в числителе – до рубки, в знаменателе – на момент исследования)

№ пробной площади	Давность рубки, лет	Выборка по запасу, %	Ярус	Состав	Класс возраста	Средний диаметр, см	Средняя высота, м	Полнота,	Запас, м ³ ·га ⁻¹
7.1	20	30		$\frac{10E + C + B + Oc}{8,3E0,2C0,6B0,9Oc}$	V	$\frac{20,7}{22,0}$	$\frac{18,2}{19,0}$	$\frac{0,9}{0,7}$	$\frac{211}{235}$
			I	5B5Oc+Ив, ед. E, C		$\frac{9,4}{6,3}$	$\frac{13,7}{5,6}$	$\frac{1,1}{0,2}$	$\frac{173}{16}$
2.5	19	15*	II	$\frac{10E}{10E}$	III	$\frac{6,3}{14,0}$	$\frac{5,6}{12,0}$	$\frac{0,2}{1,0}$	$\frac{16}{156}$
			I	6Oc4B, ед. C		$\frac{10,7}{8,1}$	$\frac{15,0}{8,0}$	$\frac{1,0}{0,6}$	$\frac{204}{62}$
1.3	18	20*	II	$\frac{10E}{10E}$	IV	$\frac{8,1}{16,0}$	$\frac{8,0}{13,8}$	$\frac{0,6}{0,7}$	$\frac{62}{158}$
			I	6Oc4B, ед. C		$\frac{9,7}{9,1}$	$\frac{15,3}{8,8}$	$\frac{0,9}{0,7}$	$\frac{187}{84}$
1.4	18	25*	II	$\frac{10E}{10E}$	IV	$\frac{9,1}{17,5}$	$\frac{8,8}{15,0}$	$\frac{0,7}{0,7}$	$\frac{84}{191}$
			I	7B2Oc1C		$\frac{14,0}{7,5}$	$\frac{19,0}{7,5}$	$\frac{1,4}{0,5}$	$\frac{348}{50}$
9	16	25*	II	$\frac{10E}{10E}$	IV	$\frac{12,0}{14,0}$	$\frac{11,0}{14,0}$	$\frac{0,7}{0,9}$	$\frac{95}{210}$
				$\frac{8,7E1,2C0,1B}{9E1C}$		V	$\frac{14,0}{24,0}$	$\frac{14,0}{19,5}$	$\frac{0,9}{0,9}$
3	15	24		$\frac{8,9E0,1C0,8B0,2Oc}{10E + B}$	VI		$\frac{22,8}{23,0}$	$\frac{22,2}{22,5}$	$\frac{0,9}{0,5}$
			I	7B2Oc1C		$\frac{14,0}{7,5}$	$\frac{14,0}{7,5}$	$\frac{0,9}{0,5}$	$\frac{210}{50}$
11	8	43	II	$\frac{10E}{10E}$	IV	$\frac{12,0}{17,0}$	$\frac{11,0}{16,0}$	$\frac{0,7}{0,6}$	$\frac{95}{224}$
				$\frac{6,8E0,6C1,5B1,1Oc}{8E1C1B}$		$\frac{22,0}{17,0}$	$\frac{21,0}{16,0}$	$\frac{1,0}{0,6}$	$\frac{413}{224}$
6.2	3	46		$\frac{6,8E0,6C1,5B1,1Oc}{8E1C1B}$	IV	$\frac{22,0}{17,0}$	$\frac{21,0}{16,0}$	$\frac{1,0}{0,6}$	$\frac{413}{224}$
				$\frac{6,8E0,6C1,5B1,1Oc}{8E1C1B}$		$\frac{22,0}{17,0}$	$\frac{21,0}{16,0}$	$\frac{1,0}{0,6}$	$\frac{413}{224}$

4	2,5	35			IV	$\frac{4E2C1B3Oc}{5E2C1B2Oc}$	$\frac{16,7}{16,5}$	$\frac{15,7}{15,5}$	$\frac{1,1}{0,7}$	$\frac{341}{238}$
						$\frac{8,1E0,1C0,4B1,4Oc}{9E1Oc}$	$\frac{18,8}{20,0}$	$\frac{18,0}{19,0}$	$\frac{0,7}{0,5}$	$\frac{223}{129}$
8	2	40			VIII					

* Сплошная рубка лиственного яруса.

В связи с давностью разреживаний динамику массы корней ели в па-секах мы оценивали для двух периодов: продолжительностью до 10 и более 10 лет.

При уменьшении числа деревьев снижается и масса корней (непосредственно после рубки). В первый десятилетний период в разреженных насаждениях масса корней меньше, чем на участках, где ухода не было. Так, масса корней диаметром до 3 мм на разреженных участках составляет $1,77 \pm 0,09$, в контроле $2,24 \pm 0,14$ т/га (рис.1, а). Масса тонких корней (диаметром до 1 мм) в насаждениях, где рубка проведена менее 10 лет назад, равна $0,47 \pm 0,04$, в контрольном насаждении $0,64 \pm 0,06$ т/га (рис. 1, б).

По Н.А. Баневой [2], в первые годы после рубки масса мелких корней деревьев (на единицу площади) также уменьшается, и на секциях, где рубка не проводилась, корненасыщенность почвы больше.

Однако уже через 10 лет разница на разреженной и контрольной секциях сглаживается [2, 13]. Следовательно, рубки стимулируют рост корней. По данным А.В. Давыдова [3], при разреживании улучшаются условия произрастания в результате изменения микроклимата под пологом леса и ослабляется конкуренция, что положительно сказывается на физиологических процессах древесных пород и разрастании корневых систем оставшихся деревьев [4, 5, 7, 8]. Скорость восстановления массы корней до контрольного уровня на разреженных площадях зависит от погодных условий [1]. Теплая и сухая погода ускоряет этот процесс, холодная и влажная, наоборот, замедляет.

На исследуемых участках, где давность рубки превышала 10 лет, среднее значение общей массы корней диаметром до 3 мм составляет $2,63 \pm 0,43$ т/га, что больше контроля. Масса корней диаметром до 1 мм в насаждениях с давностью 16...19 лет равна $0,78 \pm 0,31$ т/га, также больше, чем на участках, не тронутых рубкой.

Таким образом, можно резюмировать, что масса корней толщиной до 1 мм и до 3 мм в насаждениях в первые годы после рубки меньше на 27 и 21 %, чем на контроле. Затем наступает период интенсивного формирования корней, по прошествии 10 лет их массы достигают уровня контрольного насаждения и превосходят его на 15 и 18 % соответственно. Масса тонких корней заметно сильнее подвержена колебаниям при разреживании насаждений, закономерно реагируя на изменение гидротермических условий и доступных ресурсов почвенного питания.

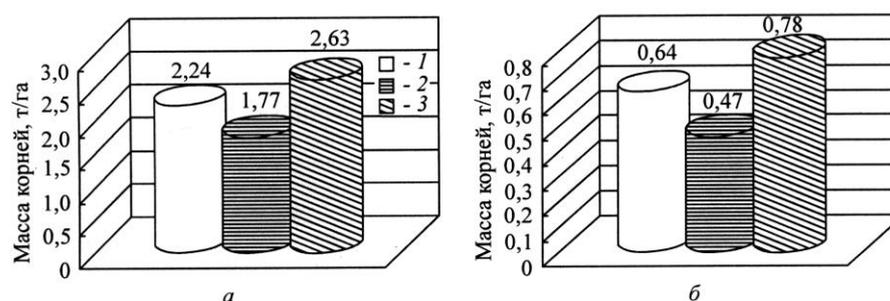


Рис. 1. Масса корней диаметром до 3 мм (а) и до 1 мм (б) на разреженных участках и на контроле: 1 – контроль; 2 – давность рубки менее 10 лет; 3 – то же более 10 лет

Таблица 2

Зависимость массы корней диаметром до 3 мм от расстояния до ближайшего дерева

Масса корней, т/га, на расстоянии, м				
≤ 1,0	1,1...1,5	1,6...2,0	2,1...2,5	2,6...3,0
1,88	0,96	1,03	–	1,88
0,88	1,84	2,04	–	–
3,33	2,08	2,22	–	2,42
4,84	3,88	3,27	–	3,08
2,60	2,17	2,80	1,32	–
–	1,91	3,17	–	1,33
2,36	2,92	1,53	1,45	–
1,82	1,48	1,71	–	1,63
1,93	2,38	1,78	–	–
1,82	1,26	–	–	–

Исследовали также связь надземной части древостоя с подземной, зависимость между массой корней и расстоянием до ближайшего дерева. Данный вопрос изучали и ранее. Было выявлено, что масса корней не коррелирует с дальностью расположения ближайшего ствола [1, 2]. Связь может быть только в том случае, если длина этого отрезка превышает двойное среднее расстояние между деревьями [12]. Наши исследования подтвердили этот вывод (табл. 2, данные для черничника свежего, в последней строке для черничника влажного).

Активные корневые окончания, заполняя доступные участки почвы, размещаются по площади независимо от расстояния до стволов [12]. Как доказано эстонскими исследователями [10], дальность соседних деревьев не может влиять на содержание корней в почве из-за большой локальной вариативности. Таким образом, повреждения корневой системы лесозаготовительной техникой не будут зависеть от размещения транспортной сети при условии, что технологические коридоры не проходят в непосредственной

близости с деревом.

О надземной массе древостоя можно судить по сумме площадей сечений деревьев на высоте 1,3 м. Собранные нами данные позволяют ответить на важный вопрос о существовании связи между суммой площадей сечений (абсолютной полнотой) и массой корней. Анализ показал, что такая зависимость не прослеживается (рис. 2).

Изложенное свидетельствует о неизменности локальной корневой конкуренции независимо от степени разреживания (если она находится в допустимых пределах, не влекущих нарушения лесной среды). Это согласуется с данными С.Н. Сеннова [12], утверждающего, что при удалении соседних с «избранниками» деревьев уменьшается не локальная, а общая корневая конкуренция. В.И. Каратыгин [9] также считает, что корни всех деревьев благодаря мицелию микоризных грибов образуют единую систему, и локальные изменения ее плотности не могут нарушить передвижения питательных веществ по общей сети.

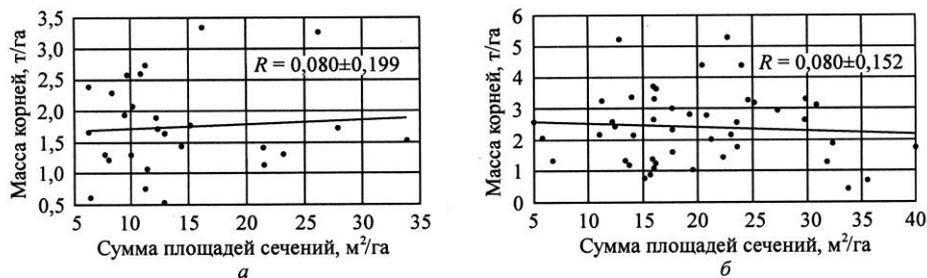


Рис. 2. Масса корней в зависимости от локального значения абсолютной полноты в месте взятия образца в насаждениях с давностью рубки менее 10 лет (а) и более 10 лет (б)

Выводы

В результате разреживания древостоя уменьшается масса живых корней. Вместе с тем рубки активизируют процесс формирования корневой системы, и по прошествии 10 лет в разреженных древостоях масса корней больше, чем в контрольном насаждении.

Отсутствие связей между корневой массой, расстоянием до ближайшего дерева и суммой площадей сечений древостоя говорит о том, что корневые окончания, заполняя экологически доступные участки почвы, размещаются по площади независимо от расстояний до стволов. Таким образом, степень разреживания не влияет на локальную корневую конкуренцию.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Банева, Н.А. Восстановление массы корней ели после рубок ухода [Текст] / Н.А. Банева // Лесоведение. – 1986. – № 3. – С. 62–66.

2. Банева, Н.А. К биологическому обоснованию рубок ухода в чистых хвойных древостоях [Текст] / Н.А. Банева // Система рубок ухода в лесах Северо-Запада РСФСР: сб. науч.тр. – Л.: ЛенНИИЛХ, 1981. – С. 31–40.
3. Давыдов, А.В. Рубки ухода за лесом [Текст] / А.В. Давыдов. – М.: Лесн. пром-сть, 1971. – 180 с.
4. Изюмский, П.П. Влияние рубок ухода на рост насаждений [Текст] / П.П. Изюмский // Лесн. хоз-во. – 1970. – № 2. – С. 23–26.
5. Изюмский, П.П. Площадь питания и ее значение для роста и развития насаждений [Текст] / П.П. Изюмский // Лесоводство и агролесомелиорация. – Киев: Урожай, 1971. – Вып. 24. – С. 3–11.
6. Казимиров, Н.И. Биологический круговорот веществ в ельниках Карелии [Текст] / Н.И. Казимиров, Р.М. Морозова. – Л.: Наука, 1973. – 175с.
7. Калинин, М.И. Корневые системы деревьев и повышение продуктивности леса [Текст] / М.И. Калинин. – Львов: Вища шк., 1975. – 174 с.
8. Калинин, М.И. Формирование корневой системы деревьев [Текст] / М.И. Калинин. – М.: Лесн. пром-сть, 1983. – 152с.
9. Каратыгин, И.В. Козволюция грибов и растений [Текст] / И.В. Каратыгин. – СПб.: Гидрометеиздат, 1993. – 116 с.
10. Оя, Т.А. Горизонтальное распределение корней ели в средневозрастном древостое [Текст] / Т.А. Оя, К.Н. Лыхмус // Лесоведение. – 1985. – № 1. – С. 44–47.
11. Рахтеенко, И.Н. Рост и взаимодействие корневых систем древесных растений [Текст] / И.Н. Рахтеенко. – Минск: АН БССР, 1963. – 254 с.
12. Сеннов, С.Н. Рубки ухода за лесом и внутривидовая конкуренция [Текст] / С.Н. Сеннов // Восстановление и мелиорация лесов Северо-Запада РСФСР: сб. науч.тр. – Л.: ЛенНИИЛХ, 1980. – С. 17–27.
13. Сеннов, С.Н. Уход за лесом. Экологические основы [Текст] / С.Н. Сеннов. – М.: Лесн. пром-сть, 1984. – 128 с.

Поступила 16.10.07

A.Yu. Karpechko
Karelian Research Centre RAS

Influence of Thinning on Root Saturation of Spruce Stands Soil in Southern Karelia

It is established that thinning stimulates growth of roots only in the second decade after cutting. The distance to the nearest tree as well as the sum of sectional area of the stand have no influence on the root mass.

Keywords: thinning, roots, stand, soil.

Ю.Т. Цай, В.М. Груманс

ВНИИПОМлесхоз

Цай Юрий Тимофеевич родился в 1946 г., окончил в 1968 г. Красноярский сельскохозяйственный институт, кандидат технических наук, профессор, заведующий отделом организации лесопожарных работ и экономических исследований ВНИИПОМлесхоза, академик МАНЭБ. Имеет более 160 печатных работ в области механизации сельскохозяйственного и лесохозяйственного производства, охраны труда и безопасности жизнедеятельности лесных пожарных.
E-mail: vniipom@akadem.ru



Груманс Виктор Михайлович родился в 1951 г., окончил в 1974 г. Красноярский государственный университет, кандидат сельскохозяйственных наук, ведущий научный сотрудник отдела организации лесопожарных работ и экономических исследований ВНИИПОМлесхоза. Имеет около 100 печатных работ по проблеме охраны лесов от пожаров.
E-mail: vniipom@akadem.ru



ОЦЕНКА ЭНЕРГОЗАТРАТ РАБОЧИХ ПРИ ТУШЕНИИ ЛЕСНЫХ ПОЖАРОВ

Приведена методика расчета суточных энергетических затрат при выполнении основных видов работ по тушению лесных пожаров. Общие энергозатраты определены как сумма затрат на труд и обеспечение жизнедеятельности организма.

Ключевые слова: лесные пожары, тушение, энергозатраты.

Для расчета нормативов питания лесных пожарных необходимо знать суточные энергозатраты на тушение лесных пожаров. Энергия расходуется не только на выполнение работы, но и на поддержание температуры тела, восстановление структурных элементов клеток, обеспечение их жизнедеятельности, роста и развития организма. Количество теплоты, образовавшейся в организме, является мерой суммарной энергии химических связей, подвергшихся биологическому окислению [3]. Поэтому вся энергия, образовавшаяся в организме, может быть выражена в тепловых единицах – калориях или джоулях. Общие энергозатраты определяются как сумма энергозатрат на труд и обеспечение жизнедеятельности организма (основной обмен веществ). Основной обмен – величина постоянная, составляющая 1 ккал за 1 ч на 1 кг массы тела [4]. Для мужчин массой 75 кг затраты на обеспечение жизнедеятельности организма за сутки составляют $1 \cdot 24 \cdot 75 = 1800$ ккал.

Таблица 1

Энергозатраты для различных видов работ

Вид работ и отдыха	Затраты энергии, ккал/ч
Ходьба по ровной дороге без груза	До 150
То же со скоростью 4 км/ч с грузом 10 кг	До 200
Ходьба в лесных условиях со скоростью 4 км/ч без груза	240

Ходьба по ровной поверхности в лесу со скоростью 4 км/ч с заплечным грузом, кг:	
10	270
20	288
Ходьба по склону крутизной 10° со скоростью 4 км/ч с грузом, кг:	
10	306
20	366
Движение вверх по склону крутизной 10° со скоростью, км/ч:	
2	До 250
4	До 350
Работа топором (50 ударов в 1 мин)	276
Работа лопатой, нагрузка на лопату 8 кг, длина броска 1 м, высота броска 0,5 м, 15 бросков в 1 мин, 0,420 ккал на бросок	378
Выполнение утреннего и вечернего туалета, принятие пищи	120
Устройство полевого лагеря, активный отдых, физическая подготовка, личная гигиена и т. п.	150
Сон (основной обмен) при массе человека 75 кг	75
Подъем по склону на 100 м по тропе	До 100
Спуск «	До 25

Энергозатраты на тушение лесных пожаров зависят от тяжести и интенсивности труда. Степень энергетических затрат определяется коэффициентом физической активности, который представляет собой отношение общих затрат на все виды трудовой деятельности за сутки к величине основного обмена. Для рабочих, занятых легким физическим трудом, этот коэффициент составляет 1,6; трудом средней тяжести – 1,9; тяжелым – 2,2; особо тяжелым – 2,5.

В.Ф. Шимановский, В.И. Ганопольский и Л. Гунтер [1, 4] установили энергозатраты в зависимости от вида работ, рельефа местности, характера движения и состояния пути (табл. 1). В наших исследованиях суточные энергозатраты лесных пожарных определяют по основным видам работ: захлестывание ветками кромки лесного пожара; засыпка кромки лесного пожара грунтом (лопатой); создание опорной полосы шириной 0,75 м вручную (лопатой, граблями); то же пеной с использованием ВЛП-20; устройство заградительной полосы взрывчатыми веществами (ПШ-13-20, ПЖВ-20); тушение кромки лесного пожара водой (растворами химикатов) с помощью ВЛП-20.

Общие энергозатраты лесного пожарного в течение суток (E_c , ккал) определяют как сумму энергозатрат на определенные виды работ и отдых, т. е.

$$E_c = E_1 + E_2 + \dots + E_8, \quad (1)$$

где E_1 – на переходы к кромке лесного пожара и обратно;

E_2 – на подготовку орудия к работе и устранение неисправностей;

E_3 – на подноску и заправку орудия водой (огнетушащей смесью);

E_4 – на поднятие, перемещение и опускание груза при тушении лесного пожара;

E_5 – на перерывы во время тушения лесного пожара (отдых и личные надобности);

E_6 – на принятие пищи (завтрак, обед, ужин);

E_7 – на устройство полевого лагеря, активный отдых, личную гигиену и т. п.;

E_8 – на сон (основной обмен).

Затраты энергии лесного пожарного на поднятие, перемещение и опускание груза рассчитывают по формуле [2]

$$E_4 = k \left(PHn + \frac{Pl}{9} + \frac{PH_1n}{2} \right), \quad (2)$$

где P – масса перемещаемого груза, кг;

H, H_1 – высота подъема и опускания груза, м;

n – число подъемов и опусканий груза;

l – расстояние перемещения груза, м;

k – коэффициент, равный 6.

Пример. Рассчитать энергозатраты лесного пожарного при тушении кромки лесного пожара воздушно-жидкостной струей с использованием воздуходувки ВЛП-20 за 1 ч работы.

Таблица 2

Суточные энергозатраты лесного пожарного при тушении пожара воздуходувкой ВЛП-20

Вид работ и отдыха	Время работы, ч	Энергозатраты, ккал		
		на работу	на основной обмен веществ	суммарные
Переходы к кромке лесного пожара и обратно	0,5	125	37,5	162,5
Подготовка орудия к работе и устранение неисправностей	0,5	100	37,5	137,5
Подноска и заправка орудия водой (огнетушащей смесью)	0,5	125	37,5	162,5
Тушение кромки лесного пожара	5,0	2115	375	2490
Отдых во время работы	1,5	112,5	112,5	225
Прием пищи (завтрак, обед, ужин)	1,5	180	112,5	292,5
Устройство лагеря, активный отдых, личная гигиена и т. п.	6,5	975	487,5	1462,5
Сон	8,0	–	600	600
Итого	24	3732,5	1800	5532,5

Исходные данные для расчета энергозатрат за 1 ч работы:

- производительность при тушении кромки низового лесного пожара воздушно-жидкостной струей – 1,5...2,2 км/ч;
- масса конструкции с заправкой – 9,20+0,75=9,95 кг;
- масса емкости с водой – 1+20=21 кг;

- расстояние поднятия, опускания воздуходувки – 0,7 м;
- то же для емкости с водой – 1,45 м;
- число поднятий и опусканий воздуходувки, емкости с водой) – 3;
- масса лесного пожарного – 75 кг.

Энергозатраты рабочего за 1 ч на переходы, подготовку орудия к работе и устранения неисправностей, подноску воды (огнетушащих смесей), перерывы во время работы, принятие пищи, устройство лагеря, активный отдых, личную гигиену и сон определяют по табл. 2.

Энергозатраты лесного пожарного в течение 1 ч работы составляют: на поднятие емкости с водой за плечи:

$$E_{\text{п}}^{\text{с}} = kPHn = 6 \cdot 9,8 \cdot 21 \cdot 1,45 \cdot 3 = 5,37 \text{ кДж} = 1,30 \text{ ккал};$$

на поднятие воздуходувки в рабочее положение:

$$E_{\text{п}}^{\text{в}} = 6 \cdot 9,8 \cdot 9,95 \cdot 0,7 \cdot 3 = 1,23 \text{ кДж} = 0,29 \text{ ккал};$$

на переноску груза:

$$E_{\text{пер}}^{\text{г}} = k \frac{Pl}{9} = \frac{6 \cdot 9,8 \cdot (75 + 20) \cdot 1500}{9} = 931 \text{ кДж} = 222 \text{ ккал};$$

на переноску груза при возвращении обратно:

$$E_{\text{пер}}^{\text{в}} = \frac{kPl}{9} = \frac{6 \cdot 9,8 \cdot 85,2 \cdot 1500}{9} = 834,96 \text{ кДж} = 199 \text{ ккал};$$

на опускание емкости:

$$E_{\text{о}}^{\text{с}} = 6 \cdot 9,8 \cdot 1,45 \cdot 3 = 0,26 \text{ кДж} = 0,06 \text{ ккал};$$

на опускание воздуходувки:

$$E_{\text{о}}^{\text{в}} = 6 \cdot 9,8 \cdot 9,2 \cdot 0,7 \cdot 3 = 1,14 \text{ кДж} = 0,27 \text{ ккал}.$$

Тогда затраты энергии на поднятие, перенос и опускание груза (воздуходувка, вода) в течение 1 ч работы равны:

$$E_4 = 1,30 + 0,29 + 222 + 199 + 0,06 + 0,27 \approx 423 \text{ ккал}.$$

Общие суточные энергозатраты лесного пожарного при тушении пожара воздуходувкой ВЛП-20 составляют около 5,5 тыс. ккал (табл. 2).

Представленная методика позволяет рассчитать суточные энергозатраты при выполнении различных видов лесопожарных работ и установить нормативы питания для работающих на тушении лесных пожаров.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Гунтер, Л. Практическая гигиена труда [Текст] / Л. Гунтер. – М: Медицина, 1967. – 280 с.
2. ОСТ 55-38-2000. Машины лесохозяйственные. Методы определения безопасности и эргономичности [Текст]. – М: ВНИИ и информационный центр по лесным ресурсам, 1994. – 46 с.
3. Покровский, В.М. Физиология человека [Текст] / В.М. Покровский, Г.Ф. Коротько. – М.: Медицина, 2003. – 501 с.
4. Шимановский, В.Ф. Питание в туристическом путешествии [Текст] / В.Ф. Шимановский, В.Н. Ганопольский. – М.: Профиздат, 1986. – 176 с.

Поступила 18.01.07

U.T. Tsay, V.M. Grumans

All-Russia Scientific-research Institute of Fireproof Forest Protection and Forestry
Mechanization

Estimation of Workers' Power Inputs in Forest Fire Extinguishing

The computation technique is provided for daily power inputs in performing the main types of fire extinguishing. Total inputs are defined as a sum of power inputs necessary for work and support of organism vital activity.

Keywords: forest fires, extinguishing, power inputs.

УДК 630*1:581.526.53

Н.М. Матвеев

Самарский государственный университет

Матвеев Николай Михайлович родился в 1939 г., окончил в 1962 г. Днепропетровский государственный университет, доктор биологических наук, профессор, заведующий кафедрой экологии, ботаники и охраны природы Самарского государственного университета, заслуженный работник высшей школы РФ, академик Российской экологической академии. Имеет 300 печатных работ в области степного лесоведения, аллелопатии, миграции тяжелых металлов в блоке почва – растения. E-mail: ecology@ssu.samara.ru



ОСОБЕННОСТИ СТЕПНЫХ ЛЕСОВ КРАЙНЕГО ЮГО-ВОСТОКА ЕВРОПЕЙСКОЙ РОССИИ

На примере Красносамарского лесного массива, единственного на крайнем степном юго-востоке Европейской России, дана характеристика наиболее типичных лесонасаждений в подзоне разнотравно-типчаково-ковыльных степей обыкновенного чернозема. Приведены сведения о составе древесного, кустарникового и травяного ярусов в соответствующих условиях эдафотопы.

Ключевые слова: лесные сообщества, степная зона.

Для степной зоны, как известно, свойственно безлесье преобладающих по площади равнинно-возвышенных водоразделов (плакора), растительный покров которых образован сообществами дерновинных ксерофильных злаков с примесью ксерофильного разнотравья [4, 7, 8, 12]. В подзоне луговых степей и остепненных лугов (лесостепи) на плакоре встречаются степные сообщества с участием мезофитных луговых трав и изредка леса, примером которых может служить Бузулукский бор [5, 6, 12].

В подзоне разнотравно-типчаково-ковыльных степей обыкновенного чернозема естественные леса формируются только в глубоких балках (байраки), в поймах и на песчаных террасах (аренах) речных долин (долинные леса) [2, 3, 6]. В подзонах типчаково-ковыльных степей южного чернозема и пустынных полынно-типчаково-ковыльных степей темно-каштановых почв естественные леса постепенно исчезают [3]. И хотя экстраординальные степные леса очень малы по площади в сравнении с доминирующими безлесными равнинно-возвышенными пространствами, они являются неотъемлемым элементом степного ландшафта. В эколого-фитоценотическом отношении эти леса изучены недостаточно [2, 3, 10].

На крайнем юго-востоке Европейской России единственным естественным лесным массивом [9] является Красносамарский лес в долине среднего течения р. Самары (Волжской) в подзоне разнотравно-типчаково-ковыльных степей обыкновенного чернозема площадью 13,5 тыс. га. Здесь с 1974 г. функционирует биомониторинговый стационар Самарского государственного университета [10], на котором проводились наши исследования.

Всего в системе долговременного биомониторинга находятся 44 пробные площади (по 2500 м²), заложенные в лесонасаждениях разных типов. На каждой пробной площади мы выполняли таксационный пересчет деревьев. Определяли диаметр (мерной вилкой) и высоту (высотомером Макарова) стволов, световое довольствие (люксметром), мощность (толщину) лесной подстилки (миллиметровой линейкой). Для характеристики травостоя в пределах пробной площади случайно-регулярным способом закладывали по 100 учетных площадок (1×1 м), на которых фиксировали виды растений и проективное покрытие. Закладку и описание почвенных разрезов, отбор и физико-химический анализ почвенных образцов выполняли общепринятыми в почвоведении методами [1, 11].

Как видно из таблицы, в которой дана характеристика наиболее типичных для изученного массива лесонасаждений, в долине р. Самары естественные лесные фитоценозы формируются в борových (АВ), суборевых (В), дубравных (Дс) и галофитоидно-дубняковых (Е) трофотопax (по типологии А.Л. Бельгарда [2, 3]). Эдификаторами в них выступают дуб черешчатый (*Quercus robur* L.), липа сердцевидная (*Tilia cordata* Mill.), осина (*Populus tremula* L.), береза повислая (*Betula pendula* Roth).

На первой надпойменной песчаной террасе (арене) борových позиции (АВ) на неполноразвитых выщелоченных слабогумусированных маломощных песчаных почвах (пл. 22 и 23) занимают леса с доминированием березы повислой, к которой примешиваются осина, а также дуб черешчатый и вяз шершавый (*Ulmus glabra* Huds.). Это древостои II–III классов бонитета, характеризующиеся достаточно высокой сомкнутостью в стадии как смыкания (0,8), так и изреживания (0,7). В них хорошо сформирована и сохраняется в течение всего вегетационного периода сплошная (покрытие 100 %) лесная подстилка мощностью до 2 см, которая способствует сбережению влаги в корнеобитаемом слое песчаной почвы. Как известно, пески в засушливом климате степной зоны обладают повышенной влагообеспеченностью, так как легко впитывают влагу атмосферных осадков, но медленно ее испаряют в связи с рыхлостью, бесструктурностью и отсутствием капилляров [3, 10]. Береза и осина с полуажурной кроной пропускают под полог древостоя достаточно много света (световое довольствие 40...53 %), что способствует развитию там обильного травостоя (см. таблицу). Если на свежем песке (пл. 22) в травостое преобладают мезотрофы и мезофиты, то в котловине на влажном песке доминирует мегатрофная, мезогигрофитная сныть (*Aegopodium podagraria* L.). Это совпадает с увеличением (с 24 до 40 см) мощности, а значит, и трофности песчаной почвы.

Широкое распространение на арене в борových (АВ) позициях на луговато-черноземных неполноразвитых выщелоченных слабогумусированных песчаных почвах получают чистые осинники полуосветленной структуры в стадии изреживания (пл. 21). При небольшой сомкнутости (0,6) осинового древостоя IV класса бонитета с полуажурной кроной и значительном (до 60 %) световом довольствии они имеют хорошо развитый травостой с господством мезотрофного, ксеромезофитного вида ландыша (*Convallaria majalis* L.).

К лесным видам примешиваются светолюбивые ксеромезофитные луговики-пратанты (*Calamagrostis epigeios* (L.) Roth., *Bromopsis inermis* (Leyss.) Holub) и степняки-степанты (*Carex supina* Wahlenb.).

В суборевых (В) позициях (см. таблицу) на луговато-черноземных неполноразвитых малогумусированных песчаных почвах в свежаватых условиях выровненных понижений арены встречаются липовые дубравы в стадии изреживания (пл. 6). Они характеризуются достаточно высокой сомкнутостью (0,7) древостоя IV класса бонитета с плотной кроной, мощной (до 5 см) лесной подстилкой и ослабленным (12,5 %) световым довольствием травостоя, в котором представлены сивлванты с доминированием *Convallaria majalis* L. и *Polygonatum multiflorum* (L.) All.

Наиболее благоприятные условия для развития лесных сообществ складываются на среднеплодородных супесчаных почвах склона, переходящего от арены к пойме, круто опускающегося с высоты 40...50 м. В его верхней части, в дубравных (Дс) позициях, формируются луговато-черноземные малогумусированные (4,79 %) выщелоченные мощные супесчаные почвы на песчаных отложениях. Здесь, в условиях свежаватого типа увлажнения, развиваются дубравы теневой структуры в стадии изреживания, что видно из таблицы на примере пл. 7. В древостое из дуба II класса бонитета развит кустарниковый подлесок, представленный кленом татарским (*Acer tataricum* L.) и бересклетом бородавчатым (*Euonymus verrucosa* Scop.), мощность лесной подстилки до 3 см. В связи с незначительной (0,6) сомкнутостью древостоя развивается обильный травостой, в котором, наряду с сивлвантами (*Convallaria majalis*, *Polygonatum multiflorum*, *Aegopodium podagraria*), широко представлены светолюбивые луговики-пратанты (*Calamagrostis epigeios*, *Heracleum sibiricum* L.).

В нижней части склона, на луговых выщелоченных среднегумусированных влажноватых мощных супесчаных почвах на песчаных отложениях, формируются липовые дубравы I класса бонитета, теневой структуры с мощной (до 4 см) лесной подстилкой. В связи со значительной сомкнутостью (0,8) древостоя и небольшим (2,3 %) световым довольствием травостоя здесь состоит исключительно из сивлвантов (пл. 8).

В заливаемой пойме, представленной тремя частями (прирусловая, центральная и притеррасная), из лесных фитоценозов типичны в галофитно-идно-дубняковых (Е) позициях лесонасаждения III класса бонитета из дуба черешчатого, липы сердцевидной, вяза шершавого, примером которых служит пл. 31 в таблице. В глубоких понижениях притеррасья, в сырых местах, на небольших площадях произрастают ольшаники с низинно-болотным крупнотравьем.

В более влажном и менее контрастном климате степного Приднепровья в аналогичных условиях (подзона разнотравно-типчаково-ковыльных степей обыкновенного чернозема) А.Л. Бельгард [3] зафиксировал значительно большее биоразнообразие лесных сообществ (18 типов). Лесонасаждения в Красносамарском лесном массиве имеют в основном экотонный характер. Если древостой в них, несомненно, лесной, то состав

кустарникового подлеска и особенно травостоя отражает одновременное формирование степного (суховатые позиции) и лугового (свежеватые, свежие, влажные позиции) сообществ. Это типичные лесные амфиценозы [2, 3, 11] с неопределенной сукцессионной судьбой.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Аринушкина, Е.В.* Руководство по химическому анализу почв [Текст] / Е.В. Аринушкина. – М.: Изд-во МГУ, 1970. – 487 с.
2. *Бельгард, А.Л.* Лесная растительность юго-востока УССР [Текст] / А.Л. Бельгард. – Киев: Изд-во Киев. ун-та, 1950. – 263 с.
3. *Бельгард, А.Л.* Степное лесоведение [Текст] / А.Л. Бельгард. – М.: Лесн. пром-ть, 1971. – 336 с.
4. *Берг, Л.С.* Физико-географические (ландшафтные) зоны СССР [Текст] / Л.С. Берг. – Л.: Изд-во АН СССР, 1936. – Т. 1. – 427 с.
5. *Высоцкий, Г.Н.* Бузулукский бор и его окрестности [Текст] / Г.Н. Высоцкий // Лесн. журн. – 1909. – Вып. 10. – С. 1133–1178.
6. *Высоцкий, Г.Н.* Степи Европейской России [Текст] / Г.Н. Высоцкий // Полная энциклопедия русского сельского хозяйства. – СПб., 1905. – С. 397–443.
7. *Лавренко, Е.М.* Провинциальное разделение Причерноморско-Казахстанской подобласти степной области Евразии [Текст] / Е.М. Лавренко // Ботан. журн. – 1970. – Т. 55, № 5. – С. 609–625.
8. *Лавренко, Е.М.* Степи СССР [Текст] / Е.М. Лавренко // Растительность СССР. – М.; Л.: Изд-во АН СССР, 1940. – Т. 2. – С. 1–265.
9. Леса России [Карта] / Ин-т космических исследований РАН, Центр по проблемам экологии и продуктивности лесов РАН, Всемирная лесная вахта, Гринпис России. – 1:14 000 000. – М., 2004.
10. *Матвеев, Н.М.* О биогеоценотических принципах исследования лесных сообществ в степном Заволжье [Текст] / Н.М. Матвеев, В.Г. Терентьев, Д.П. Мозговой // Вопросы лесной биогеоценологии, экологии и охраны природы в степной зоне: межвуз. сб. науч. тр. – Куйбыш. гос. ун-т, 1976. – Вып.1. – С. 3–16.
11. *Матвеев, Н.М.* Биоэкологический анализ флоры и растительности (на примере лесостепной и степной зоны) [Текст] / Н.М. Матвеев. – Самара: Самар. ун-т, 2006. – 311 с.
12. Растительность европейской части СССР [Текст] / под ред. С.А. Грибовой, Е.М. Лавренко. – Л.: Наука, 1980. – 429 с.

Поступила 17.01.07

N.M. Matveev
Samara State University

Peculiarities of Steppe Forests in Extreme South-East of European Russia

Based on the example of the Kransosamara forest, sole in the extreme south-east of the European Russia, the characteristic of the most typical forest stands is provided in sub-zone of grassland- fescue-stipa chernozem steppes. The data on composition of wooden, shrubby and grass layer in corresponding conditions of edaphotop are provided/

Keywords: forest communities, steppe zone.

Характеристика лесонасаждений

№ пробной площади ¹	Шифр ² и наименование лесонасаждений по А.Л. Бельгарду [2]	Сомкнутость	Световое допольствие ³ , %	Средняя мощность подстилки, см	Местоположение, почва	Преобладающие в травостое виды (в скобках среднее проективное покрытие ⁴ , %)
6	В $\frac{П_{1,2}}{\text{тен-III}}$ 6Л.с4Д.ч, ед. Б.п, Ос Липовая дубрава с примесью березы повислой и осины теневой структуры в стадии изреживания на свежаватом песке	0,7	12,5	5,0	Арена. Луговато-черноземная неполно-развитая выщелоченная малогумусированная (3,96 %) мощная песчаная на песке (рН 6,56)	<i>Convallaria majalis</i> (27), <i>Polygonatum multiflorum</i> (17), <i>Chelidonium majus</i> (8), <i>Carex supina</i> (8), <i>Lathyrus pisiformis</i> (5), <i>Viola mirabilis</i> (4), <i>Poa nemoralis</i> (4)
7	Дс $\frac{СП_{1,2}}{\text{тен}_к\text{-III}}$ 10Д.ч, ед. В.ш Дубняк с примесью вяза шершавого и кустарниковым подлеском (клен татарский, бересклет бородавчатый) теневой структуры в стадии изреживания на свежаватой супеси	0,6	29,1	3,0	Верхняя часть склона от арены к пойме. Луговато-черноземная выщелоченная малогумусированная (4,79 %) мощная супесчаная на песке (рН 7,1)	<i>Calamagrostis epigeios</i> (10), <i>Convallaria majalis</i> (10), <i>Polygonatum multiflorum</i> (8), <i>Heraclium sibiricum</i> (7), <i>Carex contigua</i> (5), <i>Aegopodium podagraria</i> (5), <i>Nepeta pannonica</i> (4), <i>Chelidonium majus</i> (4)
8	Дс $\frac{СП_{2,3}}{\text{тен-III}}$ 9Л.с1Д.ч, ед. В.ш Липовая дубрава с примесью вяза шершавого теневой структуры в стадии изреживания на влажноватой супеси	0,8	2,3	4,0	Нижняя часть склона от арены к пойме. Луговая выщелоченная среднегумусированная (6,08 %) мощная супесчаная на песке (рН 7,3)	<i>Aegopodium podagraria</i> (30), <i>Convallaria majalis</i> (20), <i>Aristolochia clematitis</i> (18), <i>Chelidonium majus</i> (11), <i>Polygonatum multiflorum</i> (11), <i>Glechoma hederacea</i> (4)

№ пробной площади ¹	Шифр ² и наименование лесонасаждений по А.Л. Бельгарду [2]	Сомкнутость	Световое довольствие ³ , %	Средняя мощность подстилки, см	Местоположение, почва	Преобладающие в травостое виды (в скобках среднее проективное покрытие ⁴ , %)
21	АВ $\frac{\text{П}_{1-2}}{\text{п/осв-III}}$ 10Ос Осинник полуосветленной структуры в стадии изреживания на свежаватом песке	0,6	60,0	3,0	Арена. Луговато-черноземная неполно-развитая выщелоченная слабогумусированная (<1 %) среднеспособная песчаная на песке	<i>Convallaria majalis</i> (60), <i>Polygonatum multiflorum</i> (5), <i>Carex supina</i> (4), <i>Fragaria viridis</i> (4), <i>Galium aparine</i> (4), <i>Calamagrostis epigeios</i> (4), <i>Bromopsis inermis</i> (4)
22	АВ $\frac{\text{П}_2}{\text{п/осв-II}}$ 9Б.п1Ос, ед. Д.ч Осино-березняк с примесью дуба черешчатого полуосветленной структуры в стадии смыкания на свежем песке	0,8	40,0	2,0	Арена. Лугово-черноземная неполно-развитая выщелоченная слабогумусированная (<1 %) маломощная (24 см) песчаная на песке	<i>Equisetum hyemale</i> (30), <i>Convallaria majalis</i> (15), <i>Glechoma hederacea</i> (15), <i>Brachypodium pinnatum</i> (10), <i>Chelidonium majus</i> (5), <i>Bromopsis inermis</i> (4)
23	АВ $\frac{\text{П}_3}{\text{п/осв-III}}$ 6Б.п 3Ос 1В.ш Осино-березняк полуосветленной структуры в стадии изреживания на влажном песке	0,7	53,0	2,0	Котловина на арене. Луговая неполно-развитая выщелоченная слабогумусированная (<1 %) маломощная (40 см) песчаная на песке	<i>Aegopodium podagraria</i> (70), <i>Equisetum hyemale</i> (8), <i>Convallaria majalis</i> (8), <i>Polygonatum multiflorum</i> (5), <i>Filipendula ulmaria</i> (5)

Окончание таблицы

№ пробной площади ¹	Шифр ² и наименование лесонасаждений по А.Л. Бельгарду [2]	Сомкнутость	Световое доволствие ³ , %	Средняя мощность подстилки, см	Местоположение, почва	Преобладающие в травостое виды (в скобках среднее проективное покрытие ⁴ , %)
31	Е $\frac{\text{СГЗ}'_3}{\text{тен}_к\text{-III}}$ 6Л.с4Д.ч, ед. В.ш Краткопоемная липовая дубрава с примесью вяза шершавого и кустарниковым подлеском (из клена татарского) теневой структуры в стадии изреживания на влажном засоленном суглинке	0,8	1,2	5,0	Пойма. Аллювиальная луговая насыщенная солонцеватая среднегумусированная (6,55 %) мощная среднесуглинистая на аллювиальных тяжело-суглинистых отложениях (рН 7,42)	<i>Aegopodium podagraria</i> (37), <i>Aristolochia clematitis</i> (15), <i>Chelidonium majus</i> (10), <i>Convallaria majalis</i> (10), <i>Brachypodium pinnatum</i> (8), <i>Lathyrus vernus</i> (4)

Примечание. 1. Использована нумерация пробных площадей, принятая на Красносамарском стационаре. 2. П – песок, СП – супесь, СГЗ' – засоленный суглинок в краткозаливаемой пойме; 1-2 – свежаватый, 2 – свежий, 2-3 – влажноватый, 3 – влажный типы увлажнения; п/осв – полуосветленная, тен – теневая световая структура, к – кустарниковый подлесок; II – стадия смыкания, III – стадия изреживания; Л.с – липа сердцевидная, Д.ч – дуб черешчатый, Б.п – береза повислая, Ос – осина, В.ш – вяз шершавый. 3. Определяли с помощью люксметра как отношение освещенности травостоя в лесу к освещенности на открытом месте. 4. Проективное покрытие выражено как среднее арифметическое значение для 100 учетных площадок.

УДК 630*443.3

Б.П. Чураков , А.И. Кандрашкин

Ульяновский государственный университет

Чураков Борис Петрович родился в 1939 г., окончил в 1962 г. Московский лесотехнический институт, доктор биологических наук, профессор, заведующий кафедрой лесного хозяйства Ульяновского государственного университета, почетный работник высшего образования РФ. Имеет более 150 печатных работ в области лесной фитопатологии, микологии и экологии.

E-mail: olga_shrol@ulsu.ru



Кандрашкин Андрей Иванович родился в 1985 г., студент 4 курса Ульяновского государственного университета. Имеет 1 печатную работу.

E-mail: olga_shrol@ulsu.ru



ЗАРАЖЕННОСТЬ ДРЕВОСТОЕВ СОСНЫ СОСНОВОЙ ГУБКОЙ В РАЗЛИЧНЫХ ТИПАХ ЛЕСА И ЕЕ ВЛИЯНИЕ НА ВЫХОД ДЕЛОВОЙ ДРЕВЕСИНЫ

Выявлена степень зараженности разновозрастных древостоев сосны сосновой губкой в различных типах леса, определена протяженность стволовой гнили и влияние ее на выход деловой древесины.

Ключевые слова: сосновая губка, типы леса, протяженность гнили, выход деловой древесины.

Сосна обыкновенная (*Pinus sylvestris* L.) – наиболее распространенная и ценная хвойная древесная порода в лесах Среднего Поволжья. В современный период она распространена почти на всей территории Приволжской возвышенности, но неравномерно [1]. Наиболее крупные массивы сосновых лесов сосредоточены в ее центральной части (преимущественно в пределах Ульяновской и частично Пензенской областей), которые приурочены главным образом к отложениям палеогена и четвертичным древнеаллювиальным отложениям.

Экологическая амплитуда сосны обыкновенной довольно широка. Она может расти в самых различных местообитаниях, но очень чувствительна к деятельности человека, а из-за своего светолюбия не всегда выдерживает конкуренцию с другими древесными породами в естественных условиях [5, 9].

Древесина сосны остается самой востребованной на потребительском рынке. Выход деловой древесины в среднем составляет 70...75 %, наибольший приближается к 80...85 %. Однако этот максимум достигается не всегда по различным причинам, в том числе из-за стволовых гнилей [6, 7]. Проблема зараженности сосновых древостоев сосновой губкой (*Phellinus pini* (Thore ex Fr.) Pil.) очень актуальна и является предметом исследований многих ученых [2, 3 и др.].

Таблица 1

Тип леса	Зараженные деревья	
	шт.	%
Сосняк лишайниковый	14,6±0,42	14,6
« черничный	15,8±0,54	15,8
« снытьево-папоротниковый	17,2±0,49	17,2
Среднее	15,9	15,9

Целью нашей работы является изучение степени зараженности разновозрастных древостоев сосны обыкновенной сосновой губкой и влияния ее на выход деловой древесины в различных лесорастительных условиях Ульяновской области. Исследования проводили в разновозрастных сосняках Кузоватовского лесхоза в трех типах леса: сосняках лишайниковом, черничном и снытьево-папоротниковом. По данным лесопатологических обследований лесхоза [4], зараженность сосновых древостоев сосновой губкой колеблется в пределах 9,7...15,4 % в зависимости от лесорастительных условий и возраста древостоев. Для изучения степени зараженности в каждом типе леса закладывали безразмерные пробные площади по 100 деревьев одной возрастной группы (V класс возраста) в 5-кратной повторности. На каждой пробе производили пересчет деревьев с подразделением на здоровые и зараженные. Результаты исследований представлены в табл. 1.

Из данных таблицы видно, что средняя зараженность спелых древостоев сосны сравнительно невысока (15,9 %). Влияние типа леса незначительно: по мере улучшения лесорастительных условий от сосняка лишайникового к снытьево-папоротниковому наблюдается ее некоторое увеличение. Для сравнения отметим, что зараженность сосняков в Подмоскowie составила 10...15 % [8], в ленточных борах Западной Сибири в среднем 4 % [10].

Для изучения влияния возраста закладывали пробные площади по 100 деревьев в трех типах леса в 5-кратной повторности. Исследования проводили в разновозрастных древостоях сосны IV, V и VI классов возраста. Результаты исследований представлены в табл. 2.

Таблица 2

Тип леса	Класс возраста	Зараженные деревья	
		шт.	%
Сосняк лишайниковый	IV	10,8±0,45	10,8
	V	13,1±0,62	13,1
	VI	18,3±0,71	18,3
Среднее	–	14,1	14,1
Сосняк черничный	IV	13,4±0,67	13,4
	V	16,1±0,74	16,1
	VI	21,2±0,69	21,2
Среднее	–	16,9	16,9
Сосняк снытьево-папоротниковый	IV	14,9±0,84	14,9
	V	17,2±0,79	17,2
	VI	23,1±0,82	23,1
Среднее	–	18,4	18,4
Среднее по трем типам леса	–	16,5	16,5

Таблица 3

№ п/п	Степень толщины, см	Зараженные деревья	
		шт.	%
1	24	9,68±0,87	9,68
2	28	12,22±1,07	12,22
3	32	15,78±0,96	15,78
Среднее	28	12,56	12,56

Анализ данных таблицы показывает небольшое возрастание степени зараженности деревьев по мере улучшения лесорастительных условий от сосняка лишайникового к снытьево-папоротниковому. В пределах одного типа леса она увеличивается с возрастом древостоев.

Изучена взаимосвязь зараженности сосновых древостоев и диаметра дерева. Исследования проводили в сосняке черничном, класс возраста V, класс бонитета II, полнота 0,7. Для учета отбирали по 100 деревьев трех ступеней толщины: 24, 28 и 32 см в 5-кратной повторности и производили их сплошной пересчет с подразделением на здоровые и пораженные. Результаты исследования представлены в табл. 3. Как видно, в исследованных сосновых древостоях по мере увеличения толщины деревьев заметно возрастает зараженность сосновой губкой.

Линейная протяженность гнили позволяет судить о возможности использования фауных деревьев для получения деловых сортиментов. Для изучения протяженности гнилей в стволах закладывали пробные площади в сосняке черничном размером 100 × 50 м (0,5 га) в 5-кратной повторности. Таксационные показатели древостоя: состав 7СЗД, класс возраста V, класс бонитета II, средняя высота 22 м, средний диаметр 28 см, полнота 0,7. На каждой пробной площади в качестве моделей брали по 5 учетных деревьев, которые механически отбирали в процессе пересчета. Всего было взято 25 учетных деревьев. Их спиливали, обмеряли, размечали на лесные сортименты, раскряжевывали, просматривали каждый срез. Если обнаруживалась гниль, то определяли вид гриба и протяженность гнили (табл. 4).

Наиболее ощутимой формой ущерба, наносимого древостоям сосновой губкой, является снижение выхода деловой древесины. По ГОСТ 2708–75 «Объем круглых лесоматериалов» определяли выход расчетный (до раскряжевки) и фактический (после нее). Исследования проводили в тех же сосновых древостоях и на тех же пробных площадях, где изучали линейную протяженность гнили. Расчеты выполняли, исходя из суммарных объемов пяти учетных стволов на каждой пробной площади. Результаты представлены в табл. 5.

Таблица 4

№ пробной площади	Средняя протяженность гнили, м	№ пробной площади	Средняя протяженность гнили, м
1	10,81±0,57	4	10,94±0,76
2	11,43±0,62	5	12,36±0,67
3	11,92±0,74	Среднее	11,49

Таблица 5

№ пробной площади	Выход деловой древесины			
	расчетный		фактический	
	м ³	%	м ³	%
1	2,70	85,71	1,32	41,91
2	2,84	90,16	1,36	43,17
3	2,78	88,18	1,28	40,63
4	2,81	89,21	1,43	50,89
5	2,76	87,62	1,21	38,41
Среднее	2,78	88,18	1,32	43,00

Анализируя данные таблицы, можно констатировать, что поражение древостоев сосновой губкой приводит к значительному снижению выхода деловой древесины из фаутных деревьев. В среднем по пяти пробным площадям он снизился до 43,00 при расчетном выходе 88,18 %. В объемном выражении это выглядит таким образом: средний расчетный выход деловой древесины из пяти здоровых деревьев составляет 2,78, из фаутных 1,32 м³.

Выводы

1. Тип леса оказывает незначительное влияние на зараженность древостоев сосны сосновой губкой: по мере улучшения лесорастительных условий она несколько возрастает.
2. Влияние возраста и толщины деревьев заметно: по мере их увеличения зараженность повышается.
3. Средняя протяженность стволовой гнили у пораженных деревьев сосны в исследованных древостоях составляет 11,49 м.
4. Воздействие сосновой губки приводит к значительному снижению выхода деловой древесины из фаутных деревьев (примерно вдвое).

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Благовещенский, В.В. Растительность Приволжской возвышенности в связи с ее историей и рациональным использованием [Текст] / В.В. Благовещенский. – Ульяновск, 2005. – 714 с.
2. Ежов, О.Н. Распределение гнили сосновой губки в стволах сосны [Текст] / О.Н. Ежов, О.Н. Коношатов // Лесоведение. – 2001. – № 1. – С. 71–74.
3. Минкевич, И.И. Распространение и морфологическое разнообразие плодовых тел сосновой губки в лесах Европейского Севера России [Текст] / И.И. Минкевич, О.Н. Ежов // Лесн. журн. – 2001. – № 3. – С. 41–45. – (Изв. высш. учеб. заведений).
4. Объяснительная записка к материалам лесоустройства Кузоватовского лесхоза Ульяновской области [Текст]. – Ульяновск, 2003. – 356 с.
5. Правдин, Л.Ф. Сосна обыкновенная [Текст] / Л.Ф. Правдин. – М., 1964. – 364 с.
6. Синадский, Ю.В. Сосна. Ее вредители и болезни [Текст] / Ю.В. Синадский. – М., 1983. – 344 с.

7. *Смирнова, В.К.* Сосновая губка в различных типах леса и ее влияние на выход деловой древесины [Текст] / В.К. Смирнова // Вопросы лесозащиты. – М., 1963. – Т. 2. – С. 27–30.

8. *Стороженко, В.Г.* Структура грибных дереворазрушающих биотрофных сообществ лесных экосистем [Текст] / В.Г. Стороженко // Грибные сообщества лесных экосистем. – М. – Петрозаводск, 2000. – С. 224–291.

9. *Талиев, В.И.* Растительность меловых обнажений южной России [Текст] / В.И. Талиев // Тр. об-ва испытателей природы при Харьковском ун-те. – 1905. – Ч. 2. – С. 34–36.

10. *Чураков, Б.П.* Взаимоотношения патогенных грибов с древесными растениями [Текст] / Б.П. Чураков. – М.: Изд-во МГУ, 1993. – 195 с.

Поступила 07.05.08

B.P. Churakov, A.I. Kandrashkin
Ulyanovsk State University

Contamination of Pine Stands by Pine Fungus in different Forest Types and its Influence on Timber Yield

The contamination degree of uneven-age pine stands by pine fungus in different forest types is revealed. The length of stem rotting and its influence on timber yield are determined.

Keywords: pine fungus, forest types, length of rotting, timber yield.

И.Ю. Адамович, Е.Н. Самошкин

Брянская государственная инженерно-технологическая академия

Адамович Игорь Юрьевич родился в 1971 г., окончил в 1994 г. Брянский государственный педагогический институт, соискатель кафедры садово-паркового и ландшафтного строительства Брянской государственной инженерно-технологической академии. Имеет 9 печатных трудов по изучению влияния ионизирующего излучения на микотрофность хвойных.

E-mail: BGITAkafSPLS@yandex.ru



Самошкин Егор Никитич родился в 1934 г., окончил в 1960 г. Всесоюзный заочный лесотехнический институт, доктор биологических наук, профессор, заведующий кафедрой садово-паркового и ландшафтного строительства Брянской государственной инженерно-технологической академии, заслуженный деятель науки РФ, академик РАЕН. Имеет более 190 научных работ по генетике и селекции древесных растений.

E-mail: BGITAkafSPLS@yandex.ru



МИКОРИЗЫ СОСНЫ ОБЫКНОВЕННОЙ ПРИ РАЗЛИЧНЫХ УРОВНЯХ РАДИОАКТИВНОГО ЗАГРЯЗНЕНИЯ

Показано, что невысокие дозы радиоактивного излучения стимулируют развитие микориз сосны обыкновенной, сильные угнетают их.

Ключевые слова: мощность экспозиционной дозы, микотрофность, грибные чехлы корневых окончаний.

В настоящее время весьма важны мероприятия по реабилитации хронически загрязненных лесных массивов в результате аварии на ЧАЭС. В Беларуси разработаны концепция «биологической перегородки» о регулировании обмена радиоактивными веществами между почвой и произрастающей на ней растительностью [6] и технологии лесовосстановления на радиоактивно загрязненных лесных землях.

Сосна обыкновенная – высокомикотрофный вид, обычно произрастающий в симбиозе с грибами. Появились исследования о существенном влиянии промышленного загрязнения на рост и развитие микоризного гриба [2, 3], но действие радиации практически не изучено.

Исследования проводили в сосняках юго-западного региона Брянской области: тип леса бруснично-черничный, почва среднеподзолистая песчаная, ТУМ А₂–А₃, возраст насаждений 40... 60 лет. Пробные площади (ПП) закладывали в древостоях с различной МЭД: 1 – сравнительно невысокая (на поверхности почвы 239,2 на высоте 1 м от земли 149,6 мкР/ч), 2 – средняя (528,4 и 352,2 мкР/ч соответственно), 3 – высокая (737,6 и 499,2 мкР/ч). Контроль – сосняки с фоновой МЭД 10 мкР/ч (Учебно-опытный лесхоз Брянской государственной инженерно-технологической академии).

Изучали микоризы на корнях 2-летнего самосева сосны, растущего под пологом насаждений. Материал собран в конце вегетации, образцы с ПП брали в течение 4...7 дн. из 25-сантиметрового верхнего слоя почвы. При определении типов микориз использовали классификацию Т. Dominik [7], расширенную И.А. Селивановым [5]. Анатомическое строение исследовали по методикам И.А. Селиванова [5] и Д.В. Веселкина [3]; степень развития сети Гартига – по методике, разработанной нами: 0 баллов – полное отсутствие гифов грибов в межклетниках первичной коры; 1 – гифы оплетают менее 50 % клеток паренхимы первичной коры корня; 2 – сеть Гартига занимает 50...75 % паренхимы первичной коры корня, гифы не проникают во все слои клеток; 3 – гифы занимают свыше 75 % паренхимы первичной коры корня, проникают во все слои клеток. Измеряли радиус центрального цилиндра, толщину паренхимы первичной коры и грибного чехла. Препараты просматривали под микроскопами МБИ-6 и Микмед-1 с цветной микро-телевизионной системой. Анатомио-морфологическое строение микоризного корневого окончания самосева сосны показано на рис.1.

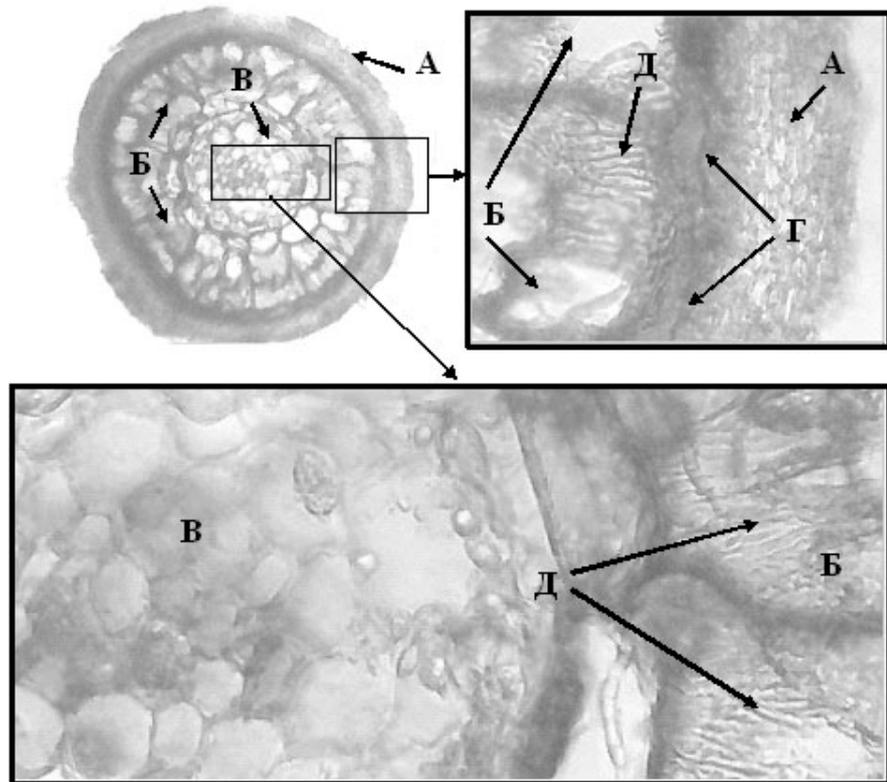


Рис. 1. Поперечный разрез микоризного корневого окончания сосны обыкновенной: А – грибной чехол, Б – живые клетки первичной коры, В – центральный цилиндр, Г – таниновые клетки первичной коры, Д – гифы сети Гартига

В результате исследования микориз обнаружены плектенхиматические (типы В, С, D, А), псевдопаренхиматические (типы F, H, G), двойные (типы Р, К) и бесструктурные (тип RS) чехлы. На всех ПП преобладают плектенхиматические чехлы, наиболее распространен тип В, в контроле он составил 70 % от общего числа микориз, при сравнительно невысокой МЭД (239,2 мкР/ч) – на 13 % меньше, но резко (на 20 %) возросла доля псевдопаренхиматических чехлов (достигает максимума), прежде всего второго по степени распространенности типа F (30 %). При среднем уровне МЭД (528,4 мкР/ч) количество псевдопаренхиматических чехлов составило 17 %, плектенхиматических равно контролю, а при высокой МЭД (737,6 мкР/ч) на 10 % меньше.

Процент бесструктурных чехлов возрастает с увеличением МЭД: в контроле – 3, в зоне высокой МЭД – 17. Тип А плектенхиматических чехлов фиксируется только в зоне с высокой МЭД: грибной чехол покрывает корень не сплошь, а в виде лопастей с рыхлым, неправильным соединением гифов с тканью корня. Двойные чехлы (типы Р и К) представлены в незначительных количествах (менее 4 % каждый).

Толщина плектенхиматических грибных чехлов достоверно увеличена (см. таблицу), достигает максимума при средней МЭД, при высокой несколько меньше, но существенно выше контроля. В зоне со сравнительно невысокой МЭД (239,2 мкР/ч) толщина псевдопаренхиматических чехлов достоверно увеличена, при средней отмечены самые толстые чехлы, при высокой различие с контролем недостоверно. Радиус корневого окончания с плектенхиматическими чехлами существенно выше контроля при сравнительно невысокой, средней и высокой МЭД; с псевдопаренхиматическими микоризами варьирует аналогично, но достоверно больше контроля только при средней МЭД. Увеличение радиуса центрального цилиндра наблюдалось только в зоне со средней МЭД у растений с плектенхиматическими чехлами. Значимый рост в толщину паренхимы плектенхиматических и псевдопаренхиматических чехлов отмечен в зоне со средней и высокой МЭД.

Доля площади грибного чехла, центрального цилиндра, паренхимы первичной коры от общей площади поперечного сечения различна. Большой процент (50,89...63,18) составляет паренхима корня, особенно у микориз с плектенхиматическими чехлами в контроле, меньше – грибной чехол, еще меньше – центральный цилиндр.

Степень развития сети Гартига в контроле составила $2,23 \pm 0,12$ балла; при сравнительно невысокой МЭД – $2,80 \pm 0,07$ балла ($t_{\text{факт}} > t_{\text{табл}}$, $P = 99,9\%$); при средней снизилась до $2,67 \pm 0,09$ балла, но $t_{\text{факт}} > t_{\text{табл}}$, $P = 99\%$; при высокой равна $2,5 \pm 0,1$ балла, однако $t_{\text{факт}} < t_{\text{табл}}$.

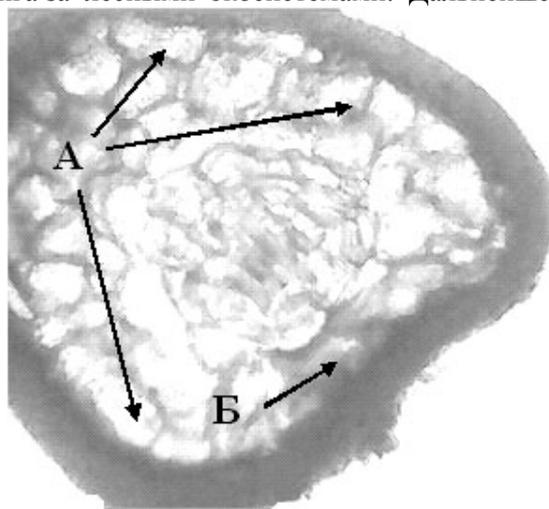
В зоне с высокой МЭД многие живые клетки паренхимы первичной коры не имеют тургора, что, видимо, связано с непосредственным воздействием радионуклидов. Кроме того, здесь встречаются корневые окончания особенного вида (рис. 2): на небольшом участке поперечного среза число слоев клеток первичной коры меньше обычного, их слагают таниновые уплотненные клетки с темноокрашенным содержимым. Известно [4], что у

хвойных растений за счет восходящего тока на границе древесины с камбиальным слоем накапливаются радионуклиды, что приводит к ослаблению нормального деления клеток камбия. Можно предположить, что жесткое излучение ингибирует рост камбия при формировании корневого окончания. Этим объясняется уменьшение числа слоев первичной коры, если рядом с данным участком имеются остатки «горячей» частицы, вызвавшей нарушение. Косвенным подтверждением такой гипотезы служит утолщение здесь грибного чехла. На образцах из 10-километровой зоны ЧАЭС в 1986–1995 гг. была показана способность грибов переводить радионуклиды в растворимую форму, что сопровождается направленным ростом мицелия к «горячим» частицам [1].

Установленное нами усиление микоризности в зонах с МЭД, равной 239,2 и 528,4 мкР/ч, связано со стимулирующим действием радиации, ослабление при МЭД 737,6 мкР/ч – с ее ингибированием (см. таблицу).

Эффект усиления или угнетения роста микориз сосны под воздействием радиоактивного загрязнения может быть использован в качестве тест-системы при ведении мониторинга за лесными экосистемами. Дальнейшее

Рис. 2. Одностороннее ингибирование развития паренхимы первичной коры: А – 3-4 слоя живых клеток; Б – 2 слоя клеток



изучение данного вопроса весьма перспективно, так как доказано различие в накоплении радионуклидов грибами в зависимости от типа питания. В частности, гриб *Armillariella mellea*, обитающий в сосновом лесу, может участвовать в трех трофических группах: сапротрофов, паразитов и микоризообразователей. Было выявлено, что по интенсивности перехода ^{137}Cs из почвы в плодовые тела трофические группы образуют следующий ряд (по убывающей): симбиотрофы > ксилофиты-сапротрофы > ксилофиты-паразиты [6]. Выявленная закономерность позволяет предположить влияние гриба на усвоение растением радионуклидов и может быть использована при создании тест-системы на основе данного критерия.

Использование микоризных грибов и микоризосодержащей земли при лесоразведении в радиоактивно загрязненных районах позволит улучшить состояние создаваемых культур сосны обыкновенной.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Блажеевская, Ю.В. Сравнительное изучение реакций радиотропизма и фотореакций грибов, выделенных из мест повышенного радиоактивного загрязнения [Электронный ресурс] / Ю.В. Блажеевская, Т.И. Редчиц. – Режим доступа: <http://www.smu.psn.ru>.
2. Веселкин, Д.В. Реакция эктомикориз хвойных на техногенное загрязнение [Текст]: автореф. дис. ... канд. биол. наук / Д.В. Веселкин. – Екатеринбург, 1999. – 21 с.
3. Веселкин, Д.В. Распределение тонких корней хвойных деревьев по почвенному профилю в условиях загрязнения выбросами медеплавильного производства [Текст] / Д.В. Веселкин // Экология. – 2002. – № 4. – С. 250–253.
4. Пельтек, С.Е. Изучение популяций высших растений, находящихся в зоне влияния Семипалатинского полигона [Текст] / С.Е. Пельтек [и др.] // Цитология и генетика. – 1996. – Вып. 30, № 4. – С. 9–14.
5. Селиванов, И. А. Микосимбиотропизм как форма консортивных связей в растительном покрове Советского Союза [Текст] / И.А. Селиванов. – М.: Наука, 1981. – 231 с.
6. Курбет, Т.В. Особливості накопичення ^{137}Cs різними трофічними групами опенька справжнього (*Armillariella mellea* (Fr.) Karst.) [Текст] / Т.В. Курбет, О.О. Орлов // Проблеми екології лісів і лісокористування на Поліссі України. – Житомир: Волинь, 1999. – Вип. 6. – С. 65–74.
7. Dominik, T. Key to ectotrophic micorrizae [Text] / T. Dominik // Folia forestalia polonica. Ser. A. – 1969. – P. 15.

Поступила 07.05.08

I.Yu. Adamovich, E.N. Samoshkin
Braynsk State Engineering Technological Academy

Mycorrhizas of Scotch Pine at Different Levels of Radioactive Radiation

It is shown that low radiation doses stimulate the development of Scotch pine mycorrhizas whereas high doses depress them.

Keywords: exposure dose capacity, mycotrophicity, fungoid cases of root endings.

**Анатомо-морфологическое строение микоризных корневых окончаний
(МЭД на поверхности почвы)**

МЭД, мкР/ч	Радиус		Толщина		Процент от общей площади поперечного сечения		
	микоризы	центрального цилиндра	грибного чехла	паренхимы корня	грибного чехла	центрального цилиндра	паренхимы корня
	мкм						
	Плектенхиматические чехлы						
239,2	148,01±6,96*	55,18±1,74	22,38±0,60***	70,44±1,77	28,04	13,89	58,07
528,4	163,47±3,85***	58,54±1,53**	24,83±0,68***	80,11±2,39**	28,22	12,85	58,93
737,6	156,60±4,41**	54,85±2,00	21,20±0,94***	80,55±2,75**	25,30	12,34	62,36
Контроль	136,42±3,69	51,18±1,77	16,37±0,71	68,87±2,10	22,69	14,12	63,18
	Псевдопаренхиматические чехлы						
239,2	156,33±4,79	54,37±2,09	32,18±1,28***	69,77±2,55	36,96	12,15	50,89
528,4	184,62±10,12*	65,61±3,86	34,18±2,67*	84,84±4,86*	33,52	12,70	53,77
737,6	171,15±4,62	58,74±2,15	27,72±1,21	84,68±3,45*	29,79	11,82	58,39
Контроль	141,29±13,05	51,57±5,66	25,02±1,14	64,69±7,07	32,86	13,27	53,86

* $t_{\text{факт}} > t_{\text{табл}}$, $P = 95\%$, $p < 0,05$; ** $t_{\text{факт}} > t_{\text{табл}}$, $P = 99\%$, $p < 0,01$; *** $t_{\text{факт}} > t_{\text{табл}}$, $P = 99,9\%$, $p < 0,001$.

А.В. Туюнен, А.Н. Громцев

Институт леса Карельского НЦ РАН

Туюнен Андрей Владимирович родился в 1982 г., окончил в 2005 г. Петрозаводский государственный университет, аспирант, младший научный сотрудник Института леса Карельского НЦ РАН. Имеет 2 печатные работы в области лесоведения и лесоводства.
E-mail: tujunen@krc.karelia.ru



Громцев Андрей Николаевич родился в 1958 г., окончил в 1980 г. Петрозаводский государственный университет, доктор сельскохозяйственных наук, старший научный сотрудник, заместитель директора по научной работе Института леса Карельского НЦ РАН. Имеет более 170 печатных работ в области ландшафтной экологии таежных лесов (лесоведение и лесоводство).
E-mail: gromtsev@karelia.ru



ОПТИМИЗАЦИЯ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ЗЕЛЕННЫХ ЗОН В УСЛОВИЯХ ТАЕЖНОЙ ЗОНЫ НА ЛАНДШАФТНОЙ ОСНОВЕ

Рассмотрена методика проектирования зеленых зон на ландшафтной основе. Выполнена рекреационная оценка ландшафтов территорий вокруг Петрозаводска. Даны рекомендации по формированию зеленой зоны, ее проект.

Ключевые слова: зеленая зона, принципы формирования, ландшафтная основа, рекреационные качества.

Зеленая зона – это территория за пределами городской черты, занятая лесами и лесопарками, выполняющими защитные и санитарно-гигиенические функции, являющаяся местом отдыха населения. В настоящее время ее площадь и границы определяются лесоустройством «с учетом естественноисторических условий и лесистости территории, численности населения и посещаемости пригородных лесов, защитности насаждений» [4]. Лесопарковую хозчасть выделяют из «входящих в зеленую зону города лесов с эстетически ценными ландшафтами» (ГОСТ 17.5.3.01–78) и размещают по периферии города.

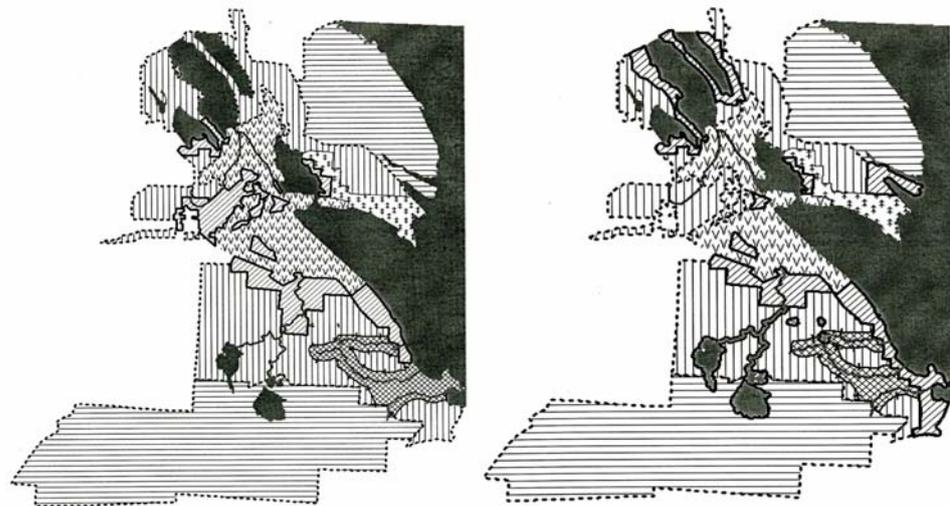
Данная методика не лишена недостатков, так как в ней используется принцип «сплошного» включения в зеленую зону лесов в пределах какого-либо радиуса. В состав лесопарковой части входят леса, расположенные у границ города, что в ряде случаев может приводить к ее формированию из лесов, малопривлекательных в рекреационном отношении. Примерами могут служить зеленые зоны г. Кемь и Олонец, первая из которых (площадью 30,5 тыс. га) представлена сильнозаболоченными участками, а вторая находится на открытой аграрной равнине. Рекреационные качества лесопарковой части оценивают по фактически выделенным лесам в целях дальнейшего проектирования комплекса мероприятий по благоустройству.

Ландшафтный подход к организации зеленых зон позволяет избежать недостатков подобного рода, так как основывается на выявлении естественной структурно-функциональной организации лесного покрова, оценке ресурсного потенциала и дальнейшей оптимизации на этой основе лесо-

пользования. А.Г. Исаченко утверждает, что при проектировании размещения рекреационных комплексов оптимальным объектом будет ландшафт [3]. Одним из основных факторов при оценке природных условий для отдыха является разнообразие среды. Внутреннее разнообразие ландшафта, т. е. в конечном итоге его морфологическое строение, определяет эстетические достоинства.

В основу исследования положена оригинальная классификация и карта ландшафтов Карелии [1, 6, 7], построенная по зонально-типологическому принципу. Рекреационные качества пригородных ландшафтов оценивали по специально разработанной нами методике, заключающейся в закладке профилей с количественным и качественным описанием компонентов ландшафта. Подробно методика ландшафтно-экологических исследований изложена в серии наших публикаций [2, 6, 7]. Изучали контрастность рельефа, количество и особенности водных объектов, степень заболоченности, представленность и территориальную компоновку типов леса, привлекательных для отдыхающих, степень и специфику антропогенной трансформации и др.

В качестве модельного объекта более детально рассмотрим зеленую зону г. Петрозаводска (см. рисунок). Население города – 282,7 тыс. человек. В настоящее время общая площадь объекта составляет 61 978 га, в том числе



лесопарковая часть – 12 826 га, лесохозяйственная – 49 152 га. При проекти-

	Лесопарковая часть		Эксплуатируемые леса
	Ландшафтный заказник		Реки
	Лесохозяйственная часть		Озера
	Земли города		Водоохранные полосы

Существующая (слева) и проектируемая (справа) зеленая зона г. Петрозаводска

ровании зеленой зоны в лесопарковую часть были включены участки, расположенные на расстоянии до 10 км от города. Такой подход привел к неожиданному результату. Рекреационные качества этой части оказались относительно низкими на фоне всего объекта. Она представлена в основном однообразными высокополотными одновозрастными ельниками низкой рекреационной привлекательности, которую невозможно значительно повысить, проводя комплекс хозяйственных мероприятий по благоустройству.

Для решения проблемы необходима перепланировка зеленой зоны на основе ландшафтного метода, что позволит органично вписать зону в «природную конструкцию» территории, обеспечит снижение негативного антропогенного воздействия, сохранение и воспроизводство комфортной пригородной среды.

Как видим, в настоящее время зеленая зона находится в пределах трех типов ландшафта. Ниже представлена характеристика и оценка их природных особенностей и рекреационных ресурсов.

Ландшафт озерных и озерно-ледниковых среднезаболоченных равнин с преобладанием еловых местообитаний. Занимает северо-западную часть пригородной территории. Формирование озерной равнины связано с отступлением Онежского озера, уровень которого около 9000 лет назад был значительно выше. Большая степень заболоченности (40 %) определяется близким залеганием к поверхности глинистых осадков, представляющих собой водоупорный горизонт. До антропогенного воздействия в лесном покрове доминировали еловые леса черничного свежего и смешанного типов, занимавшие более 60 % лесной площади.

В настоящее время леса в основном представлены елово-лиственными и лиственными древостоями. Сохранившиеся участки неоднократно пройдены сплошными и выборочными рубками. Наиболее привлекательные для рекреации сосняки занимают незначительную площадь. В целом природные комплексы глубоко трансформированы антропогенным воздействием. Практически все болота осушены. Большая часть лесов сведена и в совокупности с осушенными болотами превращена в обширные массивы аграрных земель. В результате водоемы и водотоки эфтрофированы. Территория сильно фрагментирована дорожной сетью, линиями электропередач и другими коммуникационными сооружениями. Рекреационные качества современного ландшафта оцениваются как крайне низкие.

Ледниковый холмисто-рядовой среднезаболоченный ландшафт с преобладанием еловых местообитаний. Занимает южную часть пригородной территории. Заболоченность ландшафта варьирует от 20 до 40 % в зависимости от морфологических особенностей мезорельефа различных местностей ландшафта. Коренные еловые леса (преимущественно черничного типа) до начала освоения покрывали более 60 % лесной площади. Природные рекреационные качества ландшафта оцениваются как низкие.

Степень антропогенной трансформации территории высока. Здесь расположено много дачных кооперативов и других объектов рекреационного назначения (базы отдыха и т. п.). Леса интенсивно эксплуатируются, в прошлом они были пройдены сплошными и выборочными рубками. В настоящее время лесной покров представляет собой мозаику производных древостоев самого различного состава с доминированием елово-лиственных фитоценозов. Это несколько улучшает невысокие природные рекреационные качества ландшафта.

В целом данная территория представляет интерес лишь для рекреации выходного дня (сбор грибов и ягод, лыжные прогулки и т. п.). Исключение составляют урочища на побережьях нескольких сравнительно крупных озер и вдоль нижних частей течений рек, где концентрируется основная часть отдыхающих.

Денудационно-тектонический грядовый (сельговый) среднезаболоченный ландшафт с преобладанием сосновых местообитаний. Занимает северо-восточную часть пригородной территории. Отличается сильнопересеченным крупногрядовым рельефом, нередко со скальными обнажениями. Заболоченность территории едва превышает 20 %. Это почти исключительно заболоченные леса. Открытые болота очень редки. К весьма протяженной береговой линии Онежского озера (примерно 8 км) приурочены живописные пейзажи. Природные рекреационные качества ландшафта на фоне Карелии оцениваются как высокие.

В составе лесов преобладают сосняки (примерно 60 %), в том числе скальные, брусничные скальные и черничные скальные. Они являются эталоном рекреационной привлекательности. В подлеске встречаются клен и липа. Интенсивность рубок на данной территории в прошлом и в настоящее время относительно невысока. Аграрное освоение территории носило фрагментарный характер, поэтому ландшафт значительно не трансформировался. В целях его сохранения в условиях интенсивной рекреационной эксплуатации на части территории создан государственный ландшафтный заказник «Заозерский» (см. рисунок).

Итак, установлено, что ландшафты зеленой зоны значительно отличаются по рекреационной привлекательности, средообразующим и средозащитным качествам лесного покрова. В настоящее время значительная часть территории представлена ландшафтами низких рекреационных качеств, следовательно, необходима оптимизация конфигурации зеленой зоны.

Оптимальным представляется следующий эскиз-проект зеленой зоны (см. рисунок). Основные принципы, использованные при проектировании: 1) подбор для включения в лесопарковую часть наиболее рекреационно привлекательных участков; 2) вычленение площадей, глубоко трансформированных хозяйственной деятельностью, а также участков, характеризующихся низкой рекреационной привлекательностью. Первоначальное разделение пригородных территорий по критериям рекреационной привлекательности осуществлено на ландшафтной основе, что потребовало перераспре-

деления конфигурации зеленой зоны с максимальным включением земель сельгового ландшафта (как наиболее привлекательного).

Присоединение озерной равнины нецелесообразно, так как ее рекреационные качества очень низки, а для их повышения требуется проведение весьма дорогостоящих мероприятий по благоустройству территории. Ледниковый ландшафт также не отличается высокой рекреационной привлекательностью, но большая часть пригородных территорий находится в его пределах, что обуславливает безальтернативное его использование. В данной части зеленой зоны необходимы благоустройство, пейзажные рубки (в том числе сплошные).

Отдельно выделены участки, пользующиеся высокой популярностью у отдыхающих, которые следует сохранять и благоустраивать. В настоящее время они входят в состав лесохозяйственной части лесов, что предполагает сплошную рубку (sic!). Как правило, эти участки располагаются вдоль берегов водных объектов, находящихся недалеко от города. Эти полосы имеют ширину 200 м, так как именно на таком расстоянии от водных объектов концентрируется большинство рекреантов [5]. В состав зеленой зоны введены территории вокруг крупных дачных массивов, организованных после ее выделения.

Дополнительно в состав зеленой зоны г. Петрозаводска следует включить фрагменты ландшафта озерных и озерно-ледниковых слабозаболоченных равнин с преобладанием сосновых местообитаний. Он вытянут узкой полосой (0,5...1,5 км) вдоль юго-западного побережья Онежского озера на расстоянии 10 км и более от города и пока относится к эксплуатационным лесам. Значительная часть прибрежной полосы озерной равнины представлена урочищами с песчаными берегами пляжного типа и сосняками брусничными и черничными, очень привлекательными для самых разных видов рекреации.

В настоящее время продолжается детальное исследование территорий вокруг других городов Карелии для разработки рекомендаций по оптимизации их использования на ландшафтной основе. В целом ее применение при проектировании зеленых зон представляется весьма перспективным. Комплексная оценка территорий с учетом «природной» специфики позволяет: 1) исключить их формирование из малоценных участков; 2) переформировать современные пейзажи в целях повышения их рекреационной привлекательности; 3) сохранить и усилить защитные и санитарно-гигиенические функции лесного покрова.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Волков, А.Д. Лесные ландшафты Карельской АССР [Текст] / А.Д. Волков [и др.] // Природа и хозяйство Севера. – 1981. – Вып. 9. – С. 10–17.
2. Громцев, А.Н. Ландшафтная экология таежных лесов: теоретические и прикладные аспекты [Текст] / А.Н. Громцев. – Петрозаводск: КарНЦ РАН, 2000. – 144 с.

3. *Исаченко, А.Г.* Методы прикладных ландшафтных исследований [Текст] / А.Г. Исаченко. – Л.: Наука, 1980. – 222 с.
4. Лесоустройство [Текст] / О.А. Неволин [и др.]. – Архангельск: Правда Севера, 2003. – 583 с.
5. *Репшас, Э.* Оптимизация рекреационного лесопользования (на примере Литвы) [Текст] / Э. Репшас. – М.: Наука, 1994. – 240 с.
6. Экосистемы ландшафтов запада северной тайги: структура, динамика [Текст] / А.Д. Волков [и др.]. – Петрозаводск: КарНЦ РАН, 1995. – 194 с.
7. Экосистемы ландшафтов запада средней тайги: структура, динамика [Текст] / А.Д. Волков [и др.]. – Там же. – 1990. – 284 с.

Поступила 09.07.08

A.V. Tuuninen, A.N. Gromtsev
Forest Research Institute of Karelian RC RAS

Landscape-based Optimization of Green Belts Use in Taiga Zone

The landscape-based technique of green belt planning is considered. The recreational assessment of landscapes surrounding Petrozavodsk is performed. The recommendations on the green belt formation are provided, its plan is elaborated.

Keywords: green belt, formation principles, landscape base, recreational qualities.



УДК 630*24: 65.011.54

Д.Г. Мясищев, А.Ф. Прокопьев

Архангельский государственный технический университет

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



Прокопьев Андрей Федорович родился в 1983 г., окончил 2006 г. Архангельский государственный технический университет, аспирант кафедры транспортных машин АГТУ. Область научных интересов – проектирование и производственная эксплуатация авто-транспортных систем.
E-mail: pro83rus@mail.ru



ОБОСНОВАНИЕ ПАРАМЕТРОВ И ВЫБОР КОМПОНЕНТОВ ШАССИ МИНИ-ФОРВАРДЕРА ДЛЯ РУБОК УХОДА В МОЛОДНЯКАХ

С использованием методов математического моделирования и дискретной оптимизации, обоснованы оптимальные компоненты ходовой системы мини-форвардера – модели шин тягового модуля и прицепа, а также соответствующие им параметры трансмиссии – передаточное число для грузового режима. Показателем качества выбран часовой расход топлива.

Ключевые слова: рубки ухода, мотоблок, мини-форвардер, шасси, оптимизация.

Объектом исследования является малогабаритный форвардер для транспортировки мелкомерной древесины непосредственно на участках при рубках ухода в смешанных и хвойных молодняках. В данном случае агрегат с колесной формулой 4К2 или 6К2 состоит из одноосного пешеходного мини-трактора (мотоблока 2К2) и шарнирно сочлененного с ним специального прицепа с кузовом для транспортировки срезанного древесного сырья (хворост, мелкие деревья, сортименты).

В работе [5] доказано, что между проектными параметрами представленного лесотранспортного агрегата и его технологическими свойствами существует оптимальное соотношение. При этом показателем качества является удельный технологический расход топлива. В частности, в случае оснащения мини-форвардера энергетической установкой мощностью 3,7 кВт (двухтактный одноцилиндровый бензиновый двигатель МП-5 «Урал») оптимальная масса балластированного мини-трактора

$G_{\text{мб.оп}} = 255 \dots 285$ кг, порожнего прицепа $G_{\text{пр.оп}} = 235 \dots 260$ кг, оптимальная рейсовая нагрузка $Q_{\text{гр.оп}} = 1,1 \dots 1,2$ м³ (пл.). Все сказанное относится к параметрам и характеристикам лесотранспортной системы в целом.

Целью данной работы является определение оптимального сочетания параметров трансмиссии и компонентов ходовой системы тягового модуля и прицепа при указанной выше совокупности оптимальных характеристик всей исследуемой лесотранспортной машины. Конечным результатом должна стать минимизация расхода топлива (например часового) на транспортные операции, а значит, повышение эксплуатационной эффективности рубок ухода в целом.

В качестве методов исследований приняты элементы системного анализа [6], в частности: обобщение результатов смежных теоретических разработок, математическое моделирование взаимодействия объектов системы двигатель – поверхность движения – ходовая система – трансмиссия, оптимизация.

Часовой расход топлива ($B_{\text{час}}$, кг/ч) рассматриваемой лесотранспортной системы можно прогнозировать по модели [5]

$$B_{\text{час}} = B_0 + M_{\text{в}}(\omega), \quad (1)$$

где B_0 – часовой расход топлива, соответствующий математическому ожиданию частоты вращения коленчатого вала двигателя (n_0), отсутствию сил инерции и горизонтальному ровному пути движения;

$M_{\text{в}}(\omega)$ – математическое ожидание спектральной плотности часового расхода топлива.

При этом

$$B_0 = P_1 n_0 (\sin \alpha + f_k), \quad (2)$$

где α – математическое ожидание угла уклона пути движения на участке, рад;

f_k – коэффициент сопротивления качению лесотранспортной машины;

$$P_1 = \frac{3,6\pi r_k Q_{\text{агр}}}{30 H_u \eta_e \eta_{\text{тр}} i_{\text{тр}}}, \quad (3)$$

где r_k – радиус качения колеса мотоблока, м;

$Q_{\text{агр}}$ – вес агрегата с грузом, Н;

H_u – низшая удельная теплота сгорания топлива, кДж/кг;

$\eta_e, \eta_{\text{тр}}$ – эффективный КПД двигателя и КПД трансмиссии мини-трактора;

$i_{\text{тр}}$ – передаточное число трансмиссии мотоблока.

$$M_{\text{в}}(\omega) = \left[\frac{1}{\pi} \int_0^{\infty} |W(j\omega)|^2 d\omega \right]^{0,5}, \quad (4)$$

где $|W(j\omega)|^2$ – квадрат модуля передаточной функции часового расхода топлива данной лесной машиной, ($j=(-1)^{0,5}$).

В операторном виде передаточная функция имеет вид

$$W(s) = P_1 [\sin \alpha U(s) + f_{\kappa} (\cos \beta_0 U(s) + P_3 n_0)] + P_2 I (n_0 s U(s) + \Phi_{\Pi} U(s)), \quad (5)$$

где $U(s)$ – передаточная функция частоты вращения коленчатого вала двигателя;

β_0 – математическое ожидание текущего угла между касательной силой тяги мини-трактора и горизонталью в зависимости от высоты микронеровностей, рад;

I – суммарный, приведенный к коленчатому валу двигателя момент инерции вращательно и поступательно движущихся масс машины, кг·м²;

Φ_{Π} – постоянная двигателя;

s – оператор дифференцирования;

$$P_2 = \frac{3,6\pi^2}{900 H_u \eta_e}; \quad (6)$$

$$P_3 = \frac{i_{\text{тр}} \eta_{\text{тр}}}{Q_{\text{агр}} f_{\kappa} r_{\kappa}}. \quad (7)$$

На основе представленной математической модели разработан оптимизационный алгоритм, имеющий следующую структуру:

$$\min B_{\text{час}};$$

$$B_{\text{час}} = B_0 + M_{\text{в}}(\omega);$$

$$M_{\text{в}}(\omega) = \left[\frac{1}{\pi} \int_0^{\infty} |W(j\omega)|^2 d\omega \right]^{0,5};$$

$$\left. \begin{aligned} |W(j\omega)| &= F[\{Y_i\}, \{S_{\text{т}}\}, A_{\text{дв}}(\omega)] \\ N_{\text{тр}} &\leq N_{\text{двс}} \\ P_{\text{тяг}}[\{Y_i\}, Q_{\text{тр}}] &\leq P_{\text{сч}}[\{Y_i\}, Q_{\text{тр}}] \end{aligned} \right\}, \quad (8)$$

где $M_{\text{в}}(\omega)$ – математическое ожидание спектральной плотности часового расхода топлива, найденное в предположении, что плотность вероятности появления каждой гармоники внешнего возмущения с частотой ω равна единице, т. е. использована характеристика дельта-функции Дирака (единичная функция), а в вычислительной процедуре спектр возмущения аппроксимирован финитной зависимостью;

$$j = (-1)^{0,5};$$

$\{Y_i\}$ – список статических конструктивных и технологических параметров задачи (i – номер параметра);

$\{S_{\text{т}}\}$ – вектор вероятностных характеристик поверхности технологического коридора;

$A_{\text{дв}}(\omega)$ – амплитудно-частотная характеристика частоты вращения коленчатого вала двигателя;

$N_{\text{тр}}, N_{\text{двс}}$ – соответственно мощность трелевочного процесса и номинальная мощность двигателя;

$P_{\text{тяг}}, P_{\text{сц}}$ – сила тяги мини-трактора и ограничение силы тяги по сцеплению;

$Q_{\text{гр}}$ – рейсовая нагрузка.

Проанализируем основные компоненты предлагаемой модели. Обобщив результаты исследований ведущих специалистов в области теории качения пневматического колеса и тяговой динамики лесотранспортных машин, мы разработали математическую модель качения эластичного колеса одноосного мини-трактора по деформируемой поверхности трелевочного волока. Все последующие математические выкладки проиллюстрированы на рис. 1.

На основании данных [2] уравнение для оценки динамического прогиба шины ($\delta_{\text{ш.о}}$, м) можно записать в виде

$$\delta_{\text{ш.о}} = \frac{R}{2P\sqrt{r_0}Ш_{\text{II}}(2b - Ш_{\text{I}}h_0)}, \quad (9)$$

где R – вертикальная нагрузка на колесо, Н;

P – давление воздуха в шинах, Па;

r_0 – радиус пневматической шины в свободном состоянии, м;

$Ш_{\text{I}}, Ш_{\text{II}}$ – безразмерные коэффициенты, зависящие от отношения высоты профиля шины (h_0 , м) к длине образующей боковины покрышки (L_6 , м);

$2b$ – ширина между бортами шины, м.

С учетом результатов работы [3] для определения глубины колеи при качении эластичного колеса агрегата по деформируемому волоку получено уравнение

$$R = c\Pi \left(1 - \frac{\mu}{3}\right) h_{\text{к}}^{\mu} \sqrt{2r_0 \left(1 + \frac{\delta_{\text{ш.о}}}{h_{\text{к}}}\right) h_{\text{к}}} \Rightarrow h_{\text{к}}. \quad (10)$$

Здесь c, μ – безразмерные эмпирические коэффициенты А.К. Бируля;

Π – ширина профиля шины, м;

$h_{\text{к}}$ – искомая глубина колеи, м.

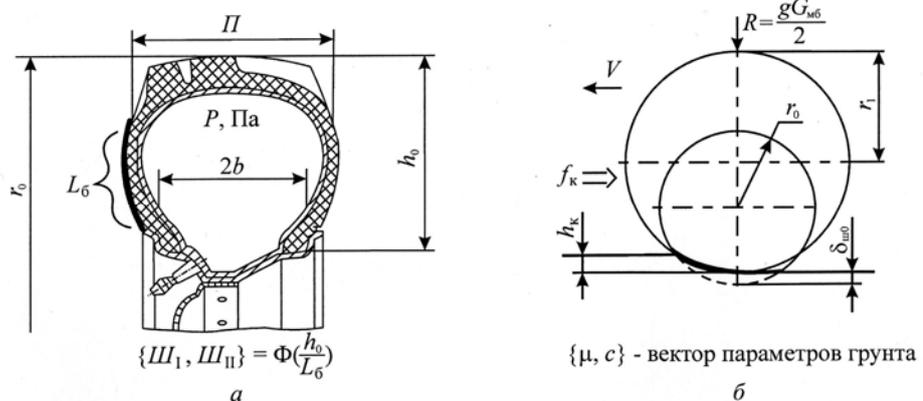


Рис. 1. Расчетные схемы: а – профиль шины с конструктивными параметрами; б – схема качения эластичного колеса мотоблока по волоку

В итоге с учетом теоретических данных В.Ф. Бабкова [3] найдена зависимость для расчета коэффициента сопротивления качению f_k исследуемого движителя:

$$f_k = \frac{1}{(\mu + 1)(1 - \frac{\mu}{3})} \sqrt{\frac{h_k}{2r_1}} \left(\frac{h_k}{h_k + \delta_{ш.о}} \right), \quad (11)$$

где r_1 – радиус условно жесткого колеса, м,

$$r_1 = r_0 \left(1 + \frac{\delta_{ш.о}}{h_k} \right). \quad (12)$$

В уравнения для расчета часового расхода топлива мини-форвардера входят также внутренние параметры тягового модуля.

Передаточное число трансмиссии $i_{тр}$ равно:

$$i_{тр} = \frac{\pi n_M}{30V} (r_0 - \delta_{ш.о}), \quad (13)$$

где n_M – частота вращения коленчатого вала двигателя мотоблока при максимальном крутящем моменте (тяговый режим), мин^{-1} ;

V – скорость движения агрегата, м/с.

КПД трансмиссии мотоблока в нашем случае целесообразно оценивать в соответствии с данными [7]:

$$\eta_{тр} = \eta_{тр0} - \frac{g(2 + 0,09V)G_{мб.оп}(r_0 - \delta_{ш.о})}{M_E i_{тр} \cdot 10^3}, \quad (14)$$

где $\eta_{тр0}$ – КПД трансмиссии мотоблока, определенный по фактическому числу и типам зацеплений в редукторных узлах для случая тягового режима мини-форвардера;

g – ускорение свободного падения, м/с^2 ;

M_E – максимальный крутящий момент двигателя мини-трактора, Н·м.

Вторая составляющая правой части уравнения (14) – это гидравлические потери в трансмиссии тягового модуля при грузовом ходе агрегата.

Коэффициент учета вращающихся масс ($\beta_{в.м}$) колесной лесотранспортной машины [4], который используется при определении параметра I в формуле (5):

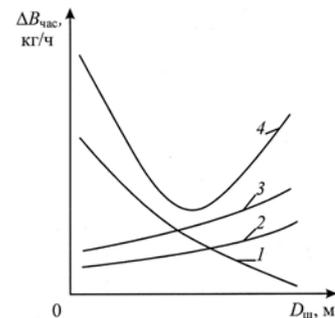
$$\beta_{в.м} = 1,04 + 0,05i_{тр}^2. \quad (15)$$

Характерно, что все величины, входящие в формулы (13)–(15), при прочих равных условиях зависят от конструктивных и эксплуатационных параметров пневматической шины колеса тягового модуля мини-форвардера.

Таким образом, возможна следующая проблемная ситуация, основанная на предлагаемой математической модели. При увеличении радиуса шины (r_0) и постоянстве остальных факторов доля часового расхода топлива ($\Delta B_{час}$), с одной стороны, снижается в связи с уменьшением сопротивления качению колес мини-трактора (f_k). С другой стороны, составляющие $\Delta B_{час}$ при уменьшении КПД трансмиссии ($\eta_{тр}$) и увеличении коэффициента учета

вращающихся масс ($\beta_{в.м}$) будут возрастать из-за необходимости роста передаточного числа трансмиссии – формула (13). Значит, справедливо прогнозировать, что суммарная добавка всех названных составляющих часового расхода топлива ($\Sigma\Delta B_{час}$) будет иметь минимум для некоторой конкретной пневматической шины одноосного мини-трактора. При этом варьируемым параметром задачи будут диаметры шин ($D_{ш}$), подходящих по совокупности требований в рамках конструкции тягового модуля. Качественная иллюстрация рассмотренной противоречивой ситуации раскрыта на рис. 2.

Рис. 2. Качественное соотношение составляющих часового расхода топлива мини-форвардера в зависимости от диаметра пневматического колеса в свободном состоянии: 1 – $\Delta B_{час}(f_k)$; 2 – $\Delta B_{час}(\eta_{тр})$; 3 – $\Delta B_{час}(\beta_{в.м})$; 4 – $\Sigma\Delta B_{час}$



Обобщая изложенные рассуждения, можно сформулировать следующую задачу оптимизации. Заданы неизменные проектные параметры мини-форвардера. Для достижения минимального часового расхода топлива (см. формулы (1) – (8)) следует учитывать выполнение пяти ограничительных условий:

$$D_{ш\min} \leq D_{ш} \leq D_{ш\max}; \quad (16)$$

$$K_{клир} \geq K_{клир.норм}; \quad (17)$$

$$G_{агр} = G_{мб.оп} + G_{пр.оп}; \quad (18)$$

$$Q_{гр.расч} = Q_{гр.оп}; \quad (19)$$

$$V = V_{гр}. \quad (20)$$

Здесь $D_{ш\min}$, $D_{ш\max}$ – соответственно минимально и максимально возможный свободный диаметр шины тягового модуля;

$K_{клир}$, $K_{клир.норм}$ – расчетный и нормативный клиренс мини-трактора;

$G_{агр}$ – проектная масса агрегата, соответствующая рекомендациям [5];

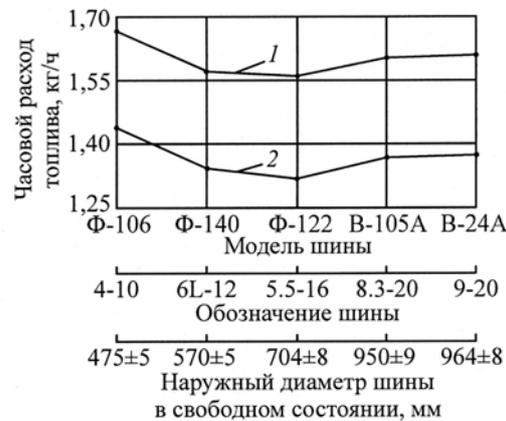
$Q_{гр.расч}$ – расчетная рейсовая нагрузка по данным [5];

$V_{гр}$ – скорость движения лесотранспортной системы на участке рубки ухода в грузовом режиме.

Для шин прицепа, которые являются несущими, энергобаланс при качении определяется зависимостью (11).

Требуется определить такой типоразмер пневматических шин колес, соответствующие ему параметры трансмиссии одноосного мини-трактора и модель колесных шин прицепа, при которых обеспечивается минимум часового расхода топлива транспортной системой с учетом известных ограничений на внутренние параметры модели.

Рис. 3. Результаты решения математической модели (1)–(8): 1 – для прицепа с четырьмя несущими шинами модели В-19А (5-10); 2 – для прицепа с двумя несущими шинами модели И-83 (8.25-15)



Анализ элементов полученной математической модели указывает на существование задачи дискретной оптимизации [1]. Методом ее решения в данном случае может быть синтез значений целевой функции (1) для конкретных моделей шин тягача и прицепа при соответствии их параметров конструктивным ограничениям лесотранспортного агрегата (компоновка ходовой системы, грузоподъемность и т. п.).

Разработанный вычислительный алгоритм и реализованная в соответствии с ним компьютерная программа позволили получить результаты, представленные на рис. 3.

В качестве входных объектов исследуемой модели приняты специальные сельскохозяйственные шины отечественного производства [8], для которых при расчетах учтены соответствующие нормы нагрузок и давлений воздуха в камерах. Отметим, что ни в РФ, ни за рубежом для лесной техники не производятся шины с требуемыми по условиям данной задачи диапазонами параметров.

Выводы

1. В соответствии с поставленной оптимизационной задачей минифорвардер с указанными проектными параметрами рекомендуется оснастить специальными отечественными шинами: на тяговом модуле модели Ф-122 (5,5-16); на одноосном прицепе двумя шинами модели И-83 (8,25-15). При этом прогнозируемый минимальный часовой расход топлива в грузовом режиме составит 1,33 кг/ч.

2. Для обеспечения требуемой скорости предлагаемой лесотранспортной машины с рекомендуемыми шинами в грузовом режиме $V_{гр} = 3,5$ км/ч трансмиссия тягового модуля должна иметь на соответствующей ступени передаточное число 193,3.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Алексеев, О.Г.* Комплексное применение методов дискретной оптимизации [Текст] / О.Г. Алексеев. – М.: Наука, 1987. – 247 с.

2. Динамика системы дорога – шина – автомобиль – водитель [Текст] / А.А. Хачатуров, В.Л. Афанасьев, В.С. Васильев [и др.]; под ред. А.А. Хачатурова. – М.: Машиностроение, 1976. – 535 с.
3. *Зимелев, Г.В.* Теория автомобиля [Текст] / Г.В. Зимелев. – М.: Машгиз, 1959. – 312 с.
4. Лесные машины (тракторы, автомобили, тепловозы) [Текст]: учеб. для вузов / Г.М. Анисимов, С.Г. Жендаев, А.В. Жуков [и др.]; под ред. Г.М. Анисимова. – М.: Лесн. пром-сть, 1989. – 512 с.
5. *Мясищев, Д.Г.* Механизация лесохозяйственных работ агрегатами на основе специализированного мотоблока [Текст] / Д.Г. Мясищев. – СПб.: СПбЛТА, 2005. – 260 с. – Деп. в ВИНТИ 15.04.05, № 518-В2005.
6. Системный анализ в экономике и организации производства [Текст]: учеб. для вузов / С.А. Валуев, В.Н. Волкова, А.П. Градов [и др.]; под общ. ред. С.А. Валуева, В.Н. Волковой. – Л.: Политехника, 1991. – 397 с.
7. Теория и конструкция автомобиля [Текст]: учеб. для автотранспортных техникумов / В.А. Иларионов, М.М. Модин, Н.М.Сергеев [и др.]. – М.: Машиностроение, 1979. – 303 с.
8. Шины для сельскохозяйственной техники [Текст]: справ. пособие / В.Н. Белковский, В.Н. Лаптев, А.М. Матвеев [и др.]. – М.: Химия, 1986. – 112 с.

Поступила 03.06.08

D.G. Myasishchev, A.F. Prokopjev
Arkhangelsk State Technical University

Substantiation of parameters and components choice of miniforwarder chassis for young growth tending

Based on mathematical simulation and discrete optimization methods the optimal components of undercarriage system of mini-forwarder – tires of traction module and trailer - are substantiated, as well as relevant transmission parameters – gear ration for cargo type. Hourly fuel consumption is chosen as a quality factor.

Keywords: selective felling, motor cultivator, mini-forwarder, chassis, optimization.

А.С. Миляев

С.-Петербургская государственная лесотехническая академия

Миляев Александр Сергеевич родился в 1936 г., окончил в 1959 г. Ленинградское высшее военное инженерно-техническое училище ВМФ, доктор технических наук, профессор, заведующий кафедрой теоретической и строительной механики С.-Петербургской государственной лесотехнической академии, заслуженный работник высшей школы РФ. Имеет более 150 научных работ в области механики деформируемого твердого тела, в том числе по механике силового взаимодействия конструкций и сооружений с грунтом при статических и динамических нагрузках.
E-mail: icffi@home.ru.



ПРОЧНОСТНЫЕ РАСЧЕТЫ КОНСТРУКЦИЙ ЛЕСОВОЗНЫХ ДОРОГ С НЕЖЕСТКИМИ ПОКРЫТИЯМИ ПРИ ДВИЖЕНИИ ГУСЕНИЧНЫХ МАШИН

Представлена методика прочностных расчетов конструкций лесовозных дорог с нежесткими покрытиями, по которым могут передвигаться тяжелые гусеничные машины. Она соответствует методологии, принятой в строительных нормах и правилах, и ориентирована на применение численного метода конечных элементов. Дан пример назначения минимальных размеров расчетной области для прямолинейных участков дорог.

Ключевые слова: лесовозные дороги, тяжелые гусеничные машины, прочностные расчеты, метод конечных элементов.

В настоящее время лесовозные дороги с нежесткими покрытиями проектируют по нормам [1, 2, 4, 5], в которых конструкцию дороги подбирают по приведенному модулю деформации с помощью номограмм в зависимости от параметра h/D , где h – толщина покрытия, D – диаметр круга, площадь которого равна площади овального отпечатка одного колеса автомобиля. Номограммы составлены на основе аналитического решения осесимметричной задачи о напряженно-деформированном состоянии (НДС) невесомого упругого слоистого полупространства при действии статической поверхностной нагрузки (модифицированная задача Буссинеска). Эта расчетная схема не соответствует трехмерному НДС конструкции дороги, возникающему при движении гусеничных машин. Используемая методика не позволяет подобрать конструкцию дороги, не может быть определен параметр h/D , поскольку отпечаток гусеницы имеет форму длинного узкого прямоугольника.

Целью нашей статьи является разработка методики прочностных расчетов конструкций лесовозных дорог с нежесткими покрытиями, по которым могут передвигаться тяжелые гусеничные машины. Она соответствует методологии, принятой в строительных нормах и правилах, и ориентирована на применение численного метода конечных элементов.

Постановка задачи. На слоистом грунтовом массиве располагается дорожное полотно лесовозной дороги, по которой должны передвигаться тяжелые гусеничные машины. Требуется определить НДС конструк-

ции дороги при движении по ней машины НГ-60, пренебрегая динамичностью воздействия на покрытие.

На рис.1 представлены поперечный и продольный разрезы расчетной области, включающей серповидное гравийно-песчаное покрытие средней толщиной $h_{rc} = 0,25$ м, песчаную насыпь толщиной $h_{bnk} = 0,5$ м, три верхних слоя грунтового массива толщиной h_1, h_2, h_3 (см. таблицу), а также эквивалентный слой грунта толщиной h_{eqv} , моделирующий влияние нижних слоев грунтового массива до глубины активной толщи $H_a = 11$ м.

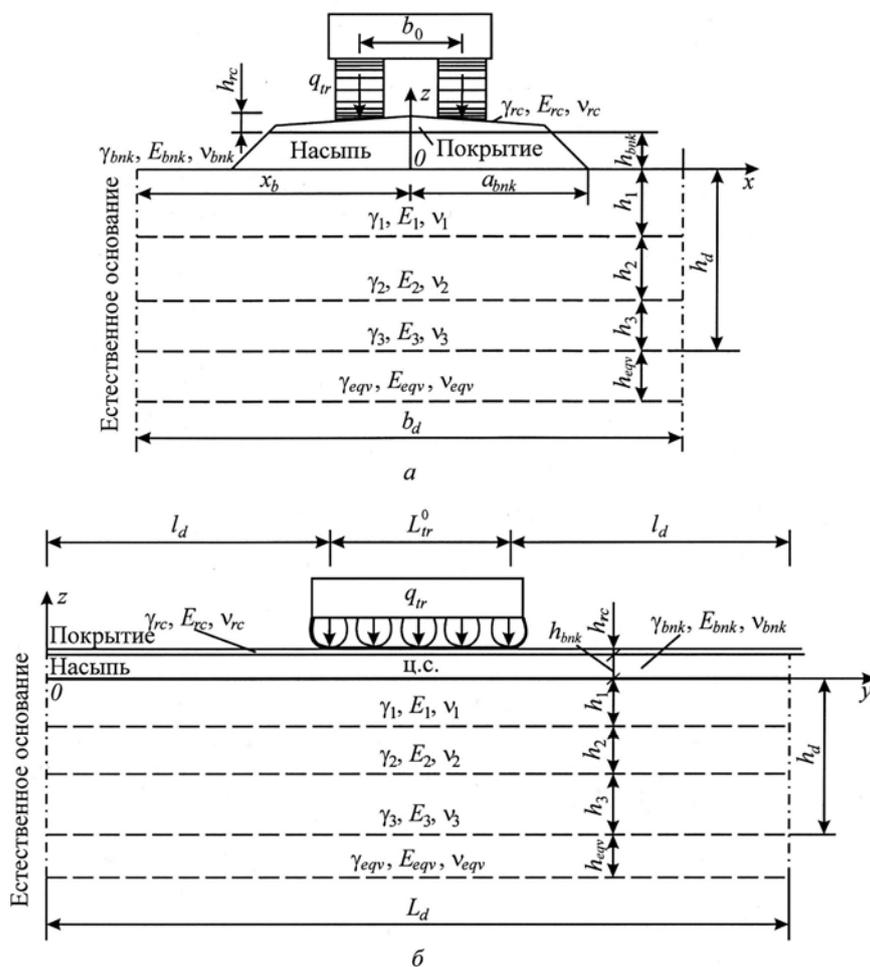


Рис. 1. Разрезы расчетной области: *а* – поперечный, *б* – продольный; a_{bnk} – полуширина основания насыпи, $a_{bnk} = 3$ м; x_b – расстояние по оси Ox от точки O до границы расчетной области, $x_b = 9$ м; b_d, h_d, L_d – ширина, глубина и длина расчетной области, $b_d = 18$ м, $h_d = 3,5$ м, $L_d = 30$ м; γ_k, E_k, ν_k – удельный вес, модуль деформации и коэффициент Пуассона грунта слоев (см. таблицу); b_0 – расстояние между гусеницами НГ-60, $b_0 = 2,6$ м; L_{tr}^0 – длина следа гусеницы в продольном направлении, $L_{tr}^0 = 5$ м; q_{tr} – нагрузка на гусеницы, $q_{tr} = 59$ кН/м; l_d – расстояние от следов гусениц в продольном направлении до границы расчетной области, $l_d = 12,5$ м; ц.с. – центр сил тяжести НГ-60

Естественное основание сложено горизонтальными слоями грунта, параметры которых представлены в таблице.

В целях сокращения числа конечных элементов в расчетной модели часть грунтового массива в пределах активной толщи (4–9-й слои) заменена

Параметры грунтового массива

№ слоя	h_k , м	γ_k , кН/м ³	E_k , МПа	ν_k	№ слоя	h_k , м	γ_k , кН/м ³	E_k , МПа	ν_k
1	0,9	18,1	30	0,30	6	1,0	19,3	14	0,39
2	1,2	20,0	26	0,33	7	1,1	22,2	33	0,32
3	1,4	20,9	14	0,35	8	0,8	19,3	20	0,30
4	1,1	18,5	8	0,40	9	1,7	19,2	18	0,30
5	1,9	21,3	20	0,35					

эквивалентным слоем h_{eqv} , моделирующим реакцию этих слоев. Учтено, что в обычных условиях инженерно-геологических изысканий по трассе дороги глубина шурфов и скважин не превышает 3...5 м, следовательно, наиболее точные сведения о физико-механических свойствах естественного основания относятся к верхним слоям.

Параметры эквивалентного слоя грунта определяем следующим образом. По методике СНиП [6] вычисляем значение активной толщи основания $H_a = \min z$, при которой $\sigma_{z,tr}(z) / \sigma_{z,g}(z) \leq \delta_n$, где $\sigma_{z,g}$, $\sigma_{z,tr}$ – вертикальные напряжения от собственного веса грунта и транспорта на глубине z ; $\delta_n = 0,2$ для грунтов с параметрами, указанными в таблице. В результате расчетов и сравнения вертикальных напряжений $\sigma_{z,g}$, $\sigma_{z,tr}$ находим $H_a = 11$ м.

Приведенные значения удельного веса γ_{red} , модуля деформации E_{red} и коэффициента Пуассона ν_{red} 4–9-го слоев грунтового массива (см. таблицу) вычисляем как средневзвешенные по формулам ($H_0 = \sum_{k=4}^9 h_k = 7,5$ м):

$$\begin{aligned} \gamma_{red} &= \sum \gamma_k h_k / H_0 = 20,35 \text{ кН/м}^3; \\ E_{red} &= \sum E_k h_k / H_0 = 15,66 \text{ МПа}; \\ \nu_{red} &= \sum \nu_k h_k / H_0 = 0,34. \end{aligned}$$

Эквивалентный модуль деформации E_{eqv} эквивалентного слоя естественного основания определяем из условия, чтобы осадка 4–9-го слоев грунтового массива Δ_{red} под действием единичной силы равнялась осадке Δ_{eqv} эквивалентного слоя:

$$\Delta_{red} = H_0 / (E_{red} A_{fe}); \Delta_{eqv} = h_{eqv} / (E_{eqv} A_{fe}), \quad (1)$$

где A_{fe} – площадь основания КЭ, используемого для моделирования эквивалентного слоя.

Приравняв Δ_{red} и Δ_{eqv} , находим: $E_{eqv} = E_{red} / 6 = 2,61$ МПа. Значения γ_{eqv} и ν_{eqv} принимаем равными γ_{red} и ν_{red} .

Считаем глубину расчетной области h_d равной сумме толщин трех верхних слоев грунта естественного основания, $h_d = 3,5$ м. Назначаем толщину эквивалентного слоя грунта h_{eqv} равной половине высоты объемного КЭ, используемого в расчете: $h_{eqv} = 0,5$ м.

Физико-механические характеристики песчаной насыпи и покрытия принимаем следующими: $\gamma_{bnk} = 17 \text{ кН/м}^3$, $E_{bnk} = 20 \text{ МПа}$, $\nu_{bnk} = 0,35$; $\gamma_{rc} = 19 \text{ кН/м}^3$, $E_{rc} = 65 \text{ МПа}$, $\nu_{rc} = 0,3$.

Метод исследования. Задачу решаем численно – методом конечных элементов в перемещениях. Строим геометрическую конечно-элементную модель (твердотельную КЭ-модель) конструкции дороги, задаем физико-механические свойства конечных элементов (КЭ), начальные и граничные условия, внешние силы, действующие на КЭ, формируем разрешающую систему уравнений поставленной задачи, строим ее решение в узлах КЭ-модели, вычисляем все величины, характеризующие НДС модели, результаты расчетов формируем и выводим на бумажные и электронные носители информации.

Начало глобальной прямоугольной системы координат $Oxuz$ помещаем на левой границе расчетной области в ее плоскости симметрии, ось Ox направляем поперек дороги, Oy – вдоль оси дороги, Oz – вверх (см. рис. 1).

Сетку узлов КЭ на поверхности покрытия в направлении оси Ox принимаем с шагами 1,35; 0,70; 0,95; 0,95; 0,70; 1,35 м, что позволяет разместить гусеничные колеи машины НГ-60 симметрично относительно продольной оси дороги; шаг вдоль оси Oy – 1 м, вдоль оси Oz – 0,5 м. В остальной части расчетной области шаг сетки узлов вдоль осей Ox , Oy , Oz считаем равным 1 м. Общее число узлов – 3162.

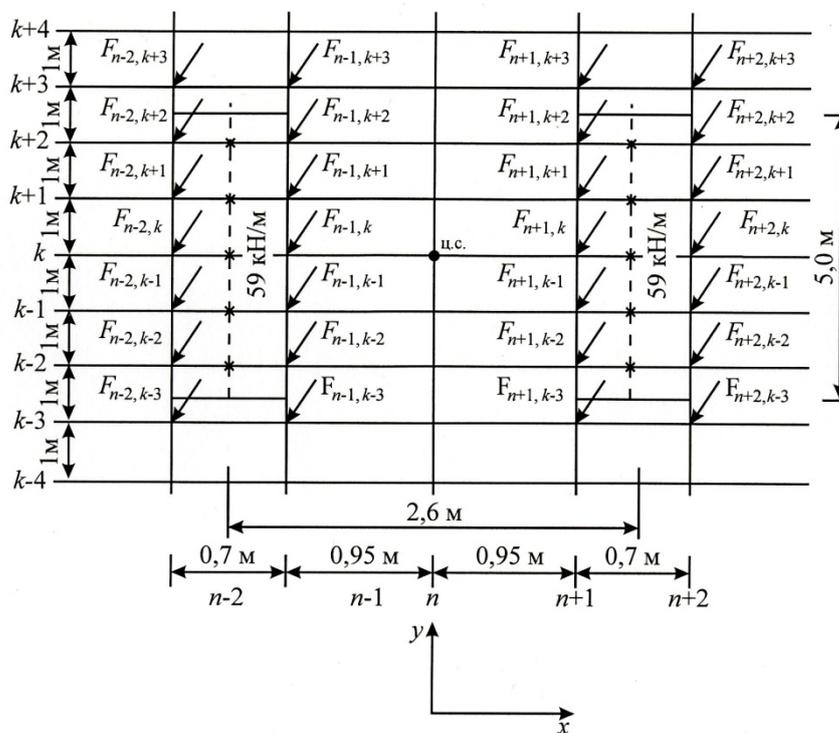


Рис. 2. Расчетная нагрузка на покрытие

На поверхности покрытия размещаем пластинчатые КЭ с четырьмя узлами, каждый из которых обладает двумя степенями свободы – перемещениями в направлении осей Ox , Oy . В остальной части расчетной области размещаем объемные КЭ с восьмью узлами, каждый из них обладает тремя степенями свободы – перемещениями в направлении осей Ox , Oy , Oz . Общее число КЭ равно 2520.

Физико-механические свойства в каждой отдельной части расчетной области (покрытие, насыпь, естественное основание) принимаем изотропными линейно-упругими, в соответствии с приведенными числовыми значениями удельных весов, модулей деформации и коэффициентов Пуассона.

Узлы закрепляем от перемещений: на плоскостях $x = -x_b$ и $x = x_b$ – вдоль оси Ox , на плоскостях $y = 0$ и $y = L_d$ – вдоль оси Oy , на плоскости $z = 4$ м – вдоль оси Oz .

Распределение внешних сил, действующих на узлы КЭ при размещении на покрытии машины НГ-60, представлено на рис. 2, где обозначено: $k - 4, k - 3, \dots, k + 4$ – номера узловых линий вдоль оси Ox ; $n - 2, n - 1, \dots, n + 2$ – то же вдоль оси Oy ; $F_{n,k}$ – сосредоточенные в узлах силы, направленные вдоль оси Oz . Двум большим прямоугольникам соответствуют отпечатки следов гусениц. Числовые значения сил $F_{n,k}$ (кН) следующие:

$$\begin{aligned} F_{n-2, k-3} = 3,69; F_{n-2, k-2} = 25,8; F_{n-2, k-1} = 29,5; F_{n-2, k} = 29,5; F_{n-2, k+1} = 29,5; F_{n-2, k+2} = \\ = 25,8; F_{n-2, k+3} = 3,69; F_{n-1, k-3} = 3,69; F_{n-1, k-2} = 25,8; F_{n-1, k-1} = 29,5; F_{n-1, k} = 29,5; \\ F_{n-1, k+1} = 29,5; F_{n-1, k+2} = 25,8; F_{n-1, k+3} = 3,69; F_{n+1, k-3} = 3,69; F_{n+1, k-2} = 25,8; \\ F_{n+1, k-1} = 29,5; F_{n+1, k} = 29,5; F_{n+1, k+1} = 29,5; F_{n+1, k+2} = 25,8; F_{n+1, k+3} = 3,69; \\ F_{n+2, k-3} = 3,69; F_{n+2, k-2} = 25,8; F_{n+2, k-1} = 29,5; F_{n+2, k} = 29,5; F_{n+2, k+1} = 29,5; \\ F_{n+2, k+2} = 25,8; F_{n+2, k+3} = 3,69. \end{aligned}$$

После ввода всех исходных данных в программу расчет одного варианта задачи на персональном компьютере класса Pentium-III занимает около 3 мин машинного времени.

Результаты расчета вертикальных перемещений u_z в плоскости симметрии $x = 0$ представлены на рис. 3. Как видим, вертикальные перемещения u_z быстро затухают и на расстоянии $l_d = 2,5 L_{lr}^0$ практически равны нулю. Наибольшая осадка дорожного покрытия на оси дороги составляет 2,82 мм; наибольшее выпучивание дорожного покрытия $2,8 \cdot 10^{-2}$ мм.

Рис. 3. Вертикальные перемещения u_z в плоскости симметрии $x = 0$: 1 – на поверхности покрытия ($z = 0,5$ м); 2 – на кровле эквивалентного слоя ($z = -3,5$ м); 3 – на кровле 3-го слоя ($z = -2,1$ м); 4 – на кровле 1-го слоя ($z = 0$ м); 5 – на кровле 2-го слоя ($z = -0,9$ м). Вдоль оси абсцисс отложены расстояния по оси дороги

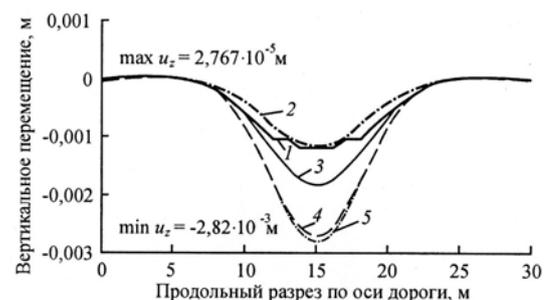
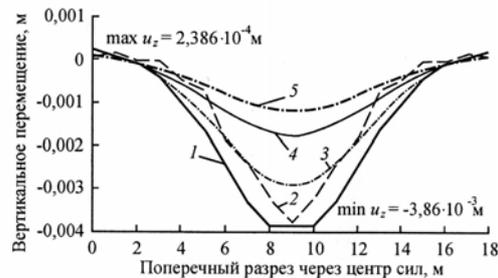


Рис. 4. Вертикальные перемещения u_z в плоскости $y = L_d/2$: 1 – на поверхности покрытия ($z = 0,5$ м) и на поверхности естественного основания ($z = 0$ м); 2 – на поверхности естественного основания ($z = 0$ м); 3 – на кровле 2-го слоя ($z = -0,9$ м); 4 – на кровле 3-го слоя ($z = -2,1$ м); 5 – на кровле эквивалентного слоя ($z = -3,5$ м). Вдоль оси абсцисс отложены расстояния по поперечному разрезу расчетной области дороги, проведенному через центр действующих сил



Результаты расчета вертикальных перемещений u_z в плоскости $y = L_d/2$, проходящей через центр действующих на покрытие сил, представлены на рис. 4.

Максимальные главные растягивающие напряжения ($\max \sigma_1$), действующие в покрытии, равны 5580 Па, в насыпи 10 200 Па; максимальные по абсолютной величине главные сжимающие напряжения ($\max |\sigma_3|$) соответственно 22 580 и 65 540 Па; максимальные касательные напряжения (τ_{\max}) 11 490 и 22 790 Па, в первом слое земляного полотна $\tau_{\max} = 13 820$ Па.

Из рассмотрения рис. 4 следует, что вертикальные перемещения u_z быстро затухают и на расстоянии $x_b = 3a_{bnk}$ практически равны нулю. Наибольшая осадка дорожного покрытия на дне гусеничной колеи машины НГ-60 составляет 3,86 мм; наибольшее выпучивание дорожного покрытия – 0,24 мм.

Для оценки жесткости дорожной конструкции можно воспользоваться величиной допустимого упругого прогиба Δ_{adm} поверхности покрытия при прохождении автотранспорта, который вычисляют следующим образом [3]. Основное аналитическое выражение, на базе которого построены нормы [2, 3, 6], связывает максимальный упругий прогиб Δ_{\max} поверхности упругого полупространства с давлением p по площади круга диаметром D и может быть представлено в виде

$$\Delta_{\max} = pD(1 - \nu^2)/E, \quad (2)$$

где E , ν – приведенные модуль упругости и коэффициент Пуассона полупространства.

При этом неявно предполагается, что максимальный упругий прогиб Δ_{\max} заведомо меньше предельного значения для выбранного материала покрытия.

Так как согласно нормам [1, 2, 4, 5] давление p в шинах автотранспорта не может превышать 0,6 МПа, а диаметр эквивалентного круга отпечатка колеса D обычно не более 0,4 м, максимальное значение произведения pD равно 0,24 МН/м. Тогда из формулы для Δ_{\max} вытекает однозначная связь между максимальным упругим прогибом и модулем упругости E .

Подставляя в формулу (2) $E_{rc} = 65$ МПа, $\nu_{rc} = 0,3$, получаем значение допустимого упругого прогиба $\Delta_{adm} = 0,24 \cdot 10^6 \cdot 0,91 / 65 \cdot 10^6 = 3,36$ мм. Его можно принять в качестве критерия жесткости дорожной конструкции. Поскольку осадка покрытия на дне гусеничной колеи машины НГ-60 составляет 3,86 мм, то следует увеличить жесткость дорожной конструкции.

Выводы

Предложенная методика позволяет выполнять проектировочные расчеты конструкций лесовозных дорог с нежесткими покрытиями. Для прямолинейных участков дорог минимальные размеры расчетной области могут быть определены следующим образом. Ширину поперечного сечения расчетной области b_d принимают равной трем-четырем размерам ширины основания насыпи; длину L_d – пяти-шести длинам отпечатка следа гусеницы L_{tr}^0 ; глубину h_d определяют по величине активной толщи грунтового массива H_a .

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. ВСН 46-83. Инструкция по проектированию дорожных одежд нежесткого типа [Текст]. – М.: Транспорт, 1985. – 157 с.
2. ВСН 01-85. Инструкция по проектированию лесозаготовительных предприятий [Текст]. – М.: Минлесбумпром СССР, 1986. – 135 с.
3. Милыев, А.С. Автоматизированный расчет конструкций зимних лесовозных дорог [Текст]: учеб. пособие / А.С. Милыев. – СПб.: ЛТА, 2006. – 303 с.
4. МОДН2-2001. Межгосударственные отраслевые дорожные нормы. Проектирование нежестких дорожных одежд [Текст]. – М.: Межправит. совет дорожников, 2002. – 92 с.
5. ОДН 218.046-01. Отраслевые дорожные нормы. Проектирование нежестких дорожных одежд [Текст]. – М.: Гос. служба дорожного хоз-ва Мин-ва транспорта РФ, 2001. – 98 с.
6. СНиП 2.02.01-83*. Основания зданий и сооружений [Текст] / Госстрой России. – М.: ГУП ЦПП, 1986. – 50 с.

Поступила 04.06.07

A.S. Milyaev
Saint-Petersburg State Forest-Technical Academy

Strength Calculations for Wood Tracks Design with Loose Surfaces for Track-type Machines Motion

The technique of strength calculations is provided for wood tracks designs with loose surfaces for heavy track-type machines. The technique corresponds to methodology accepted in Construction Norms and Rules and is oriented to application of numerical finite element method. The example is provided for assigning minimal dimensions of rated operating conditions for straight road portions.

Keywords: wood tracks, heavy track-type machines, strength calculations, finite element method.

УДК 630*36: 630*5

В.А. Грязин

Марийский государственный технический университет

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



ВЛИЯНИЕ ПРИРОДНЫХ УСЛОВИЙ НА ЭНЕРГОЕМКОСТЬ ТРЕЛЕВКИ ДРЕВЕСИНЫ ТРАКТОРАМИ С ЧОКЕРНЫМ ОБОРУДОВАНИЕМ

Приведены результаты определения энергоемкости трелевки 1 м³ древесины тракторами с чокерным оборудованием. Получены регрессионные зависимости, выполнено ранжирование исследуемых факторов.

Ключевые слова: лесозаготовки, природные условия, машины, оборудование, трелевка, энергоемкость, моделирование.

Большинство технологических процессов, связанных с заготовкой леса в России, осуществляют, применяя системы машин, созданных для предприятий со значительными объемами переработки. При этом за основной показатель работы принимали производительность труда. Изменившаяся качественная и количественная характеристика лесов вызвала необходимость расширять обрабатываемые площади, сменять состав системы машин, существующую технологию лесозаготовок, учитывать их влияние на окружающую среду. Одним из обобщающих показателей становится энергоемкость производства продукции.

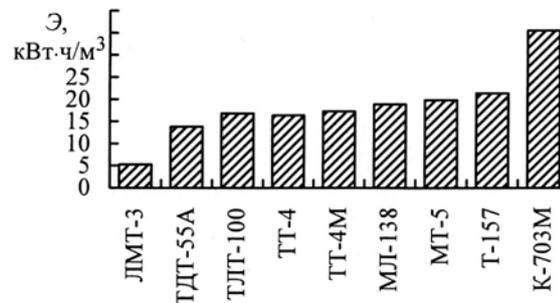
Активное внедрение сложных машин и их систем с применением трелевки требует дополнительно проанализировать эффективность лесозаготовок при варьировании природных факторов. Это позволяет определить условия, при которых энергоемкость лесозаготовительных операций минимальна. Данная задача решается с использованием принципов совместимости назначения (цели) системы со средой функционирования (окружением), а также отображения назначения техническими функциями системы и рассмотрения их совместно со структурой системы в целом [3].

Исходя из цели исследования, трелевку можно представить в виде системы «черный ящик» [1], а математическую модель влияния факторов на цикл и значение энергоемкости трелевки 1 м³ древесины (Э) описать уравнением

$$\text{Э} = f(x_1, x_2, x_3, \dots, x_n, a_0, a_1, a_2, a_3, \dots, a_n),$$

где $x_1, x_2, x_3, \dots, x_n$ – факторы, характеризующие природные условия;

$a_0, a_1, a_2, \dots, a_n$ – параметры трелевочного трактора.

Рис. 1. Энергоемкость трелевки 1 м³ древесины

При такой формализации процесса трелевки, независимо от его внутренней структуры (компоновка машин, особенности рабочего процесса, организационные вопросы и пр.) для определения выходного показателя достаточно знать входные параметры. Учтены средний объем хлыста, рейсовая нагрузка, расстояние трелевки, уклон волока, характеристика грунта; для трелевочного трактора – мощность двигателя, КПД ходовой части, грузоподъемность, вес.

Исследована работа следующих трелевочных машин с чокерным оборудованием: ТТ-4, ТТ-4М, ТЛТ-100, ТДТ-55А, К-703М, ЛМТ-3, МЛ-138, МТ-5 и Т-157К. Для определения зависимости энергоемкости от природно-производственных факторов разработана методика исследований с использованием теории планирования многофакторного эксперимента. В качестве исходных данных для анализа приняты: КПД трансмиссии $\eta_{тр} = 0,85$ и гусеничного движителя $\eta_{г} = 0,95$; среднее расстояние подачи собирающего каната $l = 30$ м; коэффициент распределения веса трелеваемой пачки $K = 0,65$; один чокеровщик; плотность древесины $\rho = 830$ кг/м³.

При прочих равных условиях (средний объем хлыста $V_{ср} = 0,15$ м³, расстояние трелевки $S = 300$ м) распределение энергоемкости трелевки 1 м³ древесины для исследуемых тракторов представлено на рис. 1. Наименее затратной оказалась трелевка малогабаритным трактором ЛМТ-3 (энергоемкость 5,3 кВт·ч/м³), который обладает минимальным показателем энергонасыщенности 5,5 кВт/т. Обладая колесной базой и невысокой производительностью, ЛМТ-3 не получил широкого распространения на лесозаготовках, поэтому в дальнейшем в качестве объекта исследования были приняты наиболее распространенные гусеничный трактор ТТ-4М и колесный К-703М.

Согласно зависимостям сменной производительности трелевочных тракторов [2] имеем

$$\mathcal{E}_i = N_{ei} T_{см} / \frac{(T_{см} - t_{п.з}) \varphi_1 Q_i}{\frac{dS}{v_r} + \frac{dS}{v_x} + t_{п.и} + t_{о.и}}; \quad (1)$$

$$N_{ei} = \frac{P_{к.и} v_i}{3600 \eta_{тр} \eta_{г}};$$

$$P_{к.и} = (G_{тр.и} + g p K Q_i) d f_1 \cos \alpha + g p (1 - K) Q_i d f_2 \cos \alpha + (G_{тр.и} + g p Q_i) s \sin \alpha,$$

где \mathcal{E}_i – энергоёмкость i -го трактора;
 N_{ei} – мощность ДВС i -го трактора;
 $T_{см}$ – продолжительность рабочей смены;
 $t_{п.з}$ – время на подготовительно-заключительные операции;
 ϕ_1 – коэффициент использования рабочего времени;
 Q_i – объём трелюемой пачки;
 $t_{пр_i}$ – время на чоковую деревьев (хлыстов) и формирование пачки;
 t_{o_i} – время на отцепку пачки и чоков на погрузочном пункте, выравнивание комлей;
 v_g, v_x – скорость движения с грузом и без груза (холостой ход);
 P_{ki} – касательная сила тяги i -го трактора;
 v_i – скорость перемещения по волоку;
 $G_{тр_i}$ – вес i -го трактора;
 ρ – плотность древесины, кг/м³;
 f_1, f_2 – коэффициент сопротивления движению и перемещению пачки;
 α – угол уклона волока.

Энергоёмкость трелювки 1 м³ древесины меняется незначительно от коэффициента сопротивления как движению трактора f_1 (на 1,1...1,6 %), так и перемещению волокающейся части пачки f_2 (на 0,15...0,30 %). Несколько большее влияние (на 1,9...2,0 %) оказывают угол уклона волока α и среднее расстояние трелювки S (на 1,6...1,7 %).

В общем виде зависимость энергоёмкости трелювки 1 м³ древесины от перечисленных выше параметров с достоверностью аппроксимации $R^2 = 0,9998...1,0000$ можно представить уравнением регрессии

$$\mathcal{E}_i = ax_i + b, \quad (2)$$

где x_i – параметр процесса;

a, b – регрессионные коэффициенты (табл. 1).

Таблица 1

Тип и марка машины	Значения регрессионных коэффициентов для параметров трелювки							
	f_1		f_2		i		S	
	a	b	a	b	a	b	a	b
ЛМТ-3	1,816	5,13	0,103	5,28	0,065	4,91	0,0018	4,75
ТДТ-55А	1,408	13,62	0,109	13,73	0,051	13,45	0,0015	13,32
ТЛТ-100	1,370	16,61	0,109	16,71	0,050	16,44	0,0014	16,32
ТТ-4	0,901	16,26	0,109	16,32	0,034	16,14	0,0010	16,05
ТТ-4М	0,902	17,17	0,109	17,22	0,034	17,05	0,0010	16,95
МЛ-138	1,238	18,78	0,109	18,87	0,046	18,62	0,0013	18,51
МТ-5	0,879	19,73	0,109	19,79	0,033	19,61	0,0010	19,52
Т-157	1,437	21,24	0,104	21,36	0,053	21,07	0,0015	20,94
К-703М	1,924	35,41	0,104	35,57	0,069	35,18	0,0019	35,02

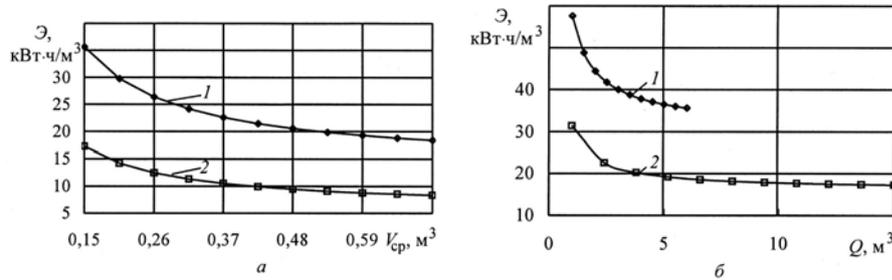


Рис. 2. Зависимость энергоемкости трелевки 1 м³ древесины от среднего объема хлыста (а) и объема пачки (б): 1 – К-703 М; 2 – ТТ-4М

Таблица 2

Тип и марка машины	Значения регрессионных коэффициентов для параметров трелевки						
	V_{cp}		Q				
	c	d	e	f	g	h	m
ЛМТ-3	5,271	0,1688	0,0007	0,0256	0,3482	2,0217	7,937
ТДТ-55А	13,801	0,2746	0,0580	0,9858	6,2417	18,1130	35,609
ТЛТ-100	16,025	0,2887	0,0030	0,1158	1,5751	9,1449	36,160
ТТ-4	16,457	0,2995	0,0700	1,1907	7,5391	21,8780	43,623
ТТ-4М	17,395	0,3107	0,0033	0,1263	1,7182	9,9753	39,314
МЛ-138	19,031	0,3036	0,0879	1,4951	9,4669	27,4720	53,418
МТ-5	19,987	0,3133	0,0037	0,1429	1,9435	11,2840	44,041
Т-157	21,460	0,2790	0,0856	1,4562	9,2206	26,7570	53,662
К-703М	35,727	0,2810	0,1397	2,3758	15,0430	43,6530	88,251

Коэффициент b уравнения (2) характеризует начальное смещение графиков энергоемкости относительно нуля, очень существенное для общего значения \mathcal{E}_i .

Основным фактором при выборе системы машин для заготовки леса является размер деревьев в разрабатываемых насаждениях. Распределение деревьев по группам крупности и расчетные средние объемы хлыстов показывают, что в большинстве древостоев всех лесопромышленных районов страны средний объем хлыста не превышает 0,3 м³ [4]. От его значения зависит время, затрачиваемое на сбор пачки, энергоемкость меняется на 93...107 % (рис. 2, а). Кроме того, на энергоемкость влияет также объем трелеваемой пачки (на 61,8...81,8 %) – рис. 2, б.

При изменении среднего объема хлыста энергоемкость процесса трелевки с достоверностью аппроксимации $R^2 = 0,997...0,999$ можно определить по формуле

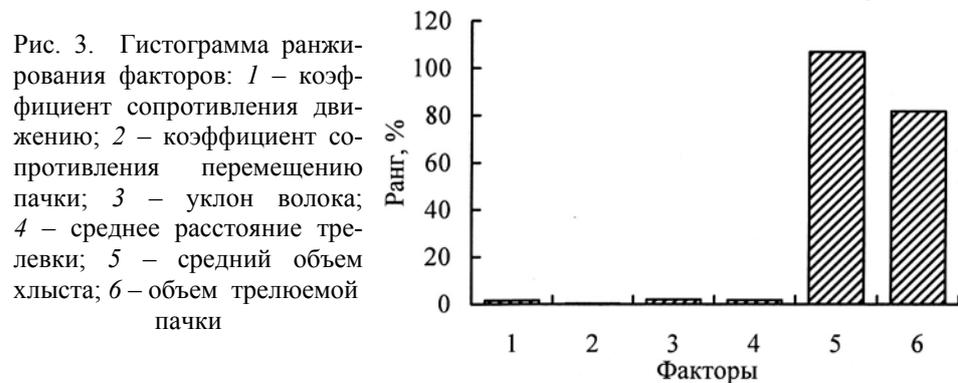
$$\mathcal{E}_i = cx_i^{-d}, \quad (3)$$

где c, d – регрессионные коэффициенты (табл. 2),

при изменении объема трелеваемой пачки – с достоверностью аппроксимации $R^2 = 0,9859...0,9987$ по формуле

$$\mathcal{E}_i = ex_i^4 - fx_i^3 + gx_i^2 - hx_i + m, \quad (4)$$

где e, f, g, h, m – регрессионные коэффициенты (табл. 2).



В результате обработки полученных данных составлена гистограмма ранжирования рассматриваемых факторов (рис. 3). Данную зависимость следует учитывать при построении математических моделей влияния природно-производственных условий на технико-экономические показатели как отдельных лесозаготовительных машин, так и их системы.

Выводы

1. Природные условия существенно влияют на сменную производительность и энергоемкость трелевки тракторами с чокерным оборудованием.
2. Средний объем хлыста влияет на эффективность трелевки вследствие изменения времени на погрузку и формирование пачки (до 3-кратного), что в реальных условиях вызывает значительные простои техники.
3. Уменьшение объема трелюемой пачки снижает эффективность использования трелюемых машин, приводит к увеличению числа проходов по волоку и усилению экологического ущерба.
4. Исходя из специфики поставленной задачи, при подборе системы машин следует учитывать все исследуемые факторы, так как они определяют область применения и эффективность использования лесозаготовительных машин.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Брейтер, В.С. Оценка совместного воздействия природно-производственных факторов на работу лесозаготовительных машин [Текст] / В.С. Брейтер // Перспективная технология и организация лесозаготовительного производства: тр. ЦНИИМЭ. – М.; Химки: ЦНИИМЭ, 1977. – С. 21–29.
2. Матвейко, А.П. Технология и оборудование лесозаготовительного производства [Текст]: учеб. / А.П. Матвейко. – Мн.: Техноперспектива, 2006. – 447 с.
3. Редькин, А.К. Математическое моделирование и оптимизация технологий лесозаготовок [Текст]: учеб. для вузов / А.К. Редькин, С.Б. Якимович. – М.: ГОУ ВПО МГУЛ, 2005. – 504 с.
4. Типизация природно-производственных условий лесозаготовительных районов [Текст]. – Химки: ЦНИИМЭ, 1986. – 25 с.

Поступила 21.11.07

V.A. Gryazin

Mari State Technical University

Influence of Natural Conditions on Energy-capacity of Skidding by Tractors with Cable Equipment

The study results of determining energy-consumption when skidding 1 m³ of wood by skidding tractors with cable equipment are provided. The regression dependencies are obtained and ranking of the factors studied is carried out.

Keywords: forest harvesting, natural conditions, machines, equipment, skidding, energy-capacity, simulation.

А.Ф. Павлов¹, Ф.А. Павлов²

¹Комитет по лесному хозяйству Вологодской области

²Архангельский государственный технический университет

Павлов Алексей Фридрихович родился в 1960 г., окончил в 1983 г. Архангельский лесотехнический институт, в 1997 г. Северо-Западную академию государственной службы, председатель комитета по лесному хозяйству Вологодской области. Имеет 4 печатные работы в области дорожного строительства.
Моб. тел.: 8-921-246-28-36



Павлов Фридрих Алексеевич родился в 1934 г., окончил в 1957 г. Архангельский лесотехнический институт, кандидат технических наук, старший научный сотрудник по специальности «Автомобильные дороги», профессор кафедры промышленного транспорта Архангельского государственного технического университета, член-корреспондент РАЕН, изобретатель СССР, заслуженный работник лесной промышленности РФ. Имеет около 100 печатных работ по проблемам создания эффективной лесотранспортной сети, ленточных дорожных покрытий.
E-mail: promtrans@agtu.ru



ЛЕСОВОЗНЫЕ УСЫ С ГЛУБОКИМ ДРЕНИРОВАНИЕМ ЗЕМЛЯНОГО ПОЛОТНА

Рассмотрен способ подготовки лесовозных усов методом глубокого дренирования грунтов земляного полотна. Определена оптимальная толщина песчано-гравийного покрытия уса в зависимости от толщины и типа осушенного слоя грунта.

Ключевые слова: лесовозный ус, осушение, покрытие, модуль упругости, прогиб, напряжение, предельное состояние.

Для проведения комплекса работ по воспроизводству, защите и охране лесов, а также интенсивного лесопользования лесные массивы должны быть обустроены достаточно густой сетью дорог. В Вологодской и Архангельской областях она должна составлять 10...12 км на 1000 га лесной площади [3].

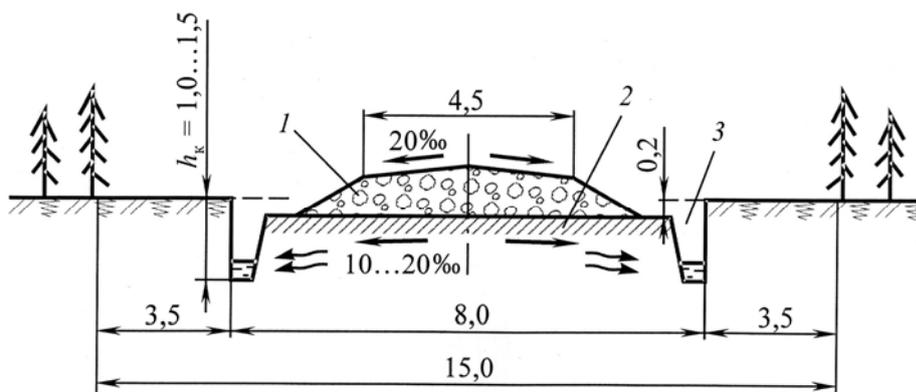


Рис. 1. Поперечный профиль лесовозного уса с песчано-гравийным покрытием:

1 – покрытие из песчано-гравийной смеси; 2 – спланированное грунтовое основание; 3 – боковые дренажные каналы

В настоящее время эта цель не достигается прежде всего из-за недостаточности песчано-гравийных материалов, а использование древесины для устройства покрытий существенно удорожает ее заготовку. Поэтому поиск новых эффективных конструкций покрытий для усов является исключительно важной задачей.

В условиях заболоченных территорий ее решить можно, если перед строительством путей производить предварительное более глубокое осушение грунтов. Частично такой метод уже использовали в 1980-х гг. в Литве [2], но он не нашел должного развития и распространения из-за отсутствия теоретических разработок.

Важным элементом поперечного профиля уса (рис. 1) являются боковые каналы, которые устраивают глубиной 1,0...1,5 м. Благодаря этому понижается уровень грунтовых вод под покрытием, осушается полотно, увеличивается его несущая способность. Чтобы грунтовое основание хорошо просохло, необходимо трассу и каналы подготовить заранее, за год до ввода уса в эксплуатацию. Таким образом, просохший грунт под покрытием можно рассматривать как слой земляного полотна с определенными физико-механическими свойствами, а всю конструкцию, включая покрытие, как трехслойную дорожную одежду.

Песчано-гравийный материал укладывают на грунтовое хорошо спланированное основание, что обуславливает хороший поверхностный сток. Чтобы определить толщину слоя песчано-гравийной смеси, необходимо сначала найти толщину осушенного слоя и задаться его прочностными свойствами. Поскольку каналы играют роль висячих открытых дрен, то можно использовать методику расчета дренажа и с ее помощью вычислить понижение уровня грунтовых вод.

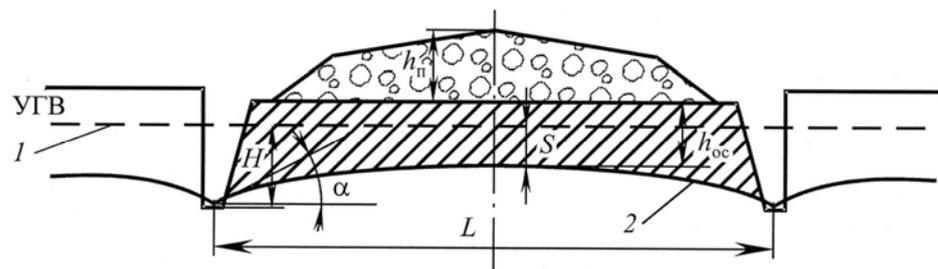


Рис. 2. Схема осушения грунта с помощью боковых канав-дрен (заштрихован слой осушенного грунта): 1 – уровень грунтовых вод; 2 – кривая депрессии

Известно, что каждая дрена осушает некоторое пространство (рис. 2), предельная ширина которого в сторону от оси дороги считается радиусом действия дренажа (R) и определяется по формуле

$$R = \frac{H}{\operatorname{tg} \alpha},$$

где H – глубина заложения дрен от уровня грунтовых вод или глубина открытой канавы от уровня грунтовых вод до ее дна, м;

α – средний уклон депрессии, зависящий от свойств грунта водонасыщенного пласта. Для очень крупного песка и гальки $\alpha = 0,003 \dots 0,005$; для песка $\alpha = 0,006 \dots 0,015$; для супеси $\alpha = 0,020 \dots 0,050$; для суглинка $\alpha = 0,090$.

Зная расстояние между осями канав L , можно вычислить понижение грунтовых вод S и соответственно толщину всего осушенного слоя h_{oc} :

$$S = H \left(1 - \sqrt{\frac{L}{2R}} \right).$$

Например, при $H = 1,0$ м, $\alpha \approx \operatorname{tg} \alpha = 0,03$, $L = 8$ м имеем: $R = 33,3$ м; $S = 0,65$ м.

Получаем трехслойную дорожную конструкцию (рис. 3), толщину верхнего слоя которой определяют в зависимости от толщины осушенного слоя.

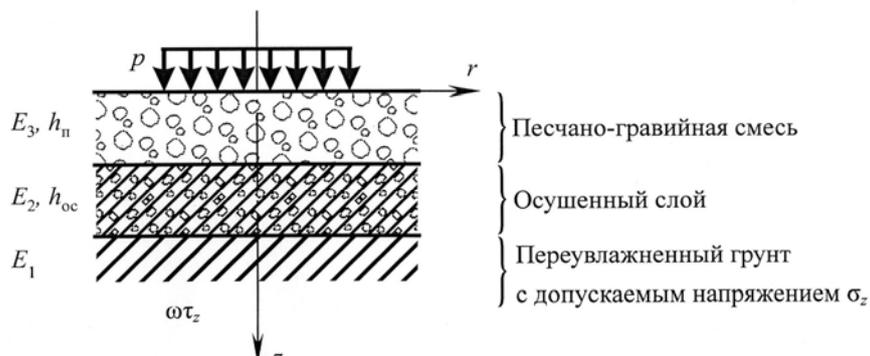


Рис. 3. Расчетная схема для определения толщины покрытия из песчано-гравийной смеси: P – нагрузка от колеса автомобиля, МПа; E_1, E_2, E_3 – модули упругости слоев, МПа; h_n – толщина покрытия, м; h_{oc} – толщина осушенного основания, м; z, r – оси координат

В конструкции со слоями смеси, асфальта или щебня, могут возникать значительные касательные напряжения, которые обычно приводят к деформациям сдвига. Поэтому прочность покрытия необходимо оценивать не только по нормальным сжимающим, но и по касательным напряжениям. При кратковременных нагрузках от разовых проходов подвижного состава для определения напряжений и осадок можно использовать зависимости теории упругости.

Для расчета на ПЭВМ нами использовано решение задачи по методу Р.М. Раппопорт и К.К. Туровой [3]. Выражения для компонентов напряжений и деформаций после соответствующих преобразований могут быть представлены в общем виде:

$$\sigma_{zi} = -p\beta \int_0^{\infty} F_1(\alpha, \eta, \mu, E) I_0(\alpha\beta) I_1(\alpha\rho) d\alpha ;$$

$$\tau_{rzi} = -p\beta \int_0^{\infty} F_2(\alpha, \eta, \mu, E) I_1(\alpha\rho) I_1(\alpha\beta) d\alpha ;$$

$$\omega_i = \frac{(1+\mu)p\beta H}{E} \int_0^{\infty} \frac{F_3(\alpha, \eta, \mu, E)}{\alpha} I_0(\alpha\rho) I_1(\alpha\beta) d\alpha .$$

Здесь обозначено:

σ_{zi} , τ_{rzi} , ω_i – соответственно сжимающие вертикальные, касательные напряжения, МПа, и осадки в i -м слое, м;

F_1, F_2, F_3 – функции, зависящие от упругих констант E (модуля упругости), μ (коэффициента Пуассона), расположения слоя в конструкции, в котором определяются напряжения или осадки, и параметра интегрирования α . Математические выражения для F_1, F_2, F_3 приводятся в специальной литературе [1];

$I_0(\alpha\rho)$, $I_0(\alpha\beta)$ – функции Бесселя соответственно нулевого и первого порядков, первого рода.

$$\beta = \frac{D}{2H}; \quad \eta = \frac{z}{H}; \quad \rho = \frac{r}{H},$$

D – диаметр отпечатка колеса, м;

r, z – координаты;

p – давление от колеса на поверхность покрытия, МПа;

H – общая толщина всех слоев, м.

Для расчета напряжений и осадок использована программа расчета на ПЭВМ, разработанная на кафедре промышленного транспорта АГТУ. Напряжения и осадки вычисляли по развернутым выражениям численным интегрированием. Функции F_1, F_2, F_3 находили из граничных условий на поверхности.

Прочность дорожной конструкции можно рассчитать по двум предельным состояниям: прогибу (осадке) покрытия и касательным напряжениям. Условие прочности конструкции по первому предельному состоянию обеспечивается, если

$$\omega_{\text{расч}} \leq l_{\text{пред}} .$$

Здесь $\omega_{\text{расч}}$ – осадка покрытия, вычисленная на границе с осушенным грунтом по формулам для компонентов напряжения, м;

$l_{\text{пред}}$ – максимально допустимая осадка, м,

$$l_{\text{пред}} = \frac{\pi p D}{2E_{\text{тр}}},$$

где p – давление от колеса автомобиля, МПа;

D – диаметр отпечатка расчетного наиболее нагруженного колеса

автомобиля, м;

$E_{тр}$ – требуемый модуль упругости, принимается по ОДН-18-46, МПа.

Второе предельное состояние покрытия предусматривает недопустимость смещения слоев на границе с наиболее слабым (водонасыщенным) слоем. В этом случае определяются предельно допустимые касательные напряжения ($\tau_{пред}$), при которых возможен сдвиг в грунте. Их определяют, используя закон Кулона:

$$\tau_{пред} = c + \sigma_z t \varphi,$$

где c – сцепление влажного грунта, принимается по ОДН-18-46 в зависимости от степени влажности, МПа;

σ_z – нормальные сжимающие напряжения в точке, где касательные напряжения на глубине слабого слоя максимальные, МПа;

φ – угол внутреннего трения в грунте, принимается по ОДН-18-46.

Толщина покрытия песчано-грунтовой смеси на переувлажненных грунтах средней плотности

Тип подстилающего грунта	Допускаемое напряжение подстилающего грунта на сжатие, МПа	Толщина осушенного слоя, м			
		0,3	0,4	0,5	0,6
Пылеватые пески средней плотности	0,10...0,25	0,40	0,35	0,30	0,20
Супеси с коэффициентом пористости 0,7 и более	0,20	0,50	0,40	0,35	0,30
Суглинки с коэффициентом пористости:					
0,7	0,10	0,50	0,40	0,35	0,30
1,0	0,20				

Примечание. Минимальные значения принимают для насыщенных водой песков.

Условие устойчивости конструкции по второму предельному состоянию будет иметь вид

$$\tau_{расч} \leq \tau_{пред},$$

где $\tau_{расч}$ – касательное напряжение, вычисленное по формулам для компонентов напряжения, МПа.

При возникновении затруднений в определении $l_{пред}$ можно ограничиться оценкой сжимающих напряжений, которые возникают на границе с переувлажненным грунтом.

Нами выполнены расчеты по двум предельным состояниям для наиболее часто встречающихся конструкций (см. таблицу).

Результаты расчетов хорошо совпадают с назначаемой толщиной покрытия на построенных усах в ОАО «Усть-Покшеньгский ЛПХ».

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Туроверов, К.К.* К вопросу исследования напряженного и деформируемого состояния упругого слоистого полупространства [Текст] / К.К. Туроверов // Науч. тр. / ЛТА. – 1962. – № 94. – С. 87–101.

2. *Шакунас, З.Ю.* Опыт строительства лесовозных дорог в Литовской ССР в сочетании с лесосушением [Текст] / З.Ю. Шакунас, В. И. Цемнолонкас // Материалы Всесоюз. науч. конф. 19-22 сент. 1972 г. – Минск, 1972. – С. 67–70.

3. *Шулев, А.С.* Организационно-экономические проблемы строительства лесовозных дорог и пути их решения [Текст] / А.С. Шулев, А.Ф. Павлов, А.А. Седов // Экономика Северо-Запада: проблемы и перспективы развития. – 2005. – № 1 (23). – С. 33–39.

Поступила 10.02.08

A.F. Pavlov¹, F.A. Pavlov²

¹Committee for Forestry of Vologda Region

²Arkhangelsk State Technical University

Wood Roads with Deep Drainage of Road Bed

The way of preparing wood roads by the method of deep drainage of road bed soil is analyzed. The optimal thickness of sand-and-gravel road covering is determined depending on thickness and type of dried soil layer.

Keywords: wood road, drainage, elasticity modulus, deflection, tension, limiting state.

А.П. Соколов¹, Ю.Ю. Герасимов²

¹Петрозаводский государственный университет

²НИИ леса Финляндии

Соколов Антон Павлович родился в 1975 г., окончил в 1997 г. Петрозаводский государственный университет, кандидат технических наук, доцент кафедры тяговых машин ПетрГУ. Имеет более 40 печатных работ в области информатизации и управления процессами в лесном комплексе.

E-mail: a_sokolov@psu.karelia.ru

Герасимов Юрий Юрьевич родился в 1964 г., окончил в 1986 г. Петрозаводский государственный университет, доктор технических наук, профессор, старший научный сотрудник НИИ леса Финляндии. Имеет более 100 печатных работ в области лесопромышленного комплекса и биоэнергетики.

E-mail: yuri.gerasimov@metla.fi



ГЕОИНФОРМАЦИОННАЯ СИСТЕМА ДЛЯ РЕШЕНИЯ ОПТИМИЗАЦИОННОЙ ЗАДАЧИ ТРАНСПОРТНОЙ ЛОГИСТИКИ КРУГЛЫХ ЛЕСОМАТЕРИАЛОВ*

Рассмотрены методика и алгоритмы оптимизации транспортных планов на вывозке сортиментов. Описана реализующая их информационная система, построенная на основе ГИС-технологий.

Ключевые слова: транспортная логистика, сортиментная технология, автомобиль-сортиментовоз, математическое программирование, ГИС-технологии.

Актуальность проблемы поиска эффективных методов решения задачи логистики круглых лесоматериалов значительно выросла в России за последние несколько лет. В первую очередь это связано с ускоренным ростом объемов лесозаготовок, осуществляемых по сортиментной технологии. Например, в Карелии в 2006 г. ее доля составила уже 66 % [1].

При использовании традиционной хлыстовой технологии лесоматериалы с лесосек чаще всего вывозят на один-два, реже на три крупных нижних склада, которые обычно принимают все виды заготавливаемой продукции. Если складов несколько, они разнесены в пространстве. Поэтому не составляет особого труда определить, на какой нижний склад лучше вывезти хлысты с каждой лесосеки.

Применение сортиментной технологии существенно усложняет задачу отыскания оптимального транспортного плана, поскольку в ее классической схеме нет централизованных нижних складов и существенного увеличения номенклатуры производимых на лесосеке лесоматериалов. Их вывозят непосредственно на двор предприятия ЛПК или на терминал (далее потребитель). Число потребителей может быть достаточно большим, но-

* Работа выполнена в рамках международных проектов TACIS «Сравнение методов лесозаготовок – влияние технологий на качество древесины, производительность труда и себестоимость продукции в лесозаготовительных компаниях» и ТЕКЕС «Лесозаготовки и логистика в России – в фокусе возможности бизнеса и исследования».

менклатура принимаемых лесоматериалов – достаточно узкой, их объемы – различными. Кроме того, поставки на двор потребителей идут с разных лесосек. В этом случае стандартные схемы организации перевозок оказываются малоэффективными, а построение более действенных планов, ввиду сложности задачи, может быть осуществлено только при использовании современных методов математического программирования, реализуемых в специальном прикладном программном обеспечении [2, 5]. В настоящей статье рассмотрен один из подходов к решению этой задачи.

Постановка задачи. Обоснование средств решения

Пусть на каждой из n имеющихся лесосек производится k_i видов лесоматериалов ($i = 1, 2, \dots, n$). Известен ежедневный объем их заготовки. В то же время каждый из m потребителей принимает k_j видов лесоматериалов ($j = 1, 2, \dots, m$) в соответствии с подписанным контрактом, определяющим их номенклатуру и объемы по месяцам.

Вид лесоматериалов определяется породой, назначением, размерами (длина и диаметр) и качеством (сортом). Для каждого из них задают предельные размеры, породу указывают непосредственно (сосна, ель и т. д.) либо обобщенно (хвойные, лиственные, любые).

Все лесосеки и потребители соединяются между собой сетью автомобильных, железных дорог и водных путей, перевалку с автомобильного на железнодорожный и водный транспорт осуществляют на терминалах. Перевозку круглых лесоматериалов с лесосек потребителям или к терминалам производят заданным числом автомобилей различных марок, грузоподъемности и т. д., каждый из них приписан к определенному гаражу.

Задача состоит в составлении такого транспортного плана на заданный горизонт планирования, при котором суммарный объем вывозки был бы максимальным, а использование транспортных средств – рациональным. Здесь под транспортным планом подразумевается совокупность сменных заданий для каждого автомобиля с указанием мест погрузки, разгрузки, типа перевозимых лесоматериалов и прочей сопутствующей информации для горизонта планирования.

При решении поставленной задачи были использованы ГИС-технологии на основе пакета программ MapInfo Professional и языка программирования MapBasic. Необходимость использования ГИС-технологии связана с тем, что пространственные характеристики логистических объектов (координаты, расстояния) при решении поставленной задачи имеют важное значение. Однако сам подход и разработанные алгоритмы допускают и другие варианты реализации.

Структура системы

Структура созданной геоинформационной системы, предназначенной для решения задачи транспортной логистики круглых лесоматериалов, показана на рисунке. Первая составная часть системы – исходные данные, включающие информацию о местоположении и характеристиках объектов

хозяйствования (лесосеки, потребители, станции, гаражи), а также слой дорог в формате MapInfo с привязанной к нему базой данных определенной структуры.

Вторая составная часть системы – граф. Это особым образом преобразованный слой дорог с включенными в его структуру объектами хозяйствования с подъездными путями. Для построения и редактирования графа создано несколько программных модулей, объединенных в блок управления графом.



Структура системы

Следующая важная часть системы – база данных по объектам хозяйствования, содержащая все необходимые для расчетов характеристики ОХ, передаваемые через СУБД другим блокам системы.

Блок поиска оптимальных маршрутов использует эвристический оптимизационный алгоритм для определения наилучшего маршрута движения от одной точки графа (объекта хозяйствования) до другой.

В следующем блоке реализован оригинальный алгоритм синтеза транспортного плана, основанный на методах бесконечношагового (открытого) динамического программирования. Результатом его работы служит подробный посменный план для каждого из рассматриваемых автомобилей.

Поиск оптимальных маршрутов

При составлении оптимального транспортного плана необходимо знать время движения от одного объекта хозяйствования до другого. Для этого пользователь должен задать среднюю скорость движения по дорогам каждого типа (ус, ветка, грунтовая, грунтовая улучшенная, с твердым покрытием). Если известны какие-либо особенности некоторых участков дорог (их состояние, большое число сложных поворотов, другие факторы, влияющие на скорость движения), программа позволяет осуществить настройку графа, т. е. установить для отдельных дуг особые значения скорости движения.

Часто существует несколько вариантов движения по графу от исходной точки до конечной. Блок поиска оптимальных маршрутов позволяет выбрать такой вариант маршрута, который соответствовал бы минимальным затратам на перевозку. Для этого должны быть заданы средние затраты на перевозку 1 м³ древесины по дорогам каждого типа.

Существует несколько подходов к определению оптимальных маршрутов на графе. Одним из самых простых и точных является алгоритм Дейкстры [6], который позволяет находить абсолютный оптимум, что является его большим преимуществом.

Попытка реализовать этот алгоритм в данной системе показала, что он хорошо работает только при небольшом числе узлов в графе. Однако при их росте катастрофически увеличивается время поиска решения, так как для каждой новой точки маршрута всегда проверяют все варианты движения из нее (все узлы графа), в том числе заведомо бесперспективные.

В целях сокращения времени поиска был предложен усовершенствованный эвристический алгоритм, позволяющий не проверять все узлы на каждом шаге. Различные примеры подобных алгоритмов рассмотрены в работах [7–9]. Поскольку в каждом цикле алгоритма проверяют только несколько узлов, ближайших к рассматриваемому, время его работы уже не зависит от общего их числа. Реализация данного алгоритма в дорожной сети, покрывающей лесосырьевую базу крупного лесозаготовительного предприятия, показала, что время поиска маршрута сократилось от десятков минут до нескольких секунд.

Предложенный алгоритм не дает стопроцентной гарантии нахождения абсолютного оптимума. Однако, как показали машинные эксперименты, значительные ошибки появляются только в случаях с графами сложной хаотической структуры. При описании же дорожной сети дуги не располагаются хаотически, а представляют собой дороги, которые всегда имеют определенное направление. Поэтому применение данного алгоритма для отыскания оптимальных маршрутов в рассматриваемом случае было признано оправданным.

Для снижения вероятности ошибки в нетривиальных случаях в разработанной системе предусмотрена возможность двукратного поиска каждого маршрута, когда сначала поиск ведется от исходной точки до конечной и сразу от конечной к исходной. Из двух найденных вариантов маршрута

(если они не совпадают) выбирают наилучший. Эта опция удваивает время поиска, но практически позволяет исключить ошибку.

Составление оптимального транспортного плана

Поставленная задача не может быть решена классическими методами математического программирования, так как относится к открытым или «бесконечношаговым». Для решения задачи синтеза оптимального транспортного плана разработан оригинальный алгоритм, основанный на методах динамического программирования [2–4].

В алгоритме для каждого автомобиля максимизируется объем перевозок за смену. Формально ставится задача минимизации суммарного времени движения автомобиля в течение ограниченной по времени смены без простоев. Найденное оптимальное решение прямо соответствует максимально возможному объему перевозок в смену, т. е. числу рейсов (погрузок – разгрузок). Чем их больше, тем меньше время остается непосредственно на движение.

В ходе условной оптимизации на каждом шаге динамического программирования для каждой текущей лесосеки (потребителя) поочередно определяют предыдущих лесосеку или потребителя, при движении с которых суммарное время от начала смены до прибытия на текущую лесосеку (или к потребителю) было бы наименьшим.

В ходе безусловной оптимизации от конца смены к началу считывают маршрут, на котором оказалось большее число рейсов. Если имеется несколько альтернативных маршрутов с одинаковым числом рейсов, то выбирают тот, при котором автомобиль возвращается в гараж ближе к концу смены (таким образом максимизируется коэффициент использования автомобиля).

При наличии альтернативных видов лесоматериалов, предназначенных для перевозки с «оптимальной» лесосеки на двор «оптимального» потребителя, выбирают лесоматериал с более высоким приоритетом (например пиловочник).

Все имеющиеся автомобили включают в общий список в порядке приоритета. Сначала определяют маршрут движения для первого в списке, затем – для второго (на оставшиеся объемы неперевазанных лесоматериалов) и т. д.

Результаты работы алгоритма сохраняют в виде книги Microsoft Excel, каждый лист которой представляет собой транспортный план для автомобилей из одного гаража. В плане указывают пункты отправления и назначения, расстояния между ними, моменты времени прибытия и отправки, а также характеристики перевозимых лесоматериалов.

Результаты исследования

В целях проверки эффективности использования разработанной системы выполнен сравнительный анализ двух транспортных планов для одного и того же леспромхоза в Карелии. Первый план построен традиционным

путем (вручную), второй – с помощью разработанной программы. Планировалась перевозка сортиментов (еловые, сосновые и березовые пиловочник и балансы) пятью автомобилями-сортиментовозами, базирующимися в одном и том же гараже, с четырех лесосек леспромхоза на три предприятия ЛПК и один железнодорожный терминал. Горизонт планирования – 4 сут.

Транспортные планы сравнивали по ряду показателей, которые вычисляли для каждого суток работы и в целом. Состав показателей: суммарное время работы автомобилей, суммарный пробег, суммарное число выполненных рейсов, общий перевезенный объем лесоматериалов, суммарный

Сравнительные показатели оптимального транспортного плана

6* День	Суммарное время работы, ч	Суммарный пробег, км	Число рейсов	Общий объем, м ³	Суммарный пробег с грузом, км	Потребное число автомобилей	Коэффициент использования		Объем на единицу пробега, м ³ /км
							авто-мобилей	пробега	
1-й	42,68 (-1%)	1207,84 (-4%)	10 (0)	518 (0)	348,18 (0)	3 (-40%)	0,700 (+65%)	0,288 (+4%)	0,429 (+4%)
2-й	79,32 (-15%)	2435,48 (+13%)	17 (+6%)	878 (+6%)	992,45 (+46%)	5 (0)	0,780 (-15%)	0,407 (+30%)	0,361 (-6%)
3-й	51,23 (-35%)	1421,26 (-22%)	12 (0)	620 (-0,3%)	460,26 (-10%)	4 (-20%)	0,630 (-19%)	0,324 (+15%)	0,436 (+27%)
4-й	81,62 (-10%)	2317,41 (+8%)	19 (+27%)	980 (+27%)	896,01 (+33%)	5 (0)	0,803 (-10%)	0,387 (+23%)	0,423 (+17%)
Всего	254,85 (-17%)	7381,99 (0)	58 (+9%)	2996 (+9%)	2696,9 (+22%)	5 (0)	0,728 (-4%)	0,365 (+22%)	0,406 (+9%)

пробег с грузом, потребное число автомобилей, коэффициент использования занятых автомобилей, коэффициент использования пробега и объем перевезенных лесоматериалов на единицу пробега.

Коэффициент использования n занятых автомобилей для каждого суток определяли по формуле

$$k_n = \frac{t_p}{t_{\text{сут}} n},$$

где t_p – суммарное время работы автомобилей в течение суток по вновь сформированному плану, ч;

$t_{\text{сут}}$ – суммарная регламентная продолжительность первой и второй смен, ч.

Таким образом, этот коэффициент имеет иной смысл, нежели стандартный коэффициент использования парка машин. Он показывает степень занятости автомобилей внутри смены, т. е. является оценочным показателем совершенства транспортного плана, а не общей мерой простоев. Если автомобиль простаивает в течение суток, то его не учитывают в данном коэффициенте. Более совершенным считается план, при выполнении которого удастся выполнить весь объем перевозок меньшим числом автомобилей.

При составлении плана традиционным путем использована привязка каждого автомобиля к определенной лесосеке для ее обслуживания. Плани-

рование осуществляли таким образом, чтобы каждый автомобиль мог сделать максимальное число рейсов и вернуться в гараж до завершения смены.

Таблица содержит значения сравнительных показателей оптимального транспортного плана, построенного с помощью разработанной программы. В скобках указано их изменение в сравнении с традиционным планом. В соответствии с этим планом перевозится 2996 м³, на 9 % больше, при этом общий пробег не изменяется, а суммарное время работы автомобилей уменьшается на 17 %, благодаря чему в первый день высвобождается два автомобиля, а в третий – один. Коэффициент использования пробега возрастает на 22, объем перевезенных материалов на единицу пробега – на 9 %.

Выводы

Разработанный геоинформационный подход и оптимизационные методики позволяют существенно повысить эффективность перевозок лесоматериалов при использовании сортиментного метода заготовки. Кроме того, с помощью созданной системы можно автоматизировать процесс составления транспортных планов и сократить затрачиваемое время. Благодаря этому возможно составить несколько вариантов планов с учетом вероятных изменений во внутренней ситуации и внешних условиях, оперативно их переработать, скорректировать и довести до исполнителей в несложной табличной форме и в виде карт маршрутов. Удобный интерфейс и наглядное картографическое представление исходных данных и результатов работы должны помочь специалистам более качественно планировать перевозки и компьютеризировать свой труд.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Анализ развития лесозаготовок на Северо-Западе России [Текст] / Ю.Ю. Герасимов [и др.] // Лес и бизнес. – СПб.: Максибит, 2007. – № 3. – С. 58–63.
2. Андреев, В.Н. Принятие оптимальных решений в лесном комплексе [Текст] / В.Н. Андреев, Ю.Ю. Герасимов. – Йоэнсуу: Изд-во ун-та Йоэнсуу, 1999. – 200 с.
3. Беллман, Р. Динамическое программирование [Текст] / Р. Беллман. – М.: Изд-во иностр. лит., 1960. – 400 с.
4. Вентцель, Е.С. Элементы динамического программирования [Текст] / Е.С. Вентцель. – М.: Наука, 1964. – 176 с.
5. Герасимов, Ю.Ю. Логистика в лесном комплексе: управление снабжением, транспортом и запасами [Текст]: учеб. пособие / Ю.Ю. Герасимов, В.М. Костюкевич. – Петрозаводск: Изд-во ПетрГУ, 2001. – 108 с.
6. Dijkstra, E.W. A Note on Two Problems in Connexion with Graphs [Text] / E.W. Dijkstra // Numerische Mathematik. – 1959. – N 1. – P. 269–271.
7. Hart, P.E. A Formal Basis for the Heuristic Determination of Minimum Cost Paths [Text] / P.E. Hart, N.J. Nilsson, B. Raphael // IEEE Transactions of Systems Science and Cybernetics. – 1968. – Vol. SSC-4, N 2. – P. 100–107.
8. Jonsson, M.J. An Optimal Pathfinder for Vehicles in Real-World Terrain Maps [Text] / M.J. Jonsson // The Royal Institute of Science, School of Engineering Physics. – Stockholm, 2003.
9. Stefanakis, E. On the Determination of the Optimum Path in Space [Text] / E. Stefanakis, M. Kavouras // Proceedings of the European Conference on Spatial Information Theory COSIT 95. – 1995.

Поступила 06.03.08

А.П. Sokolov¹, Ю.Ю. Gerasimov²

¹Petrozavodsk State University

²Finnish Forest Research Institute

Geoinformation System for Solving Optimization Problem of Transport Logistics for Round Timber

Technique and algorithms of transport plans optimization in cut-to-length logging are considered. The GIS-technologies information system realizing them is described.

Keywords: transport logistics, cut-to-length technology, cut-to-length truck, mathematical programming, GIS-technologies.



МЕХАНИЧЕСКАЯ ОБРАБОТКА ДРЕВЕСИНЫ И ДРЕВЕСИНОВЕДЕНИЕ

УДК 674.055

В.И. Коняшкин

Брянская инженерно-технологическая академия

Коняшкин Владимир Ильич родился в 1948 г., окончил в 1971 г. Брянский технологический институт, кандидат технических наук, доцент кафедры технологии деревообработки Брянской государственной инженерно-технологической академии. Имеет более 80 печатных работ в области деревообработки.
E-mail: Konyashkinbgita@bk.ru



ТЕОРЕТИЧЕСКИЙ АНАЛИЗ НАПРЯЖЕНИЙ РЕЖУЩЕЙ ЧАСТИ УПРОЧНЕННОГО ИНСТРУМЕНТА

Получены зависимости напряжений в упрочненном резце при действии на его режущую часть остаточных напряжений и нагрузок от сил резания.

Ключевые слова: напряжения, упрочнение, режущая часть, нагрузка, анализ.

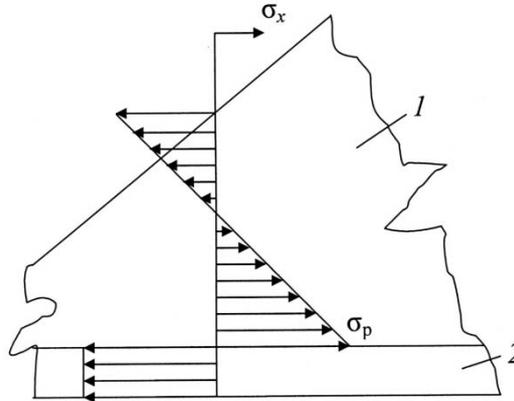
Применение упрочняющих технологий для улучшения физико-механических свойств инструментальных материалов является резервом повышения работоспособности режущих инструментов. При этом увеличивается продолжительность их работы, экономится инструментальный материал, снижаются затраты.

Известные методы поверхностного упрочнения инструмента связаны с температурной нагрузкой на его режущую часть (резец), в результате чего возникают остаточные температурные напряжения. Наряду с этими методами используют конденсацию вещества в вакууме из высокоскоростных потоков плазмы с ионной бомбардировкой плазменного конденсата на подложку (метод КИБ). Он имеет ряд преимуществ, основное из которых – однородность упрочненного слоя.

При обработке различных материалов (фрезерованием, пилением, точением, сверлением и др.) в режущей части инструмента возникают нормальные и касательные напряжения. Наступление предельного состояния связано с касательными (критерий зарождения, возникновения трещин) и нормальными (критерий их распространения) растягивающими напряжениями.

Например, при точении металлов актуален вопрос предохранения передней (или задней) поверхности резца при его контакте со стружкой. Этот вопрос должен решаться с учетом внутренних остаточных напряжений и напряжений от сил резания. Форму эпюр этих напряжений, их знак необходимо учитывать при выборе метода и поверхности упрочнения режущей части

Рис. 1. Расчетная схема распределения напряжений в режущей части упрочненного резца: 1 – резец, 2 – упрочненный слой



инструментов [1, 4]. Идеальный случай, когда алгебраическая сумма от сложения данных напряжений равна нулю. Исследованиями напряжений в упрочненных слоях режущих инструментов на практике занимались А.С. Верещак и И.П. Третьяков [1].

Перед нами стояла задача оценки напряжений в режущей части упрочненного режущего инструмента при действии на него внешних нагрузок и остаточных напряжений с получением аналитических зависимостей напряжений в упрочненном резце при действии нагрузки на переднюю грань.

Сделанный нами ранее анализ напряжений в режущей части однородного резца [2] позволяет перейти к расчету напряжений в упрочненном резце и учесть наличие остаточных температурных напряжений, возникающих в нем после упрочнения. Для этого будем полагать, что распределение напряжений в резце можно аппроксимировать линейной зависимостью

$$\sigma_x(x, y) = \sigma_x(x, 0) \left(1 - A(x) \frac{y}{\Delta(x)} \right), \quad (1)$$

где $\sigma_x(x, 0)$ – напряжение на передней поверхности резца;

$A(x)$ – коэффициент пропорциональности;

$\Delta(x)$ – толщина резца в сечении x .

Обозначим: σ_n – напряжение вдоль оси x в упрочненном слое (покрытии); $\sigma_p(x)$ – напряжение вдоль оси x в резце на границе упрочненный слой–резец. Скачок напряжений на этой границе объясняется различием модулей упругости и остаточными температурными напряжениями.

По толщине упрочненного слоя распределение $\sigma(x, y)$ близко к постоянному значению. Расчетная схема напряжений в упрочненном резце приведена на рис. 1.

Если предположить, что при температуре, равной температуре упрочнения (нанесения покрытия), в нем отсутствует температурное напряжение, т.е. формирование упрочненного слоя полностью завершилось, то относительное удлинение этого слоя может быть задано выражением

$$\varepsilon_{\text{п}} = \frac{\sigma_{\text{п}}}{E_{\text{п}}} + \alpha_{\text{п}}(T - T_0), \quad (2)$$

где $E_{\text{п}}$ – модуль упругости материала упрочненного слоя;
 $\alpha_{\text{п}}$ – коэффициент температурного расширения упрочненного слоя;
 T – текущая температура среды нанесения;
 T_0 – температура упрочнения резца.

Аналогично запишем для резца на границе с упрочненным слоем:

$$\varepsilon_{\text{р}} = \frac{\sigma_{\text{р}}}{E_{\text{р}}} + \alpha_{\text{р}}(T - T_0), \quad (3)$$

где $E_{\text{р}}$ – модуль упругости материала резца;
 $\alpha_{\text{р}}$ – коэффициент температурного расширения резца.

Из условия неразрывности на границе резец–упрочненный слой следует, что $\varepsilon_{\text{п}} = \varepsilon_{\text{р}}$, т. е.

$$\frac{\sigma_{\text{р}}}{E_{\text{р}}} + \alpha_{\text{р}}(T - T_0) = \frac{\sigma_{\text{п}}}{E_{\text{п}}} + \alpha_{\text{п}}(T - T_0). \quad (4)$$

Уравнение равновесия сил в проекции по оси x

$$\sigma_{\text{п}}\delta + \int_0^{\Delta} \sigma(x, y)dy + \int_0^x \tau(\xi)d\xi = 0,$$

где δ – толщина упрочненного слоя, $\delta \ll \Delta$.

Уравнение моментов относительно точки с координатами $(x, 0)$

$$\int_0^{\Delta} \sigma(x, y)ydy + \int_0^x g(\xi)(x - \xi)d\xi - \delta \int_0^x \tau(\xi)d\xi = 0,$$

где моментом сил в покрытии, имеющем порядок δ^2 , можно пренебречь.

Аппроксимируя значения $\sigma(x, y)$ в резце функцией вида (1), получим замкнутую систему уравнений относительно $\sigma_{\text{п}}$, $\sigma_{\text{р}}$ и A , которая аналогична системе уравнений в [2] для однородного резца без температурных напряжений:

$$\begin{aligned} \sigma_{\text{р}}\Delta \left(1 - \frac{A}{2}\right) + \sigma_{\text{п}}\delta &= -\int_0^x \tau(\xi)d\xi; \\ \alpha_{\text{р}}\Delta^2 \left(\frac{1}{2} - \frac{1}{3}\right) &= -\int_0^x g(\xi)(x - \xi)d\xi + \delta \int_0^x \tau(\xi)d\xi; \\ \frac{\sigma_{\text{р}}}{E_{\text{р}}} + \alpha_{\text{р}}(T - T_0) &= \frac{\sigma_{\text{п}}}{A_{\text{п}}} + \alpha_{\text{п}}(T - T_0), \end{aligned}$$

Решим эту систему, пренебрегая членами, имеющими порядок δ^2 :

$$\sigma_{\text{р}} = \sigma_{\text{р}1} + \sigma_{\text{р}2} + \sigma_{\text{р}3};$$

$$\sigma_{\text{п}} = \sigma_{\text{п}1} + \sigma_{\text{п}2} + \sigma_{\text{п}3},$$

где $\sigma_{\text{р}1}$ – напряжение в резце на границе его с покрытием за счет действия нормальных нагрузок,

$$\sigma_{p^1} = -\frac{6\left(1 - K - 4\frac{\delta}{\Delta}\right)}{\Delta^2} \int_0^x g(\xi)(x - \xi)d\xi; \quad (5)$$

σ_{p^2} – напряжение за счет действия касательных нагрузок,

$$\sigma_{p^2} = -\frac{4}{\Delta} \left(1 - K - \frac{5\delta}{2\Delta}\right) \int_0^\xi \tau(\xi)d\xi; \quad (6)$$

σ_{p^3} – остаточное напряжение при изменении температуры резца от T_0 до T ,

$$\sigma_{p^3} = \frac{4\delta}{\Delta} (\alpha_p - \alpha_n)(T - T_0)E_n; \quad (7)$$

K – параметр инструментального материала с покрытием,

$$K = 4(E_n - E_p) \frac{\delta\Delta}{E_p};$$

$$\sigma_{n^1} = \frac{\sigma_{p^1} E_n}{E_p}; \quad (8)$$

$$\sigma_{n^2} = \frac{\sigma_{p^2} E_n}{E_p}; \quad (9)$$

$$\sigma_{n^3} = -(\alpha_p - \alpha_n)(T - T_0)E_n \left(1 - K - 4\frac{\delta}{\Delta}\right). \quad (10)$$

Сравнение формул (5) и (6) с формулами (11) и (12), полученными в работе [2] (где σ_1 и σ_2 – напряжение на передней поверхности резца с однородной структурой соответственно под действием нормальных и касательных внешних нагрузок)

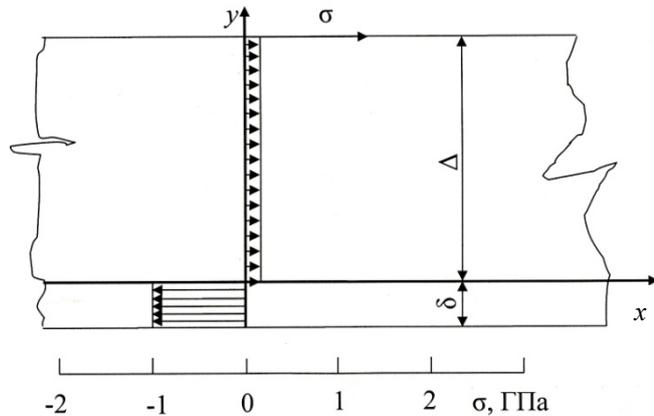
$$\sigma_1 = \frac{6 \int_0^x g(\xi)(x - \xi)d\xi}{\Delta^2(x)}; \quad (11)$$

$$\sigma_2 = -\frac{4 \int_0^x \tau(\xi)d\xi}{\Delta(x)}, \quad (12)$$

показало, что влияние неоднородности материалов резца и упрочненного слоя определяется параметром K .

При $K = 0$, когда упругости материалов резца и упрочненного слоя совпадают, отличие формул (5) и (6) от формул (11) и (12) объясняется тем, что при наличии слоя (покрытия) точка, в которой определяют напряжение в резце, лежит на глубине δ от поверхности, где действуют внешние силы, а на этой глубине напряжение σ_x уменьшается в соответствии с формулой (1).

Рис. 2. Схема эпюры остаточных температурных напряжений вблизи передней поверхности резца с покрытием из нитрида титана



Обычно $E_n \approx (25...45) \cdot 10$ ГПа, а $E_p \approx (40...60) \cdot 10$ ГПа, т.е. может наблюдаться условие $K < 0$. Это означает, что упрочнение (нанесением покрытия) увеличивает напряжение σ_x по сравнению со случаем, когда резец и нанесенный на него слой были выполнены из одинакового материала. При толщине покрытия 3...5 мкм и толщине резца порядка 1 мм параметр $K \approx 10^{-2}$, т.е. влиянием неоднородности материалов покрытия и резца на напряжение в нем можно пренебречь и для расчета этих напряжений использовать формулы (11) и (12). При степенном распределении внешних нагрузок применяют формулы, которые приведены в работе [2].

Для оценки остаточного температурного напряжения в резце по формуле (7) исходим из того, что $\alpha_p \approx (5...9) \cdot 10^{-6}$ град $^{-1}$, а для покрытия из нитрида титана $\alpha_n \approx 10^{-5}$ град $^{-1}$. Если принять, что $T = 873$ К (600 °С), $T_0 = 293$ К (20 °С), то при $\delta = 5$ мкм и $\Delta = 1$ мм имеем $\sigma_x = 0,1$ ГПа. Это существенно ниже предела прочности при растяжении инструментальных материалов. Следует отметить, что остаточное напряжение уменьшает, хотя и незначительно, прочность резца при внешних нагрузках, которые обычно вблизи передней его поверхности создают растягивающее напряжение, т.е. имеют тот же знак, что и остаточное температурное напряжение. По формуле (10) остаточное напряжение в резце для материалов с указанными выше свойствами составляет $\sigma_{пз} = -(1,0...1,5)$ ГПа, что сравнимо с пределом прочности нитрида титана на сжатие.

На рис. 2 схематически показана расчетная эпюра остаточных температурных напряжений в резце и покрытии для материалов с указанными свойствами. Эпюра хорошо согласуется с экспериментальными данными, приведенными в работе [4].

Выводы

1. При температурном поверхностном упрочнении в упрочненном слое возникает остаточное напряжение (10), частично компенсирующее растягивающее напряжение от действия нагрузок.

2. Оценка напряжений по формулам (8), (9) показывает, что они для обычно применяющихся инструментальных материалов примерно в 2 раза меньше, чем вблизи передней поверхности резца.

3. Если предел прочности упрочненного слоя (покрытия) меньше, чем у материала резца, то эффект от упрочнения может произойти только при наличии в слое остаточного температурного напряжения, которое компенсирует напряжения, создаваемые внешними нагрузками.

4. Полученные зависимости могут быть использованы для оценки методов упрочнения инструментов.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Верещака, А.С.* Режущие инструменты с износостойкими покрытиями [Текст] / А.С. Верещака, И.П. Третьяков. – М.: Машиностроение, 1986. – 192 с.

2. *Коняшкин, В.И.* Напряженное состояние режущей части инструмента [Текст] / В.И. Коняшкин // Лесн. журн. – 2006. – № 2. – С.74–89. – (Изв. высш. учеб. заведений).

3. *Моисеев, А.В.* Износостойкость дереворежущего инструмента [Текст] / А.В. Моисеев. – М.: Лесн. пром-сть, 1981. – 111 с.

4. *Этингант, А.А.* Исследование влияния технологических параметров процесса конденсации вещества в вакууме с ионной бомбардировкой (КИБ) на работоспособность режущих инструментов [Текст]: автореф. дис. ... канд. техн. наук / Этингант А.А. – М., 1980. – 16 с.

Поступила 18.02.08

V.I. Konyashkin

Bryansk State Engineering-Technological Academy

Theoretical Strain Analysis of Cutting Part of Hardened Tool

The dependencies of strains in the hardened cutter are obtained under effect of residual stress and loads from the cutting force on its cutting part.

Keywords: stresses, hardening, cutting part, analysis, load.

Б.Д. Руденко

Сибирский государственный технологический университет

Руденко Борис Дмитриевич родился в 1948 г., окончил в 1972 г. Сибирский технологический институт, кандидат технических наук, доцент кафедры технологии композиционных материалов и древесиноведения Сибирского государственного технологического университета. Имеет около 60 научных трудов в области изучения процессов создания и эксплуатации древесных композитов.

E-mail: rudenko@krasmail.ru



ГИПСОПОЛИМЕРНЫЙ КОМПОЗИТ НА ОСНОВЕ ДРЕВЕСНЫХ ЧАСТИЦ

Установлено, что прочность гипсополимерного композита на основе древесных частиц больше, чем у гипсодревесной композиции.

Ключевые слова: гипс, карбамидная смола, стружка.

Гипс характеризуется незначительной адгезией к древесине [3], поэтому, если его использовать как вяжущее вещество, то прочность получаемого композиционного материала будет зависеть от качества и количества вяжущего, качества заполняющей части, характера и объема поровой части, прочности контактного слоя, технологических факторов [5]. Процесс твердения строительного гипса значительно отличается от портландцемента и подобных ему вяжущих веществ, для которых необходимы влажные условия на начальном этапе, чтобы не происходило снижение прочности затвердевших растворов [1].

Цель исследования – повысить качество композиционных материалов на основе древесных частиц, гипса и водных растворов карбамидной смолы. Строение и прочность такого композита необходимо исследовать, так как используемые древесные частицы характеризуются активной химической структурой и отличаются от минеральных заполнителей поверхностью контактирования с вяжущим.

При проведении эксперимента использовали: в качестве вяжущего природный – гипс марки Г-5 (ГОСТ 125–79); карбамидную смолу марки КФ-МТ–15 (ТУ 6-05-12–88); в качестве отвердителя – 10 %-й раствор щавелевой кислоты; сосновые древесные частицы плоской формы влажностью 12...15 %, полученные как отходы при оцилиндровке бревен; воду.

Приведенные в табл. 1 средние размеры характерны для древесных частиц (ДЧ) плоской формы и не совпадают с размерами частиц при распределении на стандартных ситах.

Для изучения влияния соотношения рассматриваемых компонентов на свойства получаемого композита можно использовать планы [4]. Диаграммы состав–свойство по интересующей переменной для 4-компонентных смесей представляют сеть изолиний на четырехугольнике

концентраций. Для построения таких диаграмм использована методика [2]. В вершинах симплекса содержание компонентов составляет 100 %.

Таблица 1

Средние размеры (мм) древесных частиц

Доля ДЧ, %	Длина	Ширина	Толщина
35	25	20	0,10
26	35	25	0,15
Остальное	< 25	< 20	< 0,10

Таблица 2

Область изменения компонентов (%) изучаемого композита

Доля компонента	Вершина симплекса			
	1	2	3	4
ДЧ	70	10	10	10
Гипс	10	70	10	10
Смола	10	10	70	10
Вода	10	10	10	70

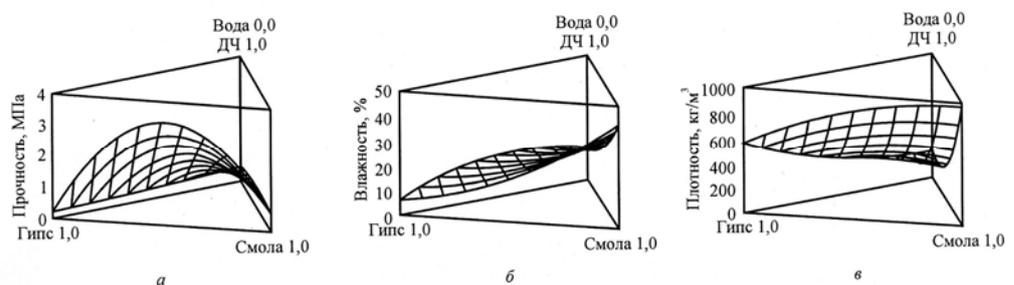
Нас интересовала не вся область факторного пространства, а лишь та ее часть, где соотношения компонентов могут существовать. Диапазон изменения факторов приведен в табл. 2. Максимальные количества каждого компонента ограничены значением, при котором система может существовать, имея минимальные значения исследуемого свойства.

В рассмотренной области факторного пространства был поставлен эксперимент. Смешивание компонентов производили в следующей последовательности: стружка, раствор смолы, гипс. Согласно принятой стратегии эксперимента, в смесь смолу вводили в виде водного раствора. После тщательного перемешивания формировали балочки размером $4 \times 4 \times 16$ см, которые твердели в течение 1 сут. при комнатных условиях. Их испытывали на прочность при изгибе (ГОСТ 310.4–81), определяли плотность и влажность. (Последний показатель, полученный после 1 сут. твердения образцов, можно считать косвенной характеристикой структурообразования изучаемого композита).

Полученные поверхности отклика гипсополимерного композита для прочности, влажности и плотности приведены на рис. 1.

Как видно из рис. 1, *а* наибольшее значение прочности соответствует наибольшему содержанию гипса и смолы (в равных пропорциях) при минимальном содержании древесных частиц.

При наибольших значениях содержания смолы в формовочной смеси влажность композита увеличивается (рис. 1, *б*). Это объясняется тем, что в этой области относительно мало гипса и древесных частиц, которые требуют и меньшее количество воды (соответственно на твердение и для сорбирования на поверхности частиц).



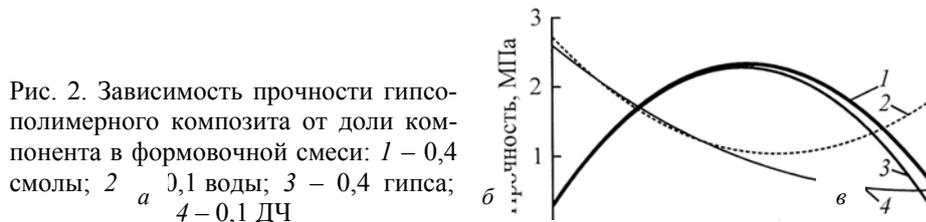


Рис. 2. Зависимость прочности гипсополимерного композита от доли компонента в формовочной смеси: 1 – 0,4 смолы; 2 – 0,1 воды; 3 – 0,4 гипса; 4 – 0,1 ДЧ

Рис. 1. Плотность отклика гипсополимерного композита (содержание воды на минимальном (0) уровне) для прочности на изгиб (а) и его твердения (б) и плотности (в). Доля компонента

В зависимости от содержания компонентов в формовочной смеси (рис. 1, в) плотность изучаемого гипсополимерного композита возрастает по мере уменьшения размеров древесных частиц, а также увеличения содержания смолы. Это объясняется формированием плотной структуры композита, когда материал содержит относительно мало пор.

На рис. 2 представлены характерные зависимости прочности гипсополимерного композита от содержания компонентов в смеси. На основании этих графиков долю компонентов можно выбрать исходя из наибольших значений прочности. Отмечен хорошо выраженный оптимум содержания компонентов, когда прочность достигает 2,5 МПа. Характер зависимостей соответствует наличию максимумов, в которых композиты имеют наилучшие показатели свойств.

Выводы

1. Прочность гипсополимерного композита на основе древесных частиц на 10...20 % больше, чем у гипсодревесной композиции.
2. Использование карбамидной смолы в виде водного раствора приводит к изменению связей гипса с древесиной. Характер изменения влажности композита при изменении содержания компонентов определяется свойствами водного раствора смолы.
3. Характер изменения плотности композита на основе древесных частиц не повторяет изменение прочности и влажности, что является следствием формирования дополнительных связей, определяемых характеристиками водного раствора смолы.
4. Прочность гипсополимерного композита на основе древесных частиц при изменении содержания компонентов зависит от закономерностей образования оптимальной структуры. Наибольшая прочность получена при содержании компонентов от 0,4 до 0,6 (от наибольшего рассматриваемого значения).

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Бутт, Ю.М. Химическая технология вяжущих материалов [Текст] / Ю.М. Бутт, М.М. Сычев, В.В. Тимашев. – М.: Высш. шк., 1980. – 472 с.

2. Дюк, В. Обработка данных на ПК в примерах [Текст] / В. Дюк. – СПб.: Питер, 1997. – 240 с.

3. Пащенко, А.А. Вяжущие материалы [Текст] / А.А.Пащенко, В.П.Сербин, Е.А.Старчевская. – К.: Вища шк., 1975. – 444 с.

4. Пен, Р.З. Статистические методы моделирования и оптимизации процессов целлюлозно-бумажного производства [Текст] / Р.З. Пен. – Красноярск: Изд-во Красн. ун-та, 1982. – 192 с.

5. Рыбьев, И.А. Строительные материалы на основе вяжущих веществ (искусственные строительные конгломераты) [Текст] / И.А. Рыбьев. – М.: Высш. шк., 1978. – 309 с.

Поступила 27.11.08

B.D. Rudenko
Siberian State Technological University

Gypsumolymeric Composite on Wooden Particles Basis

It is established that strength of gypsumolymeric composite based on wooden particles is higher in comparison with gypsiwooden composition.

Keywords: gypsum, carbamide resin, shaving.

А.Е. Алексеев, В.П. Емельянов, Н.И. Маркин

Архангельский государственный технический университет

Алексеев Александр Евгеньевич родился в 1958 г., окончил в 1980 г. Архангельский лесотехнический институт, доктор технических наук, профессор кафедры технологии конструкционных материалов и машиностроения Архангельского государственного технического университета. Имеет более 180 научных трудов в области лесопиления. Тел.: (8182) 21-61-63



Емельянов Владимир Павлович родился в 1946 г., окончил в 1969 г. Архангельский лесотехнический институт, кандидат технических наук, доцент, декан факультета промышленной энергетики Архангельского государственного технического университета, заслуженный работник высшей школы. Имеет более 80 печатных работ в области электромеханики и электропривода. Тел.: (8182) 21-61-79



Маркин Николай Иванович родился в 1940 г., окончил в 1964 г. Ленинградский институт авиационного приборостроения, кандидат технических наук, доцент кафедры электроснабжения промышленных предприятий Архангельского государственного технического университета. Имеет более 10 печатных работ в области автоматизации технологических процессов и линейного электропривода в лесопромышленном комплексе. Тел.: (8182) 21- 89 -36

**ИССЛЕДОВАНИЕ ПАРАМЕТРОВ
ЛИНЕЙНОГО ЭЛЕКТРОПРИВОДА УЗЛА РЕЗАНИЯ
МАЯТНИКОВОГО ТОРЦОВОЧНОГО УСТРОЙСТВА**

Обоснованы параметры линейного электропривода с расчетными показателями тягового усилия, хода и скорости выполнения операций применительно к узлу торцевания.

Ключевые слова: торцовочный станок, линейный привод.

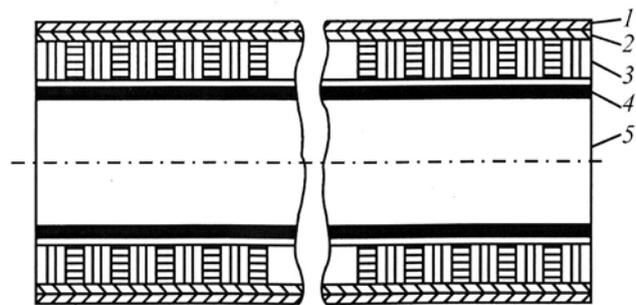
Оборудование для выполнения операций подготовки и формирования длин пиломатериалов в процессе их торцевания должно обеспечивать точное и быстрое позиционирование доски или исполнительного механизма в шаговом или свободном режиме, возможность безинерционного торможения обрабатываемого материала или приспособления.

В торцовочных станках для преобразования вращательного движения в поступательное используют кривошипно-шатунные механизмы, пары винт – гайка и шестерня – рейка, гибкие передачи. Наличие гидравлических и пневматических распределителей, гидронасосов или компрессоров, трубопроводов, дросселей для регулирования скоростей перемещения исполнительных механизмов приводит к снижению надежности торцовочных устройств и точности торцевания пиломатериалов.

Линейный электропривод позволяет исключить промежуточные звенья, использующие механическую, гидравлическую или пневматическую передачи. В зависимости от области применения линейные двигатели могут

быть разделены на двигатели для получения механической силы, энергии и мощности. Среди низкоскоростных линейных асинхронных двигателей наиболее высокие технико-экономические показатели имеют цилиндрические – ЦЛАД (рис. 1). Это объясняется тем, что в них отсутствуют лобовые части и соответствующие потери, а также поперечный краевой эффект [1]. Зазор между индуктором и вторичным элементом может быть минимальным, его выбирают с точки зрения механики. Вторичный элемент, приводящий в движение исполнительный механизм, представляет собой цилиндр. Для увеличения тягового усилия он может быть омеднен. Индуктор (неподвижная часть) изготавливают в виде чередующихся пакетов колец (шайб) из

Рис. 1. Устройство ЦЛАД:
1 – катушки, 2 – стальное ярмо, 3 – пакет пластин из электротехнической стали, 4 – медное покрытие вторичного элемента, 5 – подвижный вторичный элемент



электротехнической стали и катушек, последние приклеивают. Ярмо, охватывающее

индуктор, должно иметь прорезь для снижения потерь на вторичные токи. Подшипниковые узлы выполняют обычно на подшипниках скольжения. Линейную скорость v_1 бегущего электромагнитного поля индуктора определяют по формуле [2]

$$v_1 = 2\tau f_1, \quad (1)$$

где τ – полюсное деление, м;

f_1 – частота питающего напряжения, Гц.

Вторичный элемент, движущийся относительно индуктора со скоростью v и некоторым скольжением

$$S = (v_1 - v)/v_1, \quad (2)$$

соединен с рабочим механизмом, поэтому работа электропривода в целом зависит от величины и характера изменения момента сопротивления. В качестве подобного исполнительного механизма рассматривали узел резания маятникового торцовочного устройства.

Применение ЦЛАД для привода позволяет упростить конструкцию торцовочного устройства, обеспечивает возможность увеличения скорости перемещения узла торцевания и необходимое регулирование скорости движения исполнительного механизма, повышение надежности работы станка и качества обработки пиломатериалов. Отсутствие кинематических связей статора и вторичного элемента, а также промежуточного рабочего органа, значительно снижает механические потери. Линейный асинхронный

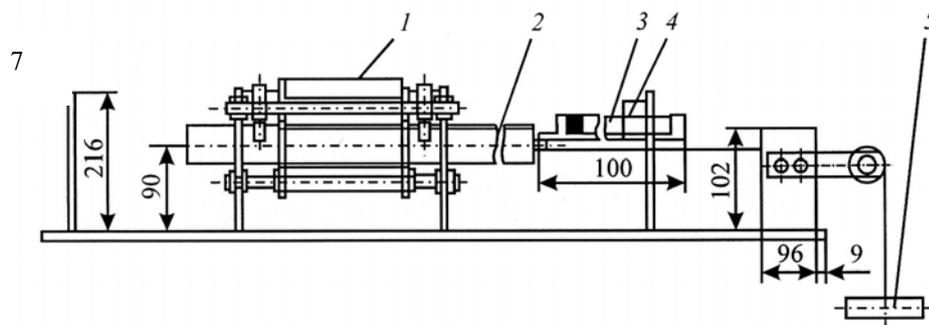
двигатель обеспечивает торможение вторичного элемента и его точный останов. В настоящее время торцовочные приводы от ЦЛАД в лесопильном производстве не используют. В связи с этим необходимо изучить возможность применения электропривода торцовочного устройства с линейным асинхронным двигателем.

Характеристики каждого двигателя, имеющего индивидуальные особенности, необходимо согласовывать с характеристиками исполнительного механизма. Поэтому научное обоснование технологических параметров торцовочного устройства с приводом перемещения пилы от ЦЛАД и создание торцовочного станка с ЦЛАД являются актуальными вопросами совершенствования технологического оборудования деревообрабатывающих производств.

При позиционном торцевании пилу подают на неподвижную заготовку. Сложение двух одновременно происходящих движений – резания и подачи – при пилении круглой пилой приводит к циклоидальной абсолютной траектории резания. Ввиду малости соотношения скоростей подачи и резания u/v в расчетах абсолютную траекторию резания принимали за окружность.

В ходе эксперимента нагрузки, создаваемые исполнительным механизмом, имитировали на испытательном стенде (рис. 2).

Согласно [1], уравнение, характеризующее механические характеристики ЦЛАД, представляет собой дифференциальное уравнение второго по-



рядка:

$$\left(\frac{F_c}{m} + x''\right)(A(x')^2 - Bx' + C) - D(v_1 - x')K = 0, \quad (3)$$

где F_c – сила статического сопротивления движению, Н;
 m – общая масса вторичного элемента и приводимых в движение им тел, кг;
 x – перемещение, м;
 A, B, C, D – коэффициенты;

Рис. 2. Принципиальная конструкция стенда: 1 – цилиндрический двигатель; 2 – вторичный элемент, 3 – гребенчатая линейка, 4 – фотодатчик, 5 – нагрузка

K – коэффициент, значение которого зависит от положения вторичного элемента по отношению к статору двигателя [1], $K = 1$.

Уравнение справедливо для процесса разгона, торможения в генераторном режиме, а также при противовключении. Коэффициенты уравнения зависят от параметров двигателя и источника питания. Основные слагаемые силы сопротивления \vec{F}_c : силы трения между вторичным элементом и подшипниками; силы трения в самих подшипниках; сила трения между вторичным элементом и воздухом; сила тяжести груза.

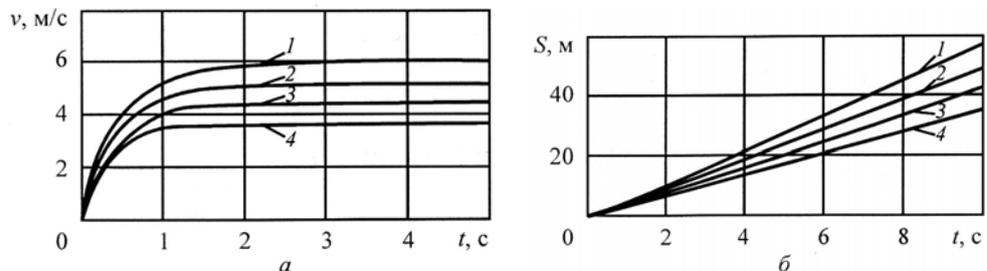
Уравнение движения вторичного элемента для холостого хода с учетом параметров исследуемого ЦЛАД имеет следующий вид:

$$x''(1,337 \cdot 10^4 (x')^2 - 1,605 \cdot 10^5 x' + 4,818 \cdot 10^5) - 5,988 \cdot 10^3 (6 - x') = 0. \quad (4)$$

При исследовании тяговых характеристик использовали грузы массой 2,5; 5,0; 8,5 кг. Модули сил сопротивления составляли соответственно 24,5; 49,0; 83,3 Н. С учетом этого уравнение движения вторичного элемента в зависимости от нагрузки

$$\left(\frac{F_c}{m} + x\right)(1,337 \cdot 10^4 (x')^2 - 1,605 \cdot 10^5 x' + 4,818 \cdot 10^5) - 5,988 \cdot 10^3 (6 - x') = 0. \quad (5)$$

Решение уравнения движения ротора ЦЛАД при различных нагрузках получено методом численного интегрирования. По известным функции и граничным условиям при холостом ходе численно определены значения функций $v(t)$ и $x(t)$ для различных усилий. На рис. 3 при холостом ходе и нагрузке 2,5; 5,0; 8,5 кг представле-



ны графики $v(t)$ и $x(t)$ (x – перемещение S).

Рис. 3. Графики скоростей (а) и перемещений (б) в зависимости от времени на холостом ходу (1) и при нагрузках ЦЛАД – 2,5 (2), 5,0 (3), 8,5 кг (4)

Электромагнитные переходные процессы в традиционных асинхронных двигателях исследованы достаточно хорошо [2], в то время как решению этого вопроса для линейных асинхронных двигателей уделено недостаточно внимания.

Нами сделана попытка оценить влияние электромагнитных переходных процессов на работу ЦЛАД. За основу использовано известное уравнение Горева [3]. При этом введены следующие допущения: не учитывается влияние продольного краевого эффекта, насыщения магнитопровода и высших

гармоник; фазные обмотки одинаковы и включены в звезду без нейтрального провода; двигатель включен в сеть бесконечно большой мощности.

Результаты теоретических исследований характеристик ЦЛАД с учетом электромагнитных переходных процессов были представлены в виде решения системы дифференциальных уравнений трехфазного ЦЛАД в условиях движения с произвольной скоростью в координатах u, v . Полученные результаты представлены на рис. 4, 5.

Как показали проведенные исследования, влияние электромагнитных переходных процессов в низкоскоростных ЦЛАД незначительно, т. е. в инженерных расчетах это можно не учитывать, что значительно упрощает расчеты.

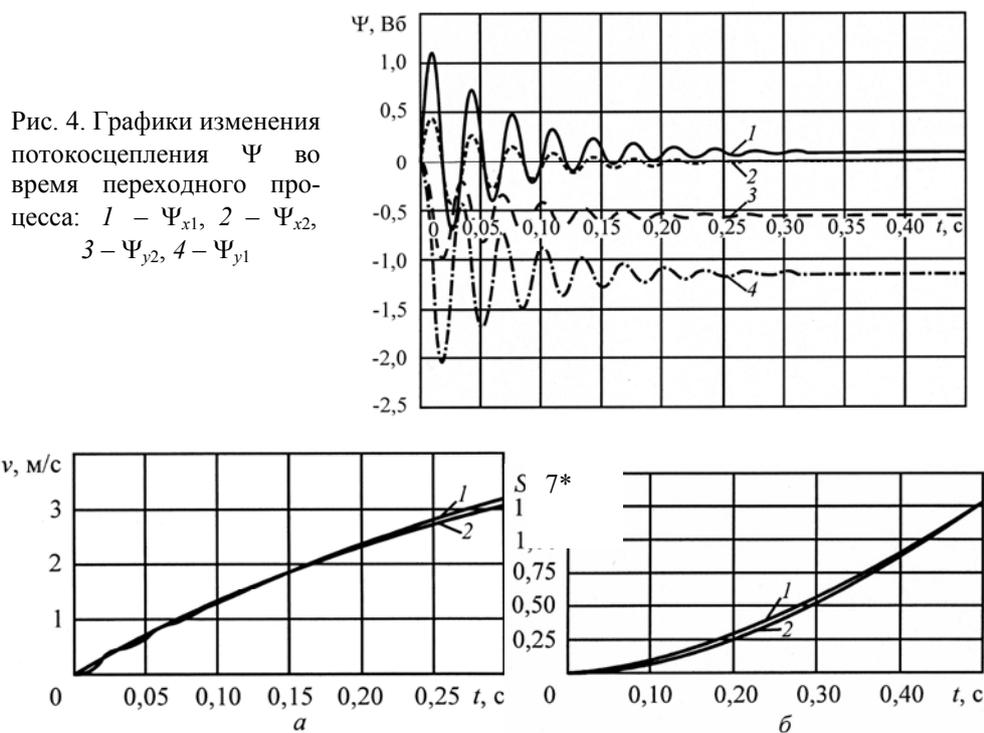


Рис. 4. Графики изменения потокосцепления Ψ во время переходного процесса: 1 – Ψ_{x1} , 2 – Ψ_{x2} , 3 – Ψ_{y2} , 4 – Ψ_{y1}

Рис. 5. Графики изменения скорости (а) и перемещения (б) вторичного элемента с учетом (1) и без учета (2) электромагнитных переходных процессов

Таким образом, наиболее приемлемым способом регулирования скорости (прежде всего с точки зрения энергетических показателей) является частота регулирования питающей сети.

Выводы

1. На основе анализа конструкций линейных асинхронных электродвигателей с точки зрения использования их в качестве привода исполнительных устройств для торцевания пиломатериалов предложен ЦЛАД.

2. Разработана методика расчета ЦЛАД с массивным ферромагнитным вторичным элементом; обоснованы его параметры с расчетными показателями тягового усилия, перемещения и скорости выполнения операций.

3. Решены уравнения движения вторичного элемента с учетом сил трения на холостом ходу и при различных нагрузках; получены зависимости перемещения вторичного элемента от нагрузки, учитывающие время разгона и характер перемещения при различных нагрузках, а также временные зависимости потокосцепления с учетом электромагнитных переходных процессов.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Веселовский, О.Н.* Линейные асинхронные двигатели [Текст] / О.Н. Веселовский. – М.: Энергоатомиздат, 1991. – 256 с.
2. *Копылов, Б.К.* Электрические машины [Текст] / Б.К. Копылов. – М.: Высш. шк. – М.: Логос, 2000. – 607 с.
3. *Соколов, М.М.* Электропривод с линейными асинхронными двигателями [Текст] / М.М. Соколов, Л.К. Сорокин. – М.: Энергия, 1974. – 136 с.

Поступила 31.10.07

A.E. Alekseev, V.P. Emeljanov, N.I. Markin
Arkhangelsk State Technical University

Investigation of Linear Drive Parameters of Cutting Angle for Swing Butt Device

Parameters of linear electric drive with design indices of drag force, operation progress and speed with reference to butting angle are justified.

Keywords: trimmer, linear drive.

УДК 674.053:621.934

В.К. Пашков, С.В. Щепочкин

Уральский государственный лесотехнический университет

Пашков Валентин Кузьмич родился в 1933 г., окончил в 1955 г. Ленинградскую лесотехническую академию, доктор технических наук, профессор кафедры станков и инструментов Уральского государственного лесотехнического университета. Имеет около 300 печатных работ в области теплофизики резания древесины.

Тел.: (343) 262-97-33



Щепочкин Сергей Владимирович родился в 1981 г., окончил в 2003 г. Уральский государственный лесотехнический университет, старший преподаватель кафедры станков и инструментов УГЛТУ. Имеет 16 печатных работ в области теплофизики резания древесины.

E-mail: art-sit@yandex.ru



О ТЕПЛОВОМ БАЛАНСЕ ПРОЦЕССА РЕЗАНИЯ ДРЕВЕСИНЫ КРУГЛЫМИ ПИЛАМИ

В тепловом балансе резания древесины круглыми пилами экспериментально определена расходная часть теплоты, отводимая стружкой и заготовкой.

Ключевые слова: тепловой баланс, круглая пила, температура, стружка.

Распределение температуры в зоне резания характеризуется уравнением теплового баланса

$$Q_1 + Q_2 + Q_3 + Q_4 = q_1 + q_2 + q_3 + q_4 + q_5, \quad (1)$$

где Q_1, Q_2, Q_3, Q_4 – теплота, выделяющаяся в плоскости стружкообразования в результате пластической деформации и разрушения древесины и от сил трения соответственно по передней, задней и боковым поверхностям лезвия;

q_1, q_2, q_3, q_4, q_5 – стоки отводимой теплоты из зоны резания стружкой, инструментом, обрабатываемой заготовкой в окружающую среду и приграничные слои соответственно по задней и передней поверхностям лезвия.

Особенности тепловых процессов в связи с деформированием древесины пилами изучены недостаточно. Теплота, образующаяся при деформировании, как и физические явления, происходящие при этом, не учитываются. Вместе с тем следует отметить, что сведения о калориметрических измерениях составляющих расходной части теплового баланса отсутствуют.

Наиболее подробно вопросы теплового баланса при резании рассмотрены в работе [3], где основным источником теплоты считается трение по поверхностям контакта лезвия с древесиной. Теплота деформации не рассматривается из-за ее относительной малости.

Известно [3], что вся теплота от трения, возникающая при резании древесины, в виде одностороннего потока поступает в инструмент из-за низкой тепло- и температуропроводности древесины. Для оценки интенсивности тепловых потоков от трения передней Q_2 и задней Q_3 поверхностей

в работе [4] экспериментально определены формы эпюр и значения удельных сил трения по поверхностям лезвия для продольного $\tau(l)_{//}$, поперечного $\tau(l)_{\#}$ и торцевого $\tau(l)_{\perp}$ резания.

В работах [4, 6] приведена качественная оценка относительной значимости составляющих теплового баланса при резании. Авторы [4] считают, что через зуб (резец) инструмента отводится относительно небольшая доля теплоты из общего баланса. В работе [6] выполнен расчет количества теплоты, поступающей в диск пилы (без учета теплоты, идущей на нагрев режущей части) для конкретных условий распиловки дубовых досок. Мощность резания и эквивалентное количество теплоты составляют соответственно 2,9 кВт и 0,695 ккал/с (2898 Вт). Количество теплоты, необходимое для поддержания теплового состояния диска пилы, $Q_d = 0,156$ ккал/с (650 Вт) или 22 % от общего количества эквивалентной тепловой мощности процесса (от 0,695 ккал/с (2898 Вт)).

По результатам исследований [2] были сделаны следующие выводы:

при контакте поверхности зубьев пилы с древесиной на их нагрев расходуется свыше 70 % общего количества эквивалентной тепловой мощности при резании;

большая часть этой теплоты (из 70 %) распространяется через режущую часть пилы (зубья) в окружающую среду путем теплового излучения и теплоотдачи;

доля теплоты, нагревающей диск, составляет 7,5...15,0 % от расходуемой на нагрев пилы или 5,25...10,50 % от общего количества теплоты, эквивалентной мощности на резание.

Оценки интенсивности тепловых потоков хотя и одного порядка, но количественно существенно различаются. Это можно объяснить принятым законом распределения температуры, числом кольцевых участков, на которые разбивается диск при расчете [6], ограниченным количеством точек измерения температуры.

При разбиении диска на 40 кольцевых участков вместо 4 [6], известном интегральном коэффициенте теплоотдачи $\alpha_p = 4,83$ Вт/°С [10] и температурном напоре $\vartheta_{\gamma+1} = 60$ °С поток теплоты, отдаваемой в окружающую среду при стационарном температурном поле [10],

$$Q_d = \alpha_p \vartheta_{\gamma+1} = 4,83 \cdot 60 = 290 \text{ Вт.} \quad (2)$$

Интегральный коэффициент теплоотдачи – это величина, численно равная количеству теплоты, расходуемой на нагревание диска пилы на 1 °С в установившемся тепловом режиме. Интегральные коэффициенты для всех типоразмеров круглых плоских пил по ГОСТ 980–80 приведены в [8]. Доля теплоты Q_d , расходуемой на поддержание стационарного теплового состояния диска, будет уже не 22 %, а $K = 290/2898 \cdot 100 \% = 10 \%$.

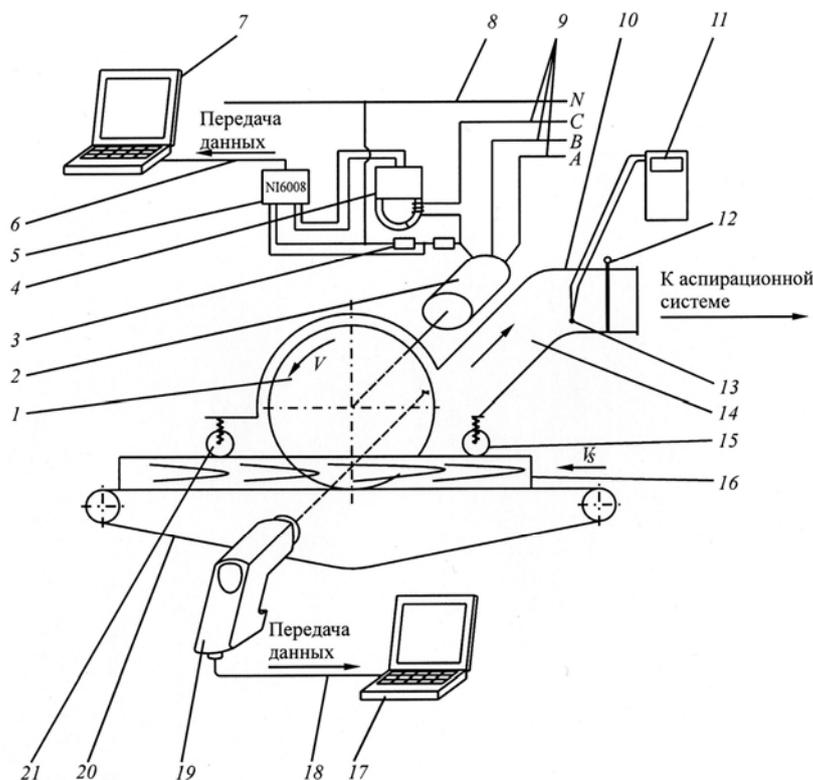
По результатам экспериментальных исследований [1, 10] установлено, что на спокойном воздухе доля теплоты Q_d , расходуемой на нагрев плоских пил с разведенным зубом, колеблется от 2,0 до 10,0 %, твердосплавных – от 0,6 до 2,0 %. Эти значения близки к результатам работы [2] – соответственно 7,5...15,0 и 5,25...10,50 %.

Наличие достоверной информации [1, 5, 7, 10] о расчете температурных полей и тепловых потоков дисков пил позволило определить количество теплоты $Q_{p.ч.}$, отводимой от режущей части пилы при резании. Соотношение $(Q_{p.ч.}/Q_d)100\%$ имеет устойчивое значение – 78 %.

Следовательно в рассматриваемом примере при $Q_d = 290$ Вт (22 %) количество теплоты, отводимой через режущую часть, $Q_{p.ч.} = (78/22)290 = 1028$ Вт.

Для оценки доли теплоты, отводимой стружкой Q_c из зоны резания, необходимо знать достоверную информацию о ее температуре. С этой целью были поставлены два многофакторных эксперимента ПФЭ 2^k . Как известно, количество теплоты, выделяющейся в зоне резания, является эквивалентом мощности на резание, которая в свою очередь зависит от многих факторов. Первостепенное влияние на мощность при резании оказывают высота пропила и скорость подачи. Поэтому изучали зависимость температуры стружки от двух факторов: высоты пропила (толщина заготовки) h и скорости подачи V_s .

Распиловки выполняли на экспериментальной установке, созданной на базе прирезного станка ЦДК-4. Блок-схема измерительной системы установки представлена на рисунке.



В качестве постоянных были приняты следующие факторы: обрабатываемый материал – древесина сосны, ее влажность $W = (10 \pm 2) \%$, частота вращения пилы $n = 2940 \text{ мин}^{-1}$, температура окружающего воздуха $t_{\text{окр}} = 19,9 \text{ }^\circ\text{C}$.

Первый эксперимент – пиление стальной пилой (ГОСТ 980–80): диаметр $D = 300 \text{ мм}$, толщина $s = 2,0 \text{ мм}$, число зубьев $z = 48$, уширение зубчатого венца на сторону $\Delta s = 0,6 \text{ мм}$, передний угол $\gamma = 22^\circ$, задний угол $\alpha = 26^\circ$, угол заострения $\beta = 42^\circ$.

Второй эксперимент – пиление твердосплавной пилой (ГОСТ 9769–79): $D = 300 \text{ мм}$, $s = 2,2 \text{ мм}$, $z = 48$, $\Delta s = 0,5 \text{ мм}$, $\gamma = 20^\circ$, $\alpha = 17^\circ$, $\beta = 53^\circ$.

При проведении эксперимента устанавливали требуемый типоразмер пилы 1, прижимной суппорт станка (прижимные вальцы 15, 21) настраивали на необходимую толщину распиливаемого материала 16, а механизм подачи 20 – на необходимую скорость подачи, инфракрасный пирометр 19 крепили против окружности впадин зубьев пилы, в патрубок 10 через отверстие вводили хромель-алюмелевую термопару 13, подключенную к электронному измерителю температуры 11. В момент включения станка и аспирационной системы заслонка 12 должна находиться в открытом положении. Затем включали измерительные приборы: пирометр 19, передающий значения температуры диска пилы на компьютер 17; измеритель температуры 11, на дисплей которого выводится текущее значение температуры стружки 14; токовые клещи 4 и цифровой осциллограф 5, передающий данные о напряжении и токе, которые поступают на электродвигатель 2 механизма резания. С этого времени и до окончания опыта регистрируют температуру стружки в патрубке 10, температуру диска пилы на окружности впадин зубьев и электрическую активную мощность, потребляемую электродвигателем механизма резания.

Затем в станок без межторцовых разрывов подавали сосновые заготовки длиной 1,5 м. После достижения момента стабилизации температуры, который определялся окончанием роста температуры диска пилы на окружности впадин зубьев по пирометру, выключалась аспирационная система (отсос стружки), закрывалась заслонка и патрубок заполнялся стружкой. Температуру стружки фиксировали на дисплее измерителя температуры. За измеренное значение температуры стружки принимали максимальную температуру на дисплее измерителя. Как только заканчивался рост температуры стружки и начиналось ее остывание, опыт прекращали.

Матрицы планирования и результаты экспериментов при пилении круглой стальной пилой и круглой твердосплавной пилой приведены в табл. 1.

По результатам опытов (табл. 1) были построены математические модели зависимости температуры стружки от изучаемых факторов [9] при пиление стальной пилой:

$$\vartheta_c = 17,79 + 0,752h + 0,276V_S - 0,01hV_S; \quad (3)$$

Таблица 1

**Матрица планирования и результаты эксперимента
при пилении круглыми пилами**

Значения факторов				Температура, °С		Мощность резания, $N_{рез}$, кВт
натуральные		нормализованные		стружки ϑ_c	на периферии диска пилы ϑ_d	
$h \cong x_1$, м	$V_S \cong x_2$, м/мин	x_1	x_2			
Стальная пила						
0,0270	15	-1	-1	38,1	28,5	2,250
0,0492	15	+1	-1	51,4	31,2	4,930
0,0270	30	-1	+1	38,1	29,0	3,423
0,0492	30	+1	+1	48,0	35,9	8,032
Твердосплавная пила						
0,0270	15	-1	-1	36,4	28,4	1,800
0,0492	15	+1	-1	47,1	33,5	4,443
0,0270	30	-1	+1	36,7	32,8	3,136
0,0492	30	+1	+1	45,6	33,7	7,145

твердосплавной пилой:

$$\vartheta_c = 20,9 + 0,563h + 0,166V_S - 0,005hV_S. \quad (4)$$

Количество теплоты Q_c , отводимой стружкой, определяли по формуле [11]

$$Q_c = C_p \rho V_c \Delta\vartheta_c, \quad (5)$$

где C_p – теплоемкость сухой древесины сосны, $C_p = 2,0$ кДж/(кг·°С);

ρ – плотность древесины сосны, $\rho = 500$ кг/м³;

V_c – секундный объем срезаемых стружек, м³/с,

$$V_c = V_S b h / 60;$$

b – ширина пропила, м;

h – высота пропила (толщина заготовки), м;

$\Delta\vartheta_c$ – нагрев стружки, °С,

$$\Delta\vartheta_c = (\vartheta_c - t_{окр}).$$

Доля мощности резания, идущая на нагрев стружки,

$$k = \frac{Q_c}{N_{рез}}. \quad (6)$$

Результаты расчетов (по формулам (5), (6)) количества теплоты, отводимой стружкой, и доли мощности резания, идущей на нагрев стружки, приведены в табл. 2.

Математические модели доли мощности резания, идущей на нагрев стружки, в зависимости от высоты пропила и скорости подачи в натуральных значениях факторов при пилении стальной пилой:

$$k = -0,01348 + 5,892 \cdot 10^{-3} h + 7,5 \cdot 10^{-3} V_S - 1,129 \cdot 10^{-4} h V_S; \quad (7)$$

твердосплавной пилой:

$$k = 0,14245 + 1,802 \cdot 10^{-3} h + 1,789 \cdot 10^{-3} V_S + 3 \cdot 10^{-5} h V_S. \quad (8)$$

Таблица 2

Расчет количества теплоты, отводимой стружкой

h , м	V_S , м/мин	ϑ_c , °С	b , м	V_c , м ³ /с	Q_c , кДж/с	$N_{рез}$, кВт	k
Стальная пила							
0,0270	15	38,1	0,00389	$2,63 \cdot 10^{-5}$	0,478	2,250	0,212
0,0492	15	51,4	0,00389	$4,78 \cdot 10^{-5}$	1,507	4,930	0,306
0,0270	30	38,1	0,00389	$5,25 \cdot 10^{-5}$	0,956	3,423	0,279
0,0492	30	48,0	0,00389	$9,57 \cdot 10^{-5}$	2,689	8,032	0,335
Твердосплавная пила							
0,0270	15	36,4	0,00372	$2,51 \cdot 10^{-5}$	0,414	1,800	0,230
0,0492	15	47,1	0,00372	$4,58 \cdot 10^{-5}$	1,245	4,443	0,280
0,0270	30	36,7	0,00372	$5,02 \cdot 10^{-5}$	0,844	3,136	0,269
0,0492	30	45,6	0,00372	$9,15 \cdot 10^{-5}$	2,352	7,145	0,329

Выполненные по формуле (5) расчеты показали, что Q_c и $Q_{заг}$ составляют соответственно 1,6 кДж/с (1600 Вт) и 0,094 кДж/с (94 Вт).

Исследуя расходную часть теплового баланса, можно сделать следующие выводы:

сток теплоты из зоны резания в стружку $q_1 = Q_c = 1600$ Вт;

сток теплоты в инструмент для прогрева лезвия зуба и корпуса инструмента $q_2 = Q_{p.ч} + Q_d$ (на прогрев инструмента требуется 1,5...2,0 мин); эта часть теплоты имеет постоянное значение для установившегося теплового режима $q_2 = 290 + 1028 = 1318$ Вт (температура прогрева 11...15 Вт);

сток теплоты в обрабатываемую заготовку $q_3 = 94$ Вт;

сток теплоты в окружающую среду для установившегося теплового режима через инструмент $q_4 = Q_{p.ч} + Q_d = 1318$ Вт;

теплота расходной части уравнения (1) $\sum_{i=1}^5 q_i = 3012$ Вт $>$ $\sum_{i=1}^5 Q_i = 2898$ Вт;

относительная ошибка расчета $\varepsilon_{\Sigma q} = (2898 - 3012) / 2898 = 0,039$ или 3,9 %;

доля теплоты, отводимая из зоны резания через инструмент, для пил стальных с разведенным зубом $q_4 / Q_{общ} = 1318 / 2898 = 0,45$ или 45 %;

высота пропила оказывает наибольшее влияние на температуру стружки и количество теплоты, отводимой стружкой;

при равных условиях мощность, затрачиваемая на резание при пилении твердосплавной пилой, на 8...20 % меньше, чем стальной с разведенным зубом;

необходимо проведение дополнительных калориметрических исследований расходной части теплового баланса при пилении круглыми пилами.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Исследование нагрева дисков пил при пилении в зависимости от технологических факторов и конструктивных параметров пил [Текст]: отчет о НИР / УЛТИ; рук. В.К. Пашков. – Тема 12/69 ; ГР 69014442. – Свердловск, 1969. – 112 с.
2. Конов, В.Н. Исследование влияния тепловых явлений на работоспособность круглых дереворежущих пил [Текст]: автореф. дис. ... канд. техн. наук (13.00.01) / Конов Виктор Николаевич ; СПбЛТА. – СПб., 1979. – 26 с.
3. Лейхтлинг, Р.А. Исследование нагрева дереворежущего инструмента в процессах резания [Текст]: автореф. дис. ... канд. техн. наук : (13.00.01) / Лейхтлинг Роберт Адольфович ; Сибирский технолог. ин-т. – Красноярск, 1967. – 23 с.
4. Моисеев, А.В. Износостойкость дереворежущего инструмента [Текст] / А.В. Моисеев. – М.: Лесн. пром-сть, 1981. – 110 с.
5. Пашков, В.К. Номограммы для расчета тепловых полей охлаждаемых дисков пил [Текст] / В.К. Пашков, А.С. Красиков // Станки и инструменты деревообрабатывающих производств. – Л.: ЛТА, 1986. – С. 61 – 65.
6. Пашков, В.К. О количестве теплоты, идущей на нагрев дисковых пил [Текст]: сб. науч. тр. / В.К. Пашков. – Свердловск: УЛТИ, 1969. – Вып. 20. – С. 190 – 195.
7. Пашков, В.К. Тепловое поле вращающегося охлаждаемого диска пилы [Текст] / В.К. Пашков, А.С. Красиков // Станки и инструменты деревообрабатывающих производств. – Л.: ЛТА, 1984. – С. 48 – 51.
8. Пашков, В.К. Теплофизика резания древесины круглыми пилами [Текст]: моногр. / В.К. Пашков. – Екатеринбург: УГЛТУ, 2007. – 311 с.
9. Пижурич, А.А. Исследования процессов деревообработки [Текст] / А.А. Пижурич, М.С. Розенблит. – М.: Лесн. пром-ть, 1984. – 232 с.
10. Разработка номографического метода расчета температурных перепадов в дисках круглых пил [Текст]: отчет о НИР / УЛТИ; рук. В.К. Пашков. – Тема 47/68; ГР 68034143. – Свердловск, 1968. – 71 с.
11. Уголев, В.Н. Испытания древесины и древесных материалов [Текст] / В.Н. Уголев. – М.: Лесн. пром-сть, 1965. – 251 с.

Поступила 29.11.08

V.K. Pashkov, S.V. Shchepochkin
Ural State Forest-Engineering University

On Heat Balance of Wood Cutting Process by Circular Saws

The charge part of heat produced by shaving and workpiece is experimentally determined in the heat balance of wood cutting by circular saws.

Keywords: heat balance, circular saw, temperature, shavings.



ХИМИЧЕСКАЯ ПЕРЕРАБОТКА ДРЕВЕСИНЫ

УДК 630*867.5

И.К. Гиндулин¹, С.В. Еранкин², Ю.Л. Юрьев¹, В.Т. Суриков³¹Уральский государственный лесотехнический университет²Институт органического синтеза УрО РАН³Институт химии твердого тела УрО РАН

Гиндулин Ильдар Касимович – аспирант кафедры химической технологии древесины Уральского государственного лесотехнического университета.

E-mail: htd@sky.ru



Еранкин Сергей Владимирович – младший научный сотрудник лаборатории органических материалов Института органического синтеза УрО РАН.



Юрьев Юрий Леонидович родился в 1950 г., окончил в 1972 г. Архангельский лесотехнический институт, кандидат технических наук, профессор, заведующий кафедрой химической технологии древесины Уральского государственного лесотехнического университета. Имеет более 60 печатных работ в области термохимической переработки древесины.

E-mail: htd@sky.ru



Суриков Владимир Трофимович – старший научный сотрудник лаборатории физико-химических методов анализа Института химии твердого тела УрО РАН.

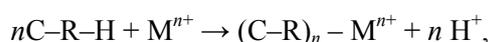
**КАТИОНООБМЕННЫЕ СВОЙСТВА
ДРЕВЕСНОГО ОКИСЛЕННОГО УГЛЯ**

Исследованы сорбционные свойства древесных окисленных углей, полученных из углей марки БАУ-А; установлены их статическая и динамическая обменные емкости по катионам металлов.

Ключевые слова: сорбент, обменная емкость, катионообменник.

Способность древесных окисленных углей (ДОУ) к сорбции катионов металлов, как особенность, отличающая их от обычных активных углей, отмечалась уже в первых работах, посвященных изучению этих сорбентов [1]. В дальнейшем было показано, что адсорбционная активность по отношению к металлам обусловлена наличием на поверхности ДОУ большого количества групп кислотного характера, различающихся не только составом (карбоксильные, фенольные, гидроксильные), но и способностью к ионизации (рК диссоциации в пределах 2...10). Катионы металлов замещают водород в этих поверхностных функциональных группах по схеме обычного эквивалентного ионного обмена:

Рис.1. Зависимость СОЕ угля от продолжительности контакта в нейтральной среде: 1 – Fe³⁺; 2 – Ni²⁺; 3 – Fe²⁺; 4 – Pb²⁺; 5 – Zn²⁺; 6 – Al³⁺; 7 – Co²⁺

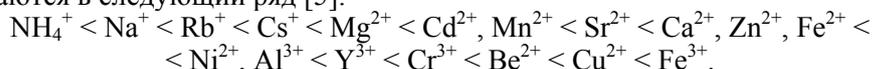


где M^{n+} – катион металла.

Такой несложный обмен имеет место только для однозарядных катионов щелочных металлов. При взаимодействии с двухзарядными ионами магния и щелочноземельных металлов эквивалентность обмена сохраняется, но уже возможно упрочнение связей M^{n+} – уголь за счет дополнительного координационного взаимодействия с поверхностными функциональными группами при образовании поверхностных комплексов.

Эта тенденция усиливается в процессе обмена ионов переходных металлов и тем в большей степени, чем большую склонность к комплексообразованию с карбоксильными, фенольными и другими группами проявляют соответствующие ионы [6].

По способности поглощаться окисленными углями катионы располагаются в следующий ряд [5]:

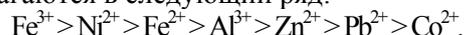


Высокая селективность ДООУ, проявляющаяся во множестве систем, обусловлена строением их поверхности, возможностью образования при сорбции многозарядных ионов поверхностных хелатов с существенно различной прочностью связей M^{n+} – уголь [3].

Свойства окисленных углей и, прежде всего, их высокая ионообменная селективность могут быть эффективно использованы на практике для избирательного выделения и концентрирования микропримесей (получение и анализ высокочистых препаратов, очистка технологических растворов, выделение и разделение радиоизотопов и др.). Перспективно использование термически и химически устойчивых углеродных материалов в качестве матрицы катализаторов [5].

Для исследования сорбционных характеристик ДООУ нами был использован уголь, полученный ранее [2] (количество кислородсодержащих функциональных групп – 2,5 мг-экв/г, удельная поверхность – 790 м²/г); изучены его статическая (СОЕ) и динамическая (ДОЕ) обменные емкости по катионам металлов.

Результаты исследования статической обменной емкости ДООУ по катионам металлов в нейтральной среде приведены на рис. 1. По величине СОЕ эти катионы располагаются в следующий ряд:



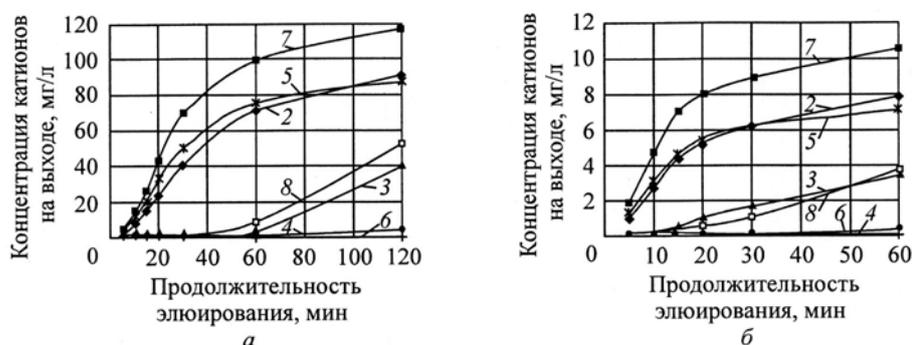


Рис. 2. Зависимость концентрации катионов металлов в растворе на выходе из колонки от продолжительности элюирования при pH ~ 2 (а) и ~ 7 (б): 8 – Cu^{2+} (остальные обозначения см. на рис. 1)

Максимального значения СОЕ угля по всем катионам, кроме Ni^{2+} , достигает за 30 мин. В соответствии с имеющимися данными по распределению водорастворимых форм катионов металлов в зависимости от pH [4] можно предположить, что при pH ~ 7 большая часть катионов никеля, железа и меди сорбируется на поверхности ДОУ в форме дегидратированных ионов, остальные – в форме ацидокомплексов. Катионы цинка сорбируются на поверхности ДОУ в виде дегидратированных ионов.

В таблице и на рис. 2 показана зависимость концентрации катионов Al^{3+} , Fe^{2+} , Co^{2+} , Ni^{2+} , Cu^{2+} , Zn^{2+} , Pb^{2+} и Na^+ в растворе на выходе из колонки от продолжительности элюирования при pH ~ 2 и ~ 7.

Динамическая обменная емкость ДОУ по катионам металлов

Продолжительность контакта, мин	Концентрация катиона на выходе из колонки, мг/л							
	Na^+	Al^{3+}	Fe^{2+}	Co^{2+}	Ni^{2+}	Cu^{2+}	Zn^{2+}	Pb^{2+}
Элюирование при pH ~ 2								
0*	99,9	0,600	89,00	111,60	94,00	77,900	87,40	43,200
5	42,3	0,005	0,67	3,58	1,66	0,038	3,17	0,020
10	69,8	0,006	0,50	14,00	6,90	0,128	10,60	0,016
15	80,0	0,006	0,36	25,70	14,00	0,210	19,10	0,016
20	83,7	0,006	0,33	42,60	23,00	0,533	32,40	0,016
30	87,5	0,008	0,31	69,30	40,00	0,596	50,00	0,100
60	89,9	0,092	3,20	99,30	71,00	8,370	75,40	1,120
120	91,4	0,530	39,78	110,60	91,00	52,800	87,50	3,600
Элюирование при pH ~ 7								
0*	9,1	0,900	9,70	11,50	9,00	9,870	7,96	0,730
5	6,5	0,002	0,04	1,70	0,84	0,000	1,04	0,002
10	7,2	0,002	0,03	4,57	2,60	0,050	3,00	0,003
15	7,6	0,013	0,38	6,97	4,30	0,200	4,50	0,005
20	7,8	0,034	0,95	7,90	5,20	0,460	5,40	0,009
30	8,1	0,090	1,65	8,90	6,20	1,000	6,20	0,028
60	8,9	0,360	3,54	10,70	8,00	3,800	7,20	0,141

* Исходные растворы с различной концентрацией катионов металлов

При pH ~ 2 сорбция катионов Al^{3+} и Pb^{2+} продолжается и по истечении 120 мин элюирования, тогда как сорбция Fe^{2+} и Cu^{2+} замедляется после 60 мин, а Co^{2+} , Zn^{2+} и Ni^{2+} – после 5 мин.

При нейтральном pH большая часть катионов Ni^{2+} , Fe^{2+} и Co^{2+} сорбируется на поверхности ДОУ в форме дегидратированных ионов, остальные – в форме ацидокомплексов. Лишь малая часть катионов сорбируется на поверхности ДОУ в виде гидроксокомплексов ($NiOH^+$, $FeOH^+$, $CuOH^+$). Катионы Zn^{2+} при pH ~ 2 сорбируются на поверхности ДОУ в виде дегидратированных ионов, при pH ~ 7 – частично в виде гидроксокомплекса $ZnOH^+$.

При pH ~ 7 сорбция катионов Al^{3+} и Pb^{2+} продолжается по истечении 120 мин элюирования, тогда как сорбция катионов Fe^{2+} и Cu^{2+} замедляется после 20 мин, а Co^{2+} , Zn^{2+} , Ni^{2+} и Na^+ – после 5 мин.

Результаты исследований показали эффективность использования ионообменных свойств ДОУ для извлечения катионов металлов из растворов, имеющих очень низкие или нейтральные значения pH. Следует отметить химическую устойчивость ДОУ при достаточно высокой сорбционной способности.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Дубинин, М.М. Поверхностные окислы и сорбционные свойства активных углей [Текст] / М.М. Дубинин // Успехи химии. – 1955. – 24, № 5. – С. 513–526.
2. Гиндулин, И.К. Исследование процесса окисления активного древесного угля кислородом воздуха [Текст] / И.К. Гиндулин [и др.] // Химия растительного сырья. – 2007. – №4. – С. 117–120.
3. Кузин, И.А. Получение и исследование свойств окисленного угля [Текст] / И.А. Кузин, Б.К. Страшко // Журнал прикладной химии. – 1966. – 39, № 3. – С. 603–608.
4. Очистка промышленных стоков от тяжелых металлов: учеб. пособие [Текст] / Н.И. Формазюк [и др.]. – Екатеринбург: УГТУ–УПИ, 2005. – 85 с.
5. Тарковская, И.А. Окисленный уголь [Текст]: учеб. пособие для вузов / И.А. Тарковская. – К.: Наук. думка, 1981. – 200 с.
6. Тарковская, И.А. Свойства и применение окисленных углей [Текст] / И.А. Тарковская, С.С. Ставицкая // Российский химический журнал. – 1995. – № 6. – С. 44–51.

Поступила 19.11.08

I.K. Gindulin¹, S.V. Erankin², Yu.L. Yurjev¹, V.T. Surikov³

¹Ural State Forest Engineering University

²Institute of Organic Synthesis Ural Branch RAS

³Institute of Chemistry of Solid Body Ural Branch RAS

Cation-exchange Properties of Oxidized Charcoal

Sorptive properties of oxidized charcoal produced from coal of BAU-A mark are investigated; their statistical and dynamic exchange capacities are set according to cations of metals.

Keywords: sorbent, exchange capacities, cation exchanger.

УДК 676.1.022

М.Ф. Кирюшина, Т.Г. Федулина, М.Я. Зарубин

С.-Петербургская государственная лесотехническая академия

Кирюшина Муза Фроловна родилась в 1934 г., окончила в 1957 г. Ленинградскую лесотехническую академию, кандидат химических наук, старший научный сотрудник кафедры органической химии С.-Петербургской государственной лесотехнической академии. Имеет более 60 печатных научных трудов, 5 авторских свидетельств на изобретения в области органической химии и химии древесины.
Тел.: (812) 550-06-98 доб. 361 или 362.



Федулина Татьяна Германовна родилась в 1951 г., окончила в 1973 г. Ленинградский государственный университет, кандидат химических наук, доцент кафедры органической химии С.-Петербургской государственной лесотехнической академии. Имеет более 50 печатных научных трудов в области органической химии и химии древесины.
E-mail: fedulin@home.ru.



Зарубин Михаил Яковлевич родился в 1930 г., окончил в 1954 г. Ленинградскую лесотехническую академию, доктор химических наук, профессор, заведующий кафедрой органической химии С.-Петербургской государственной лесотехнической академии, академик Международной академии наук о древесине, заслуженный деятель науки РФ. Имеет около 300 научных трудов в области органической химии и химии древесины.
Тел.: (812) 550-06-98 доб. 361 или 362.



ЩЕЛОЧНАЯ ВАРКА ДРЕВЕСИНЫ В ПРИСУТСТВИИ СОЕДИНЕНИЙ ФОСФОРА

Установлено положительное влияние добавок соединений фосфора (трифенилфосфин, трибутилфосфин и фосфат натрия) при щелочной делигнификации древесины ели и осины на выход, содержание остаточного лигнина и степень полимеризации волокнистого продукта; для древесины сосны добавка фосфата натрия неэффективна.

Ключевые слова: модельные соединения, β-эфирная связь, фенилглюкозид, целлобиоза, целлюлоза, лигнин молодой древесины ели, древесина ели, осины и сосны, щелочная варка, трифенилфосфин, трибутилфосфин, фосфат натрия.

Один из самых простых путей совершенствования варки целлюлозы из древесины, не требующих принципиальных изменений технологического оборудования и режимов, – введение в традиционные варочные растворы дополнительных реагентов, способствующих делигнификации и стабилизации полисахаридов древесины. Исходя из принципов предложенной нами ранее концепции о делигнификации древесины [11, 12, 16], такими реагентами могут быть электроно-донорные и электроно-акцепторные соединения, обладающие свойствами «мягких» оснований или кислот [10, 14]. В частности, донорами электронов со свойствами «мягких» оснований, согласно Пирсону, являются производные фосфора, которые по параметрам «жесткости–мягкости» близки сульфидам, гидросульфидам и иодидам [10, 15].

Эффект иодидов был подтвержден нами при щелочных варках древесины в присутствии NaI и CH_3I [3].

Данная работа посвящена изучению влияния трифенилфосфина (Ph_3P), трибутилфосфина (Bu_3P), а также фосфата натрия (Na_3PO_4) на щелочную делигнификацию древесины.

Условия проведения эксперимента с модельными соединениями лигнина, лигнин-углеводного комплекса и целлюлозы представлены в работах [1, 2, 13], экспериментальные результаты щелочной обработки лигнина молотой древесины ели и технической сульфатной целлюлозы из древесины сосны – в [4, 5]. Образцы древесины в виде щепы ели, осины и сосны с содержанием лигнина Класона соответственно 27,9; 20,5 и 26,6 % обрабатывали в автоклаве при жидкостном модуле 1:5 варочными растворами исследуемого состава при температуре 160 или 170 °С. Для варок использовали водные растворы гидроксида натрия (концентрация 1,250 моль/л) или смеси гидроксида и сульфида натрия (из расчета получения 30 %-й сульфидности белого щелока) с добавлением или без добавления в качестве электронодонорного реагента трифенилфосфина, трибутилфосфина или фосфата натрия (0,1...2,0 % от абс. сухой древесины). Было проанализировано влияние добавок на выход, содержание остаточного лигнина и степень полимеризации (СП) волокнистого продукта в каждой серии варок по сравнению с соответствующими показателями варок без добавок. Степень полимеризации рассчитывали по вязкости в растворе кадоксена [4].

Нами на модельных соединениях лигнина, лигнин-углеводного комплекса и целлюлозы было изучено влияние добавок тризамещенных фосфинов (Ph_3P , Bu_3P) на разрыв β -эфирной, фенилгликозидной и гликозидной связей (табл. 1).

Из данных табл. 1 следует, что в присутствии указанных добавок увеличивается константа скорости разрыва β -эфирной связи $K_{\text{ср}}$ в димерных моделях лигнина и заметно снижается энергия активации E_a этого процесса ($K_{\text{ср}}$ и E_a рассчитывали по [8]), что должно способствовать фрагментации лигнина по β -эфирным связям. Фенилгликозидная и гликозидная связи в исследуемых моделях сравнительно устойчивы, присутствие тризамещенных фосфинов не оказывает влияния на их разрыв, если сравнивать результаты щелочных обработок с добавкой и без добавки.

Аналогичный эффект проявляют замещенные фосфины (Ph_3P , Bu_3P) по отношению к лигнину молотой древесины ели (ЛМД_Е) и целлюлозе. Деструкция ЛМД_Е возрастает в присутствии Bu_3P . При варке [5] ЛМД_Е в растворе с концентрацией NaOH, равной 1,250 моль/л (жидкостный модуль 1:100, температура 170 °С, продолжительность 2 ч), выход низкомолекулярных продуктов (мономеры и димеры) составил: без добавки Bu_3P – 10,78 %, а с добавкой (0,016 моль/л) – 35,70 %, в том числе мономеров 12,38 %; содержание фенольных гидроксильных групп возросло с 5,51 до 5,91 % (определено методом дифференциальной УФ-спектроскопии [6]).

8 Влияние добавок трифенил- и трибутилфосфина на энергию активации и скорость разрыва связей в модельных соединениях лигнина, фенилглюкозиде и целлобиозе

Таблица 1

Показатель	Модель лигнина (0,0328 моль/л)			Фенил-β-D- глюкопиранозид (0,039 моль/л)	Целлобиоза (0,030 моль/л)
	A	B	C		
Энергия активации E_a , кДж/моль	160	144	164	107	32
	123	117	138	106	32
Средняя константа скорости $K_{cp} \cdot 10^4$, мин ⁻¹ :					
	23,94	25,67	19,82	4,26	5,03
K_1	81,67	61,60	19,30	4,26	5,03
	5,23	6,50	4,15	0,87	2,79
K_2	25,38	20,23	62,36	0,87	2,79
	1,02	1,49	0,75	–	–
K_3	7,24	6,11	18,56	–	–

Примечания. 1. А – 1-(3-метокси-4-гидроксифенил)-1-гидрокси-2-(2'-метоксифеноксид)-пропан, В – 1-(3, 4-диметоксифенил)-1-гидрокси-2-(2'-метоксифеноксид)-пропан, С – 1-(3, 4-диметоксифенил)-2-(2'-метоксифеноксид)-пропан-1-он. 2. При натронных варках соединений А, В и С без добавок концентрация NaOH составляла 1,25 моль/л, а с добавками фосфинов (0,016 моль/л) – 1,234 моль/л. 3. При натронных варках фенилглюкозида и целлобиозы без добавок концентрация NaOH составляла 0,5 моль/л, а с добавками фосфинов (0,016 моль/л) – 0,484 моль/л. 4. В числителе приведены значения констант при натронных варках без добавок, а в знаменателе – с добавками. 5. Для А, В, С константы K_1 , K_2 и K_3 определены соответственно при температуре 170, 155 и 140 °С, для фенилглюкозида константы K_1 и K_2 – при 140 и 120 °С, для целлобиозы – при 50 и 35 °С.

Деструкцию целлюлозы оценивали по выходу и степени полимеризации нерастворившегося после обработки целлюлозного остатка. Согласно полученным данным, влияние трифенил- и трибутилфосфина незначительно при обработке в течение 30 мин при температуре 170 °С. Так, выход и СП целлюлозного остатка в водном растворе NaOH (расход 1,250 моль/л) без добавки составляют 79,9 % и 960, а в присутствии трибутилфосфина – соответственно 78,4 % и 900 [6].

Из приведенных выше данных (табл. 1) видно, что трифенил- и трибутилфосфин даже в незначительных количествах способствуют разрыву β-эфирных связей в лигнине и мало влияют на разрыв гликозидных связей в целлюлозе.

Щелочные варки древесины с добавкой тризамещенных фосфинов (0,1...1,0 % от а.с.д.) подтвердили высокую способность этих добавок уско-

рять процесс делигнификации древесины [9]. При этом повышается выход целлюлозы и избирательность процесса делигнификации, сокращается его продолжительность.

Таблица 2

**Результаты щелочных варок древесины ели и осины
в присутствии трибутилфосфина**

Показатель	Значение показателя при добавке Bu_3P , %						
	0	0,10	0,25	0,50	0,75	1,00	2,00
Древесина ели							
Выход, %	43,8	43,7	–	46,3	45,6	44,3	44,3
	47,7	47,4	47,5	–	47,8	46,9	47,0
Остаточный лигнин, %	5,7	5,6	–	5,7	5,9	4,6	4,6
	4,8	4,5	3,7	–	3,8	4,5	4,5
Степень полимеризации	1310	1320	–	1500	1600	1460	1440
	2095	2095	2100	–	2330	1940	1975
Древесина осины							
Выход, %	50,9	50,5	50,4	50,8	51,6	51,3	51,8
	54,2	53,8	53,3	54,1	53,5	53,5	53,0
Остаточный лигнин, %	4,8	1,4	1,3	1,3	1,2	1,1	1,1
	1,2	1,2	1,1	1,0	1,0	1,0	1,0
Степень полимеризации	1765	1780	1835	1860	1805	1775	1780
	2225	1990	2015	2270	2290	2085	2115

Примечание. В числителе приведены данные для натронных варок с расходом щелочи 22 %, в знаменателе – для сульфатных варок с расходом активной щелочи 20 % ($\text{NaOH} + 27 \% \text{Na}_2\text{S}$).

Наиболее благоприятный эффект наблюдается (табл. 2) при расходе трибутилфосфина 1...2 % от а.с.д. При этом в случае натронной варки выявлена тенденция к повышению выхода, снижению остаточного лигнина древесины ели, увеличению СП волокнистого продукта. Для древесины осины тенденция к повышению выхода выражена слабее, а к снижению содержания остаточного лигнина – сильнее. При сульфатной варке как ели, так и осины влияние фосфина перекрывается действием большого избытка сульфида натрия. В целом трибутилфосфин более эффективен для древесины ели, чем для осины.

Другой реагент, содержащий фосфор, – фосфат натрия, заметно способствует снижению содержания остаточного лигнина при варке, особенно, осины. Добавка фосфата натрия в тех же количествах, что трибутилфосфина, также мало влияет на выход волокнистого продукта, хотя некоторая тенденция к повышению наблюдается при его расходе 1...2 % от а.с.д. Присутствие фосфата натрия при варке древесины сосны не ускоряет делигнификацию и не повышает выход волокнистого продукта (табл. 3).

Тризамещенный фосфин и фосфат-анион – «мягкие» основания и должны благоприятствовать разрыву некоторых лигнинных связей, если судить по содержанию мономерной и димерной фракций в продуктах деструкции лигнина молотой древесины после его обработки щелочью

Таблица 3

8* **Результаты натронных варок древесины ели, осины и сосны в присутствии фосфата натрия**

Показатель	Значение показателя при добавке Na ₃ PO ₄ , %								
	0	0,005	0,01	0,10	0,25	0,50	1,00	1,50	2,00
Древесина ели									
Выход, %	45,19	–	46,30	46,00	46,86	44,78	45,31	45,35	45,41
	–		–	–	–	–	–	–	–
Остаточный лигнин, %	7,99	–	7,27	6,42	6,30	7,43	6,91	6,68	6,80
	–		–	–	–	–	–	–	–
Древесина осины									
Выход, %	52,25	52,26	–	51,68	–	52,33	51,55	52,12	52,38
	56,88	56,41		55,77		56,41	57,02	56,28	56,58
Остаточный лигнин, %	2,57	2,55	–	1,27	–	1,08	1,16	1,16	1,30
	3,83	3,05		1,78		1,72	1,73	2,71	3,02
Древесина сосны									
Выход, %	46,37	47,35	–	47,06	–	46,92	–	–	–
	47,10	–		–		–	47,62	47,70	47,72
Остаточный лигнин, %	10,20	10,14	–	9,56	–	8,82	–	–	–
	10,08	–		–		–	10,42	10,47	10,50

Примечание. Для древесины ели и осины в числителе приведены данные по варкам с расходом щелочи 25 %, в знаменателе – 20 %; для сосны (расход NaOH – 25 %): в числителе – данные серии 1, в знаменателе – серии 2.

с добавкой фосфина [5] и поведению β-эфирной связи в димерных моделях лигнина [13]. Вероятно, поэтому добавка тризамещенного фосфина, как и фосфата, заметнее сказывается на снижении содержания остаточного лигнина в волокнистом продукте, а не на его выходе. Различия в эффекте влияния замещенных фосфинов и фосфат-аниона на делигнификацию древесины, по-видимому, обусловлены тем, что первые по своим параметрам «мягкости» близки к сульфиду, гидросульфиду и иодиду [15], тогда как фосфат-анион проявляет себя как более «жесткое», по сравнению с фосфинами, основание. Для повышения выхода добавляемый реагент должен стабилизировать углеводную часть древесины. Вероятно, данные соединения фосфора в исследуемых количествах не обеспечивают стабилизации полисахаридов древесины.

Выводы

Добавка в водные щелочные варочные растворы электронодонорных соединений, обладающих свойствами «мягких» оснований (трифенилфосфин, трибутилфосфин, фосфат натрия), в количестве 1...2 % способствует растворению лигнина, но слабо отражается на выходе волокнистого продукта. Эффект зависит от породы древесины. Проверяемая нами концепция о роли кислотно-основных взаимодействий в процессе делигнификации справедлива. Эффект введения добавок может быть увеличен за счет проведения варок в среде водных органических растворителей, аналогично варкам с иодидом натрия [7].

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Беннасер, Э.-М. Влияние «жестких» и «мягких» оснований и систем органических растворителей на скорость расщепления фенол-β-D-глюкозидной связи [Текст] / Э.-М. Беннасер, М.Ф. Кирюшина, М.Я. Зарубин // Химия древесины. – 1987. – № 2. – С. 59–70.
2. Влияние природы оснований на скорость расщепления гликозидной связи в целлюлозе [Текст] / Э.-М. Беннасер [и др.] // Химия древесины. – 1988. – № 4. – С. 70–73.
3. Делигнификация древесины в растворах гидроксида натрия с добавкой йодсодержащих реагентов [Текст] / М.Ф. Кирюшина [и др.] // Материалы 4-го Междунар. симп. РКСД «Строение, свойства и качество древесины'04». – СПб, 2004. – Т. 1. – С. 244–246.
4. Деструкция целлюлозы в растворах повышенной основности [Текст] / М.Ф. Кирюшина [и др.] // Химия древесины. – 1991. – № 1. – С. 38–42.
5. Ермакова, М.И. Влияние оснований разной природы на сольволиз лигнина молотой древесины [Текст] / М.И. Ермакова, М.Ф. Кирюшина, М.Я. Зарубин // Химия древесины. – 1988. – № 4. – С. 64–69.
6. Закис, Г.Ф. Методы определения функциональных групп лигнина [Текст] / Г.Ф. Закис, Л.Н. Можейко, Г.М. Тельшева. – Рига: Зинатне, 1975. – 174 с.
7. Кирюшина, М.Ф. Делигнифицирующий эффект иодида натрия при щелочной варке [Текст] / М.Ф. Кирюшина, Т.Г. Федулina // Изв. СПб ЛТА. – 2004. – Вып. 171. – С. 109–113.
8. Панченков, Т.М. Химическая кинетика и катализ [Текст] / Т.М. Панченков, В.П. Лебедев – М., 1985. – 588 с.
9. Пат. 3916518 СССР. Способ получения целлюлозы [Текст] / Савов К.А., Троицкий В.В., Кирюшина М.Ф., Ермакова М.И., Зарубин М.Я. – № 1266913; приоритет 28.06.1985; опубл. 01.07.1986, Бюл № 40. – С. 86.
10. Пирсон, Р.Д. Жесткие и мягкие кислоты и основания [Текст] / Р.Д. Пирсон // Успехи химии. – 1971. – Т. 40, № 7. – С. 1259–1282.
11. Роль кислотно-основной природы лигнина при химической переработке древесины [Текст] / М.Я. Зарубин [и др.] // Химия древесины. – 1983. – № 5. – С. 3–24.
12. Саввов, К.А. Соотнесение «жесткости» и «мягкости» структурных единиц лигнина и их интермедиа тов с реакционной способностью лигнина при кислотно-основных взаимодействиях [Текст] / К.А. Саввов, М.Ф. Кирюшина, М.Я. Зарубин // Химия древесины. – 1984. – № 2. – С. 19–30.

13. *Bennacer, E.-M.* Effect of organic solvents on cleavage of beta-Buyl-O-Arylic bond kinetics [Text] / E.-M. Bennacer, M.F. Kiryushina, M.Ya. Zarubin // Proceedings of 5th ISWPC. – Raleigh, USA. – 1989. – P. 139–146.

14. *Clopman, G.* Chemical reactivity and the concept of charge and frontier-controlled reactions [Text] / G. Clopman // Phys. and Inorg. Chem. – 1968. – Vol. 90, N 2. – P. 223–234.

15. *March, J.* Advanced organic chemistry. Reactions, mechanisms and structure [Text] / J. March, M.B. Smith // 6th Edition. – 2007. – P. 377–379.

16. *Zarubin, M.Ya.* Ways of acceleration of the wood delignification according to the modern ideas of acid-base interactions [Text] / M.Ya. Zarubin, M.F. Kiryushina // Proceedings of 4th ISWPC. – Paris, France, 1987. – Vol. 1. – P. 407–413.

Пос тупила 08.09.08

M.F. Kiryushina, T.G. Fedulina, M.Ya. Zarubin
Saint-Petersburg Forest-Technical Academy

Alkaline Pulp Cooking in Presence of Phosphorus Compounds

The positive effect of phosphorus compounds additives (triphenylphosphene, tributylphosphene and sodium phosphate) under alkaline delignification of spruce and aspen is established for the yield, residual lignin concentration and degree of fiber product polymerization; the phosphorus compounds additive has no effect for pine.

Keywords: model compounds, β -ether bond, phenylglucoside, pulp, lignin of milled spruce timber, spruce, aspen, pine, alkaline cooking, triphenyl- and tributylphosphene, sodium phosphate.

В.П. Сиваков, В.И. Музыкантова, С.Н. Вихарев, С.А. Мишин

Уральский государственный лесотехнический университет

Сиваков Валерий Павлович родился в 1942 г., окончил в 1971 г. Уральский лесотехнический институт, доктор технических наук, декан лесомеханического факультета Уральского государственного лесотехнического университета. Имеет более 200 печатных работ в области технической диагностики и виброзащиты оборудования лесопромышленного комплекса.

E-mail: sivakov@usfeu.ru

Музыкантова Вера Ивановна родилась в 1951 г., окончила в 1974 г. Уральский государственный лесотехнический институт, ведущий инженер кафедры машин и оборудования ЦБП Уральского государственного лесотехнического университета. Имеет более 50 печатных работ в области технической диагностики и виброзащиты оборудования целлюлозно-бумажного производства.

Тел.: (343) 261-67-05



Вихарев Сергей Николаевич родился в 1958 г., окончил в 1980 г. Уральский государственный лесотехнический институт, кандидат технических наук, доцент кафедры машин и оборудования ЦБП Уральского государственного лесотехнического университета. Имеет около 50 печатных работ в области технической диагностики и виброзащиты оборудования целлюлозно-бумажного производства.

E-mail: cvp200558@mail.ru

Мишин Сергей Анатольевич родился в 1946 г., окончил в 1969 г. Уральский лесотехнический институт, начальник учебно-методического управления Уральского государственного лесотехнического университета. Имеет более 60 печатных работ в области исследования вибрации оборудования целлюлозно-бумажного производства.

Тел.: (343) 374-64-17

**ОБОСНОВАНИЕ ТЕХНИЧЕСКОГО ОБСЛУЖИВАНИЯ
ОБОРУДОВАНИЯ ЦЕЛЛЮЛОЗНО-БУМАЖНОГО ПРОИЗВОДСТВА
ДИАГНОСТИРОВАНИЕМ***

Научно обоснован переход от технического диагноза узлов оборудования ЦБП к оценке технического состояния оборудования в целом. Предложен метод, обеспечивающий переход к техническому обслуживанию оборудования по состоянию.

Ключевые слова: техническая диагностика, модель диагностирования, кортеж, множество работоспособных состояний элемента, диагностический граф элемента.

Работоспособное техническое состояние (ТС) оборудования исследуется машиноведческими науками. Одной из задач исследований работоспособного состояния является обоснование ремонтов оборудования по состоянию. Решение этой задачи в теории надежности и технической диагностики имеет специфические особенности.

*Методика обоснования технического обслуживания оборудования диагностированием внедряется авторами на ОАО «Соликамскбумпром» при подконтрольной эксплуатации насосов и рафинеров.

Иерархическая структура оборудования

В теории надежности при исследовании видов ТС технологическое оборудование условно расчлняют на иерархии объектов, объекты, элементы (составные части объектов). Элемент классифицируется как простейшая машина, реже механизм, имеющий не менее двух состояний функционирования, например работоспособное и неработоспособное. Элементы на диагностируемые узлы не разделяют.

В технической диагностике при исследовании видов ТС производят расчленение элементов на диагностируемые узлы, т.е. на составные части нижнего уровня градации, принятой в теории надежности. Диагностируемый узел – часть элемента, которую не требуется детализировать при диагностировании ТС в режиме эксплуатации. По результатам диагноза узлов элемента оценивают ТС элемента в целом. Единый подход к градации технологического оборудования по структурным подуровням не выработан, что сдерживает формирование общей методики исследования ТС объектов.

Для обоснования технического обслуживания оборудования целлюлозно-бумажного производства по состоянию предлагается следующая иерархическая структура: узлы → элементы → объекты → иерархия объектов. Иерархическая структура расширяет градацию составных частей оборудования до диагностируемых узлов.

Модели исследования диагностических признаков

В теории надежности работоспособное состояние контролируют по модели отказов. Отказ как событие, заключающееся в нарушении работоспособного состояния объекта, занимает переходное положение между

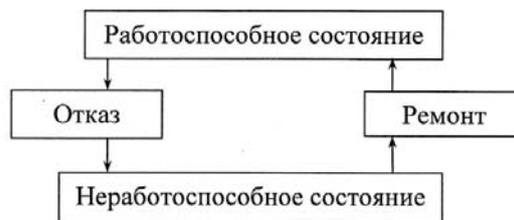


Рис. 1. Модель отказа и восстановления элемента

работоспособным и неработоспособным состояниями (рис. 1). Решение задач диагностирования по модели отказа связано с прогнозированием надежности на период до следующего осмотра. С помощью моделей отказов определяют временные эксплуатационные характеристики: наработка до отказа, остаточный ресурс и др. Результаты исследования отказов объекта используют в виде генеалогии по отношению к работоспособности объекта. По анализу отказа восстанавливают состояние, в котором объект находился в некоторый предшествующий момент.

Определение причин возникновения отказов важно для недопущения в будущем подобных отказов данного объекта и аналогичных объектов. Однако по модели отказов количественные характеристики работоспособного состояния узлов элемента непосредственно не измеряют. Результаты анализа отказов нельзя использовать для оперативного контроля работоспособного состояния.

Методами технической диагностики диагностические признаки узла эксплуатируемого элемента измеряют, как правило, для работоспособного состояния (рис. 2). При этом в модели диагностирования исключено событие «Отказ». По диагностическим признакам производят оценку уровня работоспособности узла элемента. В качестве допустимых уровней работоспособного состояния используют нормы, характерные для нового оборудования, заложенные в диагностической аппаратуре и разработанные при эксплуатации оборудования.

Диагностические признаки, не соответствующие допустимому уровню, показывают, что резерв времени работоспособного состояния узла элемента ограничен, однако достаточен для уточнения диагноза и принятия решения по выводу элемента на ремонт по состоянию.

При диагностировании в рабочем режиме объект не выводят из эксплуатации, при других видах диагностирования эксплуатационный режим временно прерывают. Техническое диагностирование, в частности вибрационное, имеет ряд нерешенных проблем.

Обычно диагнозу подвергают составные части машин: механизмы, детали (далее узлы). Диагностируемые узлы контролируют автономно. Влияние ТС одного узла на ТС других узлов машины, а также на ТС машины в целом исследовано мало. Опыт переноса практики диагностирования узлов для контроля ТС элементов машин, сложных объектов и иерархий сложных объектов малоэффективен.

При диагнозе элементов и сложных объектов информации о неисправностях отдельных узлов недостаточно для обоснования ремонтов по состоянию. Необходимо определить общее ТС элемента, объекта, проанализировать возможные переходы в другие состояния, определить объемы ремонтных работ и время их проведения.



Рис. 2. Модель диагностирования ТС узла элемента

Сочетание методов технической диагностики раннего обнаружения неисправностей узлов, элементов методами надежности машин по обоснованию технического обслуживания элементов и объектов является актуальным при переходе к ремонтам по ТС.

*Связь параметрического диагноза ТС узлов
и непараметрического диагноза ТС элементов, объектов*

При диагностировании элементов сложных объектов для оценки ТС отдельных узлов элементов оборудования применяют различные виды диагностической аппаратуры. Например, при диагностировании оборудования в производстве целлюлозы и термомеханической массы используют виброизмерительные приборы для определения среднеквадратических значений параметров вибрации, анализаторы спектра измеряемых частот, ультразвуковые, температурные приборы и др.

Для формирования диагностической оценки элемента диапазоны параметрических оценочных критериев узлов данного элемента разделяют на подуровни: [Ф] – «допустимо», ФН – «неудовлетворительно», ФП – «предотказно». На рис. 3 показаны подуровни [Ф], ФН и ФП для диагноза виброскорости с учетом изменения за период наработки. Измеренные при диагностировании значения уровней диагностического параметра подвергались обработке методами математической статистики. Например, параметры вибрации исследовались как случайные переменные величины. Для выработки измеренных значений параметров вибрации был определен закон распределения, среднее выборочное значение, среднее квадратическое отклонение и произведено исключение грубых ошибок.

Определение допустимых вибрационных критериев основывается на проверке нулевой и альтернативной гипотез [2].

Критическая статистика для проверки гипотез принималась в зависимости от однородности значений Φ_i в выборке по t -распределению максимального отклонения, которое определяли по следующей формуле:

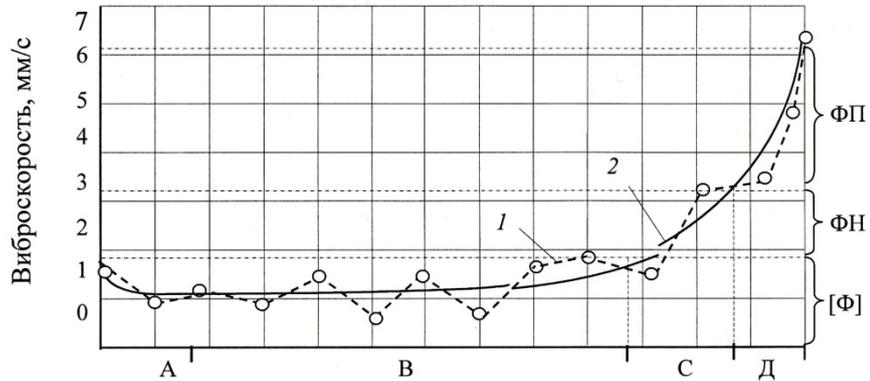


Рис. 3. Графики зависимости виброскорости подшипниковой опоры циркуляционного насоса от наработки: 1 – экспериментальный; 2 – идеализированный; А, В, С и Д – зоны соответственно приработки, установившегося режима, зарождающегося и ускоренного развития дефекта

$$\bar{\tau} = |\Phi^{\Pi} - \bar{\Phi}| / \sigma_{\Phi};$$

где

Φ^{Π} – значение параметра, исключаемое из выборки,

$\Phi^{\Pi} \in \{\Phi_1, \Phi_2, \dots, \Phi_n\}$;

n – число значений Φ_i в выборке, $i = 1, \dots, n$;

$\bar{\Phi} \in (\bar{S}_e, \bar{V}_e, \bar{T})$ – среднее арифметическое значение выборки;

\bar{S}_e – виброперемещение;

\bar{V}_e – виброскорость;

\bar{T} – тренд вибрации;

σ_{Φ} – среднее квадратическое отклонение.

Граничные значения τ_{α} определяли по таблице квантилей τ -распределения при уровнях значимости 5...10 % (вероятность отвергнуть нулевую гипотезу составляла 5...10 %). Нулевую гипотезу принимали для однородных выборок при $\bar{\tau} \leq \tau_{\alpha}$.

Допустимые пределы вибрации определяли по формуле

$$|\Phi| = \bar{\Phi} \pm \tau_{\alpha} \sigma_{\Phi}.$$

Знак «+» относился к возрастанию вибрационной функции за период наработки контролируемого узла, «-» – к снижению.

Параметры ФН (вибрация неудовлетворительная) и ФП (вибрация предотказного состояния) определяли, используя следующие зависимости:

$$\Phi_{\text{Н}} = \bar{\Phi} \pm k_{\text{н}} \tau_{\alpha} \sigma_{\Phi}; \quad \Phi_{\text{П}} = \bar{\Phi} \pm k_{\text{п}} k_{\text{н}} \tau_{\alpha} \sigma_{\Phi},$$

где $k_{\text{н}}$ и $k_{\text{п}}$ – коэффициенты предупредительных границ, $k_{\text{н}} \approx 1,3 \dots 1,4$;

$k_{\text{п}} \approx 1,1 \dots 1,2$ (получены из опыта диагностирования).

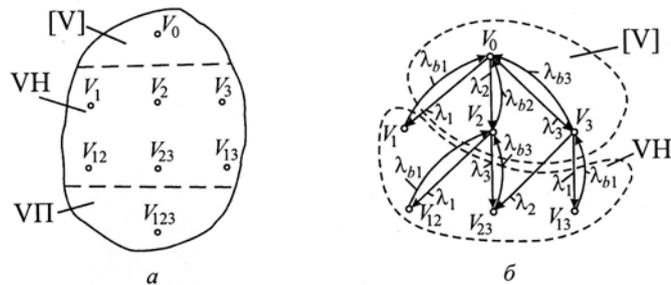


Рис. 4. Схема формирования диагностического графа $G(V, \Lambda)$ изменения ТС элемента (насос системы циркуляции): a – множество V^m элемента; b – диагностический граф $G(V, \Lambda)$ элемента двухуровневой иерархии ([V], VП и VH – кортежи соответственно допустимых, неудовлетворительных и предотказных ТС

Сокращенные периоды времени Δt_{bj} и Δt_{cj} между измерениями возрастающей и снижающейся вибрации диагностируемых узлов в состоянии, близком к предотказному, определяли по формулам

$$\Delta t_{bj} = \frac{|\Phi| \Delta t}{m \Phi_j} ; \quad \Delta t_{cj} = \frac{\Phi_j \Delta t}{m |\Phi|} ,$$

где m – коэффициент, учитывающий безопасность эксплуатации узла с экстремальными уровнями вибрационной функции;

Φ_j – экстремальный уровень вибрационной функции узла при j -м измерении.

Аналогичные подуровни диапазонов оценочных критериев нарабатываются при подконтрольной эксплуатации для всех диагностируемых узлов независимо от вида приборов и измеряемого параметра.

Зависимость работоспособного ТС элемента машины от сочетания уровней ТС диагностируемых узлов элемента представляли в виде потока событий, определяемого вероятностными закономерностями. События N_i отказов каждого из узлов элемента рассматривали как несовместные [1]. Вероятность отказа элемента для несовместных событий отказов его узлов находили по формуле

$$Q\left(\sum_{i=1}^n N_i\right) = Q(N_1) + \dots + Q(N_n),$$

где $Q(N_i)$ – вероятность отказа i -го узла элемента;

n – число узлов элемента.

Установлено, что при низкой вероятности узлов $P(N_i)$ вероятность отказа элемента в целом может оказаться значительной. Для определения влияния ТС узлов на общее ТС элемента применяли диагностические графы.

Множество V^m сочетаний кортежей ТС элемента «и» (рис. 4, a) определяли как декартово произведение множеств R_j , $j = \overline{1, k}$:

$$V^m = R_1 \times R_2 \times \dots \times R_k,$$

где k – мощность множества ТС элемента;

R_j – кортеж диагноза элемента, упорядоченное множество оценок диагноза узлов элемента, $R_j = \langle \Phi_{m1} \times \Phi_{m2} \times \dots \times \Phi_{mi} \times \dots \times \Phi_{mn} \rangle$;

Φ_{mi} – оценка диагноза i -го узла элемента, $\Phi_{mi} \in (\Phi_i, \Phi_{H_i}, \Phi_{П_i})$.

Диагностический граф элемента (рис. 4, б) состоит из подмножеств «допустимо» $|V|$ и «неудовлетворительно» VH множества V^n [3]. При распределении вершин V_j^n по подмножествам $|V|$ и VH , наряду с учетом числа неудовлетворительных оценок узлов, производили учет иерархии узлов и коэффициента обслуживания. Вершины предотказного состояния $VП$ не включали в диагностический граф, так как эксплуатация элемента при $V_j^n \in VП$ недопустима, и применяли в качестве оценочного критерия. Дуги λ_{bi} характеризуют интенсивности переходов при восстановлении ТС, λ_i – при ухудшении работоспособного ТС.

Для оценки работоспособного ТС элемента или объекта производили идентификацию определенного при измерении вибрации кортежа диагноза элемента с подмножествами вершин диагностического графа.

Алгоритм диагностирования ТС элементов имеет два уровня контроля. На первом уровне кортеж диагноза элемента проверяли на принадлежность к подмножеству предотказного ТС диагностического графа $VП$ (см. рис. 4, а). Если кортеж диагноза графа соответствовал предотказному состоянию, то элемент выводили на неплановый ремонт.

Второму уровню контроля подвергали только кортежи диагноза V_j^n , не идентифицированные с вершинами подмножеств $VП$ диагностического графа. Кортежи диагноза проверяли на принадлежность к подмножествам вершин $|V|$ (рис. 4, б). Если $V_j^n \in |V|$, то элемент находится в работоспособном состоянии. При $V_{j,i,k}^n \notin |V|$ для элемента предусматривается техническое обслуживание при плановом останове.

Предложенную методику рекомендуется использовать для оценки и прогнозирования ТС оборудования целлюлозно-бумажных производств.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Гмурман, В.Е. Теория вероятностей и математическая статистика [Текст] / В.Е. Гмурман. – М.: Высш. шк., 1972. – 368 с.
2. Муромцев, Ю.Л. Безаварийность и диагностика нарушений в химических производствах [Текст] / Ю.Л. Муромцев. – М.: Химия, 1990. – 143 с.
3. Сиваков, В.П. Оценка состояния исправности оборудования целлюлозно-го производства на основе диагностических графов [Текст] / В.П. Сиваков // Лесн. журн. – 2000. – № 5, 6. – С. 58–61. – (Изв. высш. учеб. заведений).

Поступила 21.04.09

V.P. Sivakov, V.I. Muzykantova, S.N. Vikharev, S.A. Mishin
Ural State Forest Engineering University

Substantiation of Pulp-and-paper Production Maintenance Service by Diagnostics

Transfer from technical diagnosis of PPP equipment pieces to technical state assessment of equipment in whole is substantiated. The method ensuring the transfer to maintenance service according to the state is provided.

Keywords: technical diagnostics, diagnostic model, tuple, range of element efficient states, element diagnostic graph.

В.Н. Леонтьев

С.-Петербургский государственный технологический университет растительных полимеров

Леонтьев Владимир Николаевич родился в 1944 г., окончил в 1967 г. Ленинградский механический институт, профессор кафедры информационно-измерительных технологий и систем управления СПб государственный технологический университет растительных полимеров. Имеет более 120 работ в области исследования влияния качества бумаг на качество печати.
E-mail: vleco58@mail.ru

**СИСТЕМНЫЙ ПОДХОД К ЗАДАЧЕ СОВЕРШЕНСТВОВАНИЯ ПЕЧАТНЫХ СВОЙСТВ БУМАГ***

Предложен новый системный подход, основанный на использовании информации о качестве печати для управления непосредственно параметрами производства бумаги.

Ключевые слова: параметры процесса, производство бумаги, системный подход, качество печати.

В конце 80-х и первой половине 90-х годов XX в. отечественная полиграфия переживала экстенсивное развитие (15...18 % прироста в год). В настоящее время ежегодно в нашей стране производится печатной продукции на сумму порядка 3 млрд р.

Проблемы, связанные с качеством печати, усложнились в связи с появлением новых видов печати, печатного оборудования, в том числе цифровой печати; увеличением доли цветной иллюстративной компоненты в изданиях различного назначения, в офисной и бытовой сферах, упаковке; расширением ассортимента красок, номенклатуры бумаг; необходимостью сокращения продолжительности и расхода материалов в приладке печатного



Рис. 1. Существующая последовательность этапов получения оттиска

оборудования, доля которых в себестоимости продукции резко возросла из-за снижения тиражей; повышением требований потребителя к качеству печатной продукции.

* В порядке обсуждения.

Возможность решения этой проблемы заключается в применении системного подхода, в основе которого лежит синтез – объединение процессов производства бумаги и печати в единую иерархическую структуру системы управления печатными свойствами бумаг. Целевая функция такой системы – достижение конкурентных преимуществ печатной продукции за счет выбора и/или создания бумаг с необходимой совокупностью печатных свойств.

Результаты проводимых ранее исследований качества печати и влияния на него бумаги, краски и режимов печати не давали в каждом конкретном случае (особенно при производстве иллюстративной продукции) однозначных рекомендаций по настройке режимов печати, выбору бумаги, краски и других расходных материалов.

Сегодняшнее состояние характеризуется тем, что печатники не могут однозначно и корректно сформулировать требования к печатным свойствам бумаг, а бумажники, в свою очередь, не готовы удовлетворить возросшие требования к этим свойствам.

Обзор научных публикаций выявил недостаточную информативность для прогнозирования качества печати таких показателей свойств бумаги, как пористость, шероховатость, облачность, впитывающая способность и др. Данные показатели, являясь органолептическими (эвристическими), не имеют эталонов, что свидетельствует об их качестве и объективности.

На рис. 1 представлена существующая в настоящее время схема получения оттиска, включающая и процессы производства бумаги.

В общем случае эта схема пространственно и во времени имеет разрывы. Первый разрыв свойственен бумажным фабрикам, работающим на привозной целлюлозе, второй связан, как правило, с расположением типографий (вне фабрик по производству бумаги).

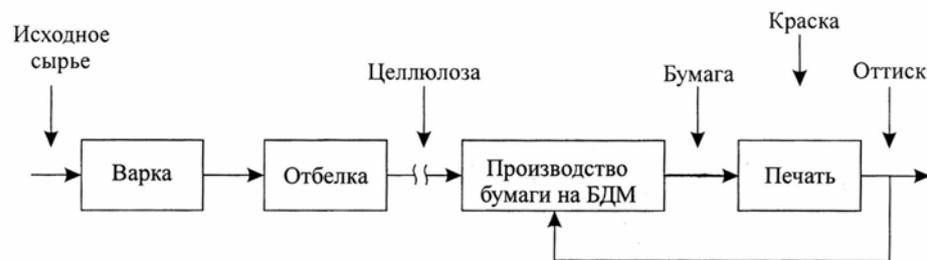


Рис. 2. Системный подход к управлению печатными свойствами бумаг

Результат конкретного способа печати – оттиск, полученный на конкретной печатной машине данной краской, – отражает способность бумаги обеспечить определенное качество печати при определенных совокупных затратах. Приняв это за основу и рассматривая управление печатными свойствами бумаг как задачу управления показателями качества печати, в каче-

стве объекта регулирования берется комплекс, состоящий из БДМ и печатной машины. В качестве управляющих воздействий принимаются технологические параметры производства бумаги на БДМ (процентное содержание лиственной и хвойной целлюлозы и брака, зольность, скорость БДМ, степень помола, рН бумажной массы, содержание наполнителя, соотношение скоростей напуска массы и сетки и др.), непосредственно контролируемые в процессе производства.

Задача формирования печатных свойств бумаги сводится к выбору параметров процесса ее производства, обеспечивающих требуемое (при данной рецептуре бумаги) качество печати. Ее решение предполагает использование основного принципа построения системы – принципа обратной связи. В данном случае он реализуется не на уровне элементов, а на системном уровне, на котором главная обратная связь охватывает как процесс производства бумаги, так и процесс печати (рис. 2).

Применение такого принципа освобождает от учета многочисленных, неоднозначно трактуемых, слабо формализуемых в своих взаимосвязях факторов, влияющих на конечный результат – качество печатной продукции. Это дает возможность реализовать и такое свойство системы, как эмерджентность (целостность), позволяющее выполнять заданную целевую функцию как реализуемую только системой в целом, а не ее отдельными элементами, т.е. дает системе новое качество, отсутствующее у простой суммы ее элементов.

В рамках предлагаемой системы задачи исследований могут быть решены с помощью моделей влияния параметров процесса производства бумаги на показатели качества печати и их использования для поиска параметров производства бумаги, обеспечивающих требуемое качество печати. При этом показатели качества бумаги исключаются из рассмотрения, а потенциальные печатные свойства конкретного вида бумаги характеризуются достигаемыми показателями качества печати и найденными параметрами процесса ее производства.

Исключение показателей качества бумаги из рассмотрения обосновано. Известно, что добавление любого звена в канал передачи информации приводит к неизбежным потерям самой информации. В данном случае таким звеном в традиционной схеме является оценка таких показателей качества бумаги, как шероховатость, пористость, впитывающая способность и др.

Производство бумаги высокоавтоматизировано и основано на эффективном использовании информационных систем получения и обработки информации о параметрах процессов, поэтому имеется возможность сопровождать каждый рулон бумаги не только принятыми оценками основных показателей ее качества, но и данными о технологических параметрах, сопутствующих ее выработке.

Использование предлагаемого системного подхода дает возможность применять не только пассивный, но и активный эксперимент, с помощью которого можно изучать и математически описывать процессы и явления при неполном знании их механизмов.

Поскольку в настоящее время скорости печати и производства бумаги стали сопоставимы, можно предположить, например, что для неконтактных видов электронной печати, при наличии систем технического зрения, возможно в режиме «on-line» уже на бумагоделательной машине осуществлять печать тестовых объектов, оценивать по ним показатели качества печати и, управляя параметрами производства бумаги, формировать требуемые печатные свойства бумажного полотна.

Поступила 13.05.09

V.N. Leontiev

Saint-Petersburg State Technological University of Plant Polymers

System Approach to Improvement of Paper Printing Characteristics

A new system approach is proposed based on using the information about the printing quality for direct control of paper manufacturing parameters.

Keywords: process parameters, paper production, system approach, printing quality.



КРАТКИЕ СООБЩЕНИЯ И ОБМЕН ОПЫТОМ

УДК 630*284.2

Ю.А. Фролов¹, С.Н. Штрахов²¹ФГУ «Санкт-Петербургский научно-исследовательский институт лесного хозяйства»²Департамент лесного хозяйства по Северо-Западному федеральному округу

Фролов Юрий Александрович родился в 1938 г., окончил в 1960 г. С.-Петербургскую государственную лесотехническую академию, доктор сельскохозяйственных наук, ведущий научный сотрудник С.-Петербургского научно-исследовательского института лесного хозяйства. Имеет около 100 печатных работ в области лесоводства и лесоведения, физиологии и анатомии растений.

E-mail: petroniilh@inbox.ru

Штрахов Сергей Николаевич родился в 1975 г., окончил в 1997 г. С.-Петербургскую государственную лесотехническую академию, начальник Департамента лесного хозяйства по Северо-Западному федеральному округу, аспирант ФГУ «С.-Петербургский научно-исследовательский институт лесного хозяйства».

E-mail: petroniilh@inbox.ru**ОСНОВНЫЕ ПОКАЗАТЕЛИ СМОЛОПРОДУКТИВНОСТИ СОСНОВЫХ НАСАЖДЕНИЙ ДЛЯ РАСЧЕТА НОРМАТИВОВ**

Предложены показатели для расчета нормативов смолопродуктивности сосновых насаждений.

Ключевые слова: сосна, смолопродуктивность, показатель, нормативы, факторы.

В настоящее время отсутствуют обоснованные нормативные документы по определению смолопродуктивности сосновых насаждений, на основе которых можно определить выход живицы для каждого отведенного в подсочку конкретного насаждения. Подобное положение не способствует комплексному и эффективному освоению лесных ресурсов, особенно с учетом новых рыночных отношений в лесном хозяйстве и лесопромышленном комплексе. Кроме того, эти данные могли бы быть использованы для кадастровой оценки сосновых лесов. Для расчета нормативов необходимо определить основные показатели смолопродуктивности сосновых насаждений [1].

Смолопродуктивность отдельного дерева при подсочке определяется через выход живицы на подновку, для насаждения она складывается из смолопродуктивности отдельных деревьев. Смолопродуктивность насаждения является одним из наиболее существенных показателей, определяющих его пригодность для производственной подсочки. Она зависит от биологических, географических, метеорологических, лесорастительных, лесоводственно-таксационных и технологических факторов.

Анализируя и обобщая имеющиеся сведения о смолопродуктивности сосны, можно констатировать, что чем лучше условия произрастания насаждений, тем выше их смолопродуктивность. В исследованиях, проведенных в различных природно-географических районах России, отмечена изменчивость по смолопродуктивности как сосновых насаждений в целом, так и отдельных деревьев, что обуславливается факторами внешней среды и генотипом деревьев [2].

На процессы смолообразования и смоловыделения оказывают существенное влияние многие метеорологические факторы (температура воздуха и почвы, относительная влажность воздуха, количество атмосферных осадков за год и за вегетационный период). Известна также взаимозависимость этих факторов, определяемая географической зональностью условий произрастания. В частности, районы лесостепи, характеризующиеся высокими летними температурами, повышенной транспирацией и малым количеством осадков, несмотря на высокую энергию фотосинтеза, благоприятствующую смолообразованию, имеют напряженный водный режим, ограничивающий меру и возможности интенсивного подсачивания [5, 6].

Тип леса и тип лесорастительных условий тоже во многом определяют смолопродуктивность насаждений, при этом наиболее производительные типы леса обеспечивают и более высокую смолопродуктивность насаждений.

Бонитет насаждения – показатель продуктивности насаждения, зависящий от добротности условий произрастания. Проведенными исследованиями установлено и производственными данными подтверждено, что наиболее высокие выходы живицы дают сосновые насаждения первых трех классов бонитета [4], заметно ниже выход живицы у насаждений IV и, особенно, V классов бонитета.

Имеющиеся сведения о влиянии на смолопродуктивность различных лесоводственно-таксационных факторов позволяют сделать заключение, что наибольшее значение из них имеют диаметр отдельного дерева и средний диаметр насаждения. В меньшей степени смолопродуктивность сосновых насаждений зависит от полноты, возраста, высоты, протяженности кроны, густоты охвоения побегов подсачиваемых деревьев. Что касается состава насаждения, то, по действующим Правилам заготовки живицы [3], участие сосны в составе насаждения, пригодного для подсочки, должно быть не менее 4 единиц.

Из технологических показателей для определения смолопродуктивности соснового насаждения учитываются число карр на дереве в соответствии с категорией подсочки, регламентированной Правилами заготовки живицы; нагрузка деревьев каррами; выход живицы на подновку с учетом диаметра (при ширине карры, равной диаметру дерева, без стимулятора и с использованием стимулятора); выход живицы на карру и на дерево; пауза вздымки; продолжительность подсочного сезона; число обходов за сезон; технологическая схема подсочки (срок и способ подсочки).

Из расчетных показателей используются выход живицы на подновку при определенном способе подсочки и конкретной ширине карры; выход

живицы на карру за сезон и за весь срок подсочки; число карр на 1 м² площади сечения насаждения; запас; видовая высота; сумма площадей сечений; среднегодовое количество карр по годам подсочки и за весь срок. Причем последний показатель (выход живицы на 1 м² площади сечения насаждения за время подсочки) является основным.

На основе вышеперечисленных технологических показателей нами разработан алгоритм расчета нормативов выхода живицы на м³ площади сечения сосновых насаждений для 10-летней подсочки, по которому будут рассчитаны соответствующие нормативы смолопродуктивности для Северо-Западного региона европейской части РФ.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. ОСТ 13-80–79. Подсочка сосны. Термины и определения [Текст]. – М., 1979. – 22 с.
2. Подсочка леса [Текст] / В.Я. Бондарев [и др.]. – М.: Лесн. пром-сть, 1975. – 232 с.
3. Правила заготовки живицы [Текст]. Приказ МПР № 156 от 21 июня 2007 г.
4. *Рябов, В.П.* Теория и практика подсочки леса [Текст] / В.П. Рябов. – М.: Лесн. пром-сть, 1984. – 284 с.
5. *Трейнис, А.М.* Биологические основы и техника подсочки [Текст] / А.М.Трейнис. – М.: Лесн. пром-сть, 1968. – 252 с.
6. *Трейнис, А.М.* Подсочка леса [Текст] / А.М.Трейнис. –М.;Л.: Гослесбумиздат, 1961. – 356 с.

Поступила 22.06.08

Yu.A. Frolov¹, S.N. Shtrakhov²

¹ Saint-Petersburg Forestry Research Institute

² Forestry Department of North-Western Federal Region

Basic Indices of Resin Productivity in Pine Stands for Standard Calculation

Indices are provided for calculating standards of resin productivity in pine stands.

Keywords: pine, resin productivity, index, standards, factors.

С.П. Агеев

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

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



ПОКАЗАТЕЛИ ЭНЕРГОИСПОЛЬЗОВАНИЯ ЛЕСОПИЛЬНЫХ РАМ

9* иены построение и анализ графиков текущей производительности и удельно-ода электроэнергии лесопильных рам; определены факторы, влияющие на показатели электропотребления лесопильных рам.

Ключевые слова: лесопильная рама, производительность, потребляемая мощность, удельный расход электроэнергии, потери мощности, цикл распиловки бревен.

Первичным звеном в производстве и электропотреблении предприятия является технологическая операция, осуществляемая на отдельном агрегате – приемнике электроэнергии. Без изучения энергетических балансов отдельных агрегатов в связи с физико-техническими особенностями соответствующих операций и процессов и техническими свойствами самих агрегатов невозможно осуществление нормирования и планирования электропотребления отдельных производств и предприятия в целом.

Одним из наиболее энергоемких цехов лесопильно-деревообрабатывающего комбината является лесопильное производство. При этом лесопильная рама (ЛР) со сравнительно небольшой околостаночной механизацией составляет отдельный участок и, как наиболее мощный электроприемник, в значительной степени определяет характер его электропотребления. От производительности лесопильных рам зависят не только производительность труда и себестоимость пилопродукции, но и удельные расходы электроэнергии на единицу продукции.

В настоящей работе проанализированы производительность и удельное электропотребление лесопильных рам в зависимости от степени их загрузки и режима работы в течение рабочей смены.

Показатели производительности лесопильных рам

Для характеристики производительности с целью нормирования и планирования электропотребления используют две группы показателей [5]. Показатели первой группы характеризуют суммарный объем распиленного сырья за целые календарные отрезки времени (смена, сутки, месяц), второй – текущую (или среднюю) загрузку лесопильных рам и соответствующий объем сырья, отнесенный к элементарному отрезку времени, например 1 ч. Часовую производительность можно определять либо как текущую величину, отнесенную к определенному моменту времени эффективной работы,

либо как среднюю величину за операционное или календарное время использования лесопильной рамы. Основные понятия, необходимые для целей нормирования процессов электропотребления приемников деревообрабатывающего производства, приведены в [2].

Для анализа единовременной загрузки и текущей производительности ЛР будем рассматривать бревно как усеченный конус, имеющий диаметр d_b в вершинном конце. Тогда текущее значение диаметра распиливаемого бревна

$$d(t) = d_b + cl(t), \quad (1)$$

где c – сбеги бревен, принимаемый по специальным таблицам в зависимости от d_b , м/м;

$l(t)$ – длина распиленной части бревна (м) в момент времени t , $l(t) = ut$;

u – скорость подачи бревна, м/с.

Используя формулу объема усеченного конуса [4], определим текущий объем распиленной части бревна:

$$V(t) = \frac{\pi}{12} l(t) [d_b^2 + d_b d(t) + d^2(t)]$$

или с учетом (1)

$$V(t) = \frac{\pi}{12} [3d_b^2 ut + 3d_b cu^2 t^2 + c^2 u^3 t^3].$$

Тогда текущая производительность ($\text{м}^3/\text{ч}$) лесопильной рамы

$$A(t) = \frac{dV}{dt} = \frac{3600\pi}{12} (3d_b^2 u + 6d_b cu^2 t + 3c^2 u^3 t^2) = 900\pi (d_b^2 u + 2d_b cu^2 t + c^2 u^3 t^2).$$

График текущей производительности ЛР за время t_0 операционного цикла распиловки бревна показан на рис. 1, а.

Таким образом, загрузка ЛР в течение времени t_0 является переменной величиной. На этом графике отрезок t_3 характеризует время эффективной работы ЛР, в течение которого происходит распиловка бревна (полезная работа), отрезок t_b – вспомогательное время (цикловые потери времени), присутствующее в рабочих циклах ЛР, когда непосредственную распиловку бревен не производят [6].

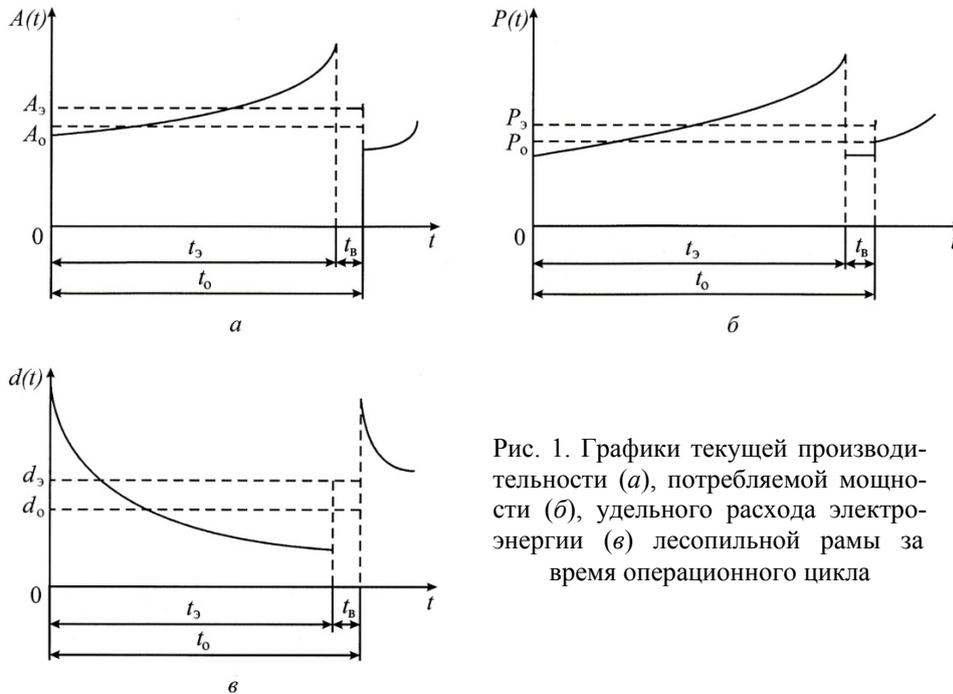


Рис. 1. Графики текущей производительности (а), потребляемой мощности (б), удельного расхода электроэнергии (в) лесопильной рамы за время операционного цикла

Часовая производительность ЛР всегда относится к конечным отрезкам времени, равным продолжительности одного или ряда полных операционных циклов. Но поскольку в цикл распиловки входит, помимо эффективного времени, еще и вспомогательное время, то часовая производительность, отнесенная к эффективному времени, является фиктивной величиной [6]. Она показывает объем распиленного сырья в единицу времени, который можно было бы теоретически получить при отсутствии перерывов t_B в эффективной работе. Учитывая переменный характер нагрузки ЛР в течение цикла, определим фиктивную производительность как среднюю величину A_3 за эффективное время:

$$A_3 = \frac{3600}{t_3} \int_0^{t_3} A(t) dt = \frac{3600V}{t_3}, \quad (2)$$

где V – объем распиленного бревна за время t_3 , m^3 .

Например, к бревнам с нормативными диаметрами 14 и 16 см относятся лесоматериалы с фактическими размерами по толщине соответственно 13,5...14,9 и 15,0...16,9 см [7]. Принимая стандартные длину распиливаемых бревен 6 м и сбеги 1 см/м, находим, что фактический объем бревен указанных диаметров будет изменяться в пределах 0,129...0,188 m^3 .

Экспериментальные исследования [1] на одном из ЛДК г. Архангельска позволили определить фактическое время распиловки на ЛР первого ряда бревен с вершинным диаметром 14 и 16 см длиной 6 м. Среднее время распиловки составило 18 с, диапазон изменения среднечасовой производительности A_3 за эффективное время – 25,8...37,6 $m^3/ч$.

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

Работа ЛР может быть охарактеризована рядом коэффициентов, учитывающих их относительную загрузку: технологический коэффициент загрузки

$$k_{\text{T}} = \frac{A_{\text{э}}}{A_{\text{э max}}}; \quad (3)$$

энергетический коэффициент загрузки

$$\lambda_{\text{э}} = \frac{P_{\text{э}}}{P_{\text{э max}}},$$

где $P_{\text{э}}$ – средняя потребляемая мощность за время эффективной работы в операционном цикле;

$P_{\text{э max}}$ – то же при максимальной производительности $A_{\text{э max}}$.

Определим часовую производительность ЛР, отнесенную к операционному времени, за время одного полного цикла:

$$A_0 = \frac{3600V}{t_{\text{э}} + t_{\text{в}}} = \frac{3600V}{t_0}. \quad (4)$$

Выразив из (2) объем V бревна и подставив в (4), получим

$$A_0 = \frac{t_{\text{э}}}{t_0} A_{\text{э}} = k_0 A_{\text{э}},$$

где k_0 – коэффициент использования ЛР в операционном времени.

Из (3) следует, что $A_{\text{э}} = k_{\text{T}} A_{\text{э max}}$, тогда

$$A_0 = k_0 k_{\text{T}} A_{\text{э max}}.$$

Таким образом, часовая производительность A_0 лесопильной рамы зависит не только от факторов, определяющих их фиктивную производительность $A_{\text{э}}$, но и от вспомогательного времени $t_{\text{в}}$ операционного цикла.

Показатели электропотребления лесопильных рам

Для характеристики электропотребления применяют показатели, к которым относятся: расход электроэнергии; мощность, потребляемая из сети.

Определим связь между текущими значениями удельного расхода энергии и производительности за эффективное время работы ЛР в операционном цикле. Полный расход электроэнергии за бесконечно малый промежуток времени dt

$$dW = dW_{\text{пол}} + d(\Delta W_{\text{пер}}) + d(\Delta W_{\text{пост}}),$$

где $dW_{\text{пол}}$ – полезно затраченная энергия;

$d(\Delta W_{\text{пер}})$ – переменные потери энергии, зависящие от нагрузки;

$d(\Delta W_{\text{пост}})$ – постоянные потери энергии, не зависящие от нагрузки.

Для дальнейшего анализа полный расход энергии удобно представить как сумму двух составляющих:

$$dW = dW_{\text{пер}} + dW_{\text{пост}} \quad (5)$$

где $dW_{\text{пер}}$ – переменная составляющая, зависящая от нагрузки,

$$dW_{\text{пер}} = dW_{\text{пол}} + d(\Delta W_{\text{пер}});$$

$dW_{\text{пост}}$ – постоянная составляющая, не зависящая от нагрузки,

$$dW_{\text{пост}} = d(\Delta W_{\text{пост}}).$$

Разделив (5) на элементарный объем dV , получим текущий удельный расход энергии:

$$d(t) = \frac{dW}{dV} = \frac{dW_{\text{пер}}}{dV} + \frac{dW_{\text{пост}}}{dV}$$

или

$$d(t) = \delta(t) + \frac{dW_{\text{пост}}}{dV}.$$

Слагаемое $\delta(t)$ представляет собой удельную переменную составляющую полного расхода энергии на единицу объема сырья, или переменный удельный расход энергии. Покажем, что $\delta(t)$ зависит от текущей производительности $A(t)$. Поделив (5) на dt , получим уравнение баланса мощностей

$$P(t) = P_{\text{пер}}(t) + P_{\text{пост}} \quad (6)$$

где $P(t)$ – потребляемая мощность;

$P_{\text{пер}}(t)$ – переменная составляющая потребляемой мощности,

$$P_{\text{пер}}(t) = P_{\text{пол}}(t) + \Delta P_{\text{пер}}(t);$$

$P_{\text{пол}}(t)$ – полезная мощность;

$\Delta P_{\text{пер}}(t)$ – мощность переменных потерь энергии;

$P_{\text{пост}}$ – мощность постоянных потерь энергии.

Запишем уравнение энергетической характеристики электропривода механизма резания ЛР [3]:

$$P(t) = c_3 \sqrt{A(t)} + P_{\text{пост}} \quad (7)$$

где c_3 – коэффициент энергоемкости лесопильной рамы, кВт·ч^{0,5}/м^{1,5}.

График потребляемой мощности $P(t)$, построенный с учетом (7) за время операционного цикла, показан на рис. 1, б.

Как видно из (6) и (7),

$$P_{\text{пер}}(t) = c_3 \sqrt{A(t)}$$

или

$$dW_{\text{пер}}(t) = c_3 \sqrt{A(t)} dt.$$

Отсюда

$$\delta(t) = \frac{dW_{\text{пер}}}{dV} = \frac{c_3 \sqrt{A(t)} dt}{dV} = \frac{c_3}{\sqrt{A(t)}}. \quad (8)$$

Таким образом, переменный удельный расход электроэнергии обратно пропорционален текущей производительности лесопильной рамы. Полный удельный расход энергии

$$d(t) = \frac{dW}{dV} \frac{dt}{dt} = \frac{P(t)}{A(t)}.$$

С учетом (7) и (8) имеем

$$d(t) = \frac{P_{\text{пер}}(t)}{A(t)} + \frac{P_{\text{пост}}}{A(t)} = \frac{c_{\text{э}}}{\sqrt{A(t)}} + \frac{P_{\text{пост}}}{A(t)} = \delta(t) + \frac{P_{\text{пост}}}{A(t)}. \quad (9)$$

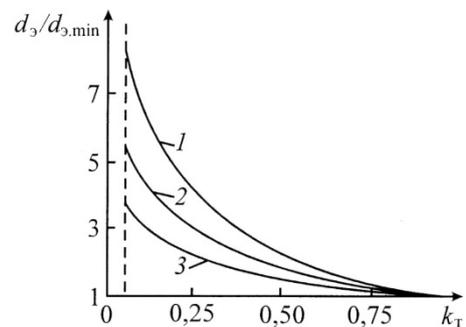
График удельного расхода энергии, построенный по (9) за время операционного цикла, показан на рис. 1, в.

Покажем, как будет изменяться среднее значение удельного расхода энергии за эффективное время при изменении среднечасовой производительности $A_{\text{э}}$. Обозначим $P_{\text{пост}} = aP_{\text{э, max}}$ (где a – доля, которую составляет мощность постоянных потерь энергии от максимально потребляемой мощности $P_{\text{э, max}}$). Из (8) следует, что

$$\delta_{\text{э}} = \frac{c_{\text{э}}}{\sqrt{A_{\text{э}}}} = \frac{c_{\text{э}}}{\sqrt{k_m A_{\text{э, max}}}} = \frac{\delta_{\text{э, min}}}{\sqrt{k_T}},$$

где $\delta_{\text{э, min}}$ – переменный удельный расход при максимальной производительности $A_{\text{э, max}}$.

Рис. 2. Зависимость относительного изменения удельного расхода электроэнергии от технологического коэффициента загрузки: 1 – $a = 1,0$; 2 – $0,6$; 3 – $0,4$



Тогда

$$d_{\text{э}} = \delta_{\text{э}} + \frac{P_{\text{пост}}}{A_{\text{э}}} = \frac{\delta_{\text{э, min}}}{\sqrt{k_T}} + \frac{aP_{\text{э, max}}}{k_T A_{\text{э, max}}} = \frac{\delta_{\text{э, min}}}{\sqrt{k_T}} + \frac{a}{k_T} d_{\text{э, min}}, \quad (10)$$

где $d_{\text{э, min}}$ – удельный расход при максимальной производительности.

С другой стороны (при $k_T = 1$)

$$d_{\text{э, min}} = \delta_{\text{э, min}} + a d_{\text{э, min}},$$

откуда

$$\delta_{\text{э, min}} = d_{\text{э, min}} (1 - a). \quad (11)$$

Подставив (11) в (10), получим

$$d_{\text{э}} = d_{\text{э min}} \left(\frac{1-a}{\sqrt{k_{\text{T}}}} + \frac{a}{k_{\text{T}}} \right).$$

Относительное изменение удельного расхода в зависимости от технологического коэффициента загрузки лесопильной рамы:

$$\frac{d_{\text{э}}}{d_{\text{э min}}} = \frac{a + (1-a)\sqrt{k_{\text{T}}}}{k_{\text{T}}}. \quad (12)$$

Полученная зависимость показана на рис. 2.

Величину a в этом уравнении можно назвать коэффициентом формы кривой удельного расхода энергии. В [3] показано, что величина $P_{\text{пост}}$ зависит от мощности холостого хода ЛР, мощности постоянных потерь в механизме резания и электроприводе. После анализа зависимости (12) установлено, что чем относительно больше постоянная составляющая потребляемой мощности, тем, при прочих равных условиях, с большим перерасходом энергии связана работа ЛР со сниженной производительностью.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Агеев, С.П. Математическое моделирование процессов распиловки древесины [Текст] / С.П. Агеев // Изв. СПб. гос. лесотехн. акад. – 2007. – Вып. 179. – С. 142–152.
2. Агеев, С.П. Режимы электропотребления окорочных станков [Текст] / С.П. Агеев // Лесн. журн. – 2007. – № 4. – (Изв. высш. учеб. заведений).
3. Агеев, С.П. Энергетическая характеристика электропривода механизма резания лесопильной рамы [Текст] / С.П. Агеев // Лесн. журн. – 2009. – № 2. – (Изв. высш. учеб. заведений).
4. Выгодский, М.Я. Справочник по элементарной математике [Текст] / М.Я. Выгодский. – М.: Наука, 1986. – 320 с.
5. Гофман, И.В. Нормирование потребления энергии и энергетические балансы промышленных предприятий [Текст] / И.В. Гофман. – М.; Л.: Энергия, 1966. – 320 с.
6. Калитеевский, Р.Е. Автоматизация производственных процессов в лесопилении [Текст] / Р.Е. Калитеевский. – М.: Лесн. пром-сть, 1979. – 336 с.
7. Справочник по лесопилению [Текст] / Под ред. А.М. Копейкина. – М.: Экология, 1991. – 496 с.

Поступила 15.04.08

S.P. Ageev

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

Power Use Factors of Frame Saws

Construction and analysis of diagrams is carried out for the current productivity and specific power consumption of frame saws; the factors affecting energy consumption of frame saws are determined.

Keywords: frame saw, productivity, power consumption, specific consumption of electric power, power loss, log sawing cycle.



УДК 630*901:571

И.А. Захаренко

Военная академия Республики Беларусь

ОПИСАНИЕ ЛЕСОВ ПРИМОРСКОЙ ОБЛАСТИ ДАЛЬНЕГО ВОСТОКА

Организация геоботанического и картографического мониторинга лесов, создание соответствующих служб и системы подготовки кадров – важная задача, стоявшая перед правительством Российской Империи. Научная деятельность Лесного департамента до сих пор является примером эффективного управления и рационализации государственного лесного хозяйства.

Большой объем географических и топографических работ в Приамурье выполняло Министерство государственных имуществ. В ходатайстве генерал-губернатора Восточной Сибири «О назначении необходимого числа топографов со знающим лесную часть офицером для приведения в известность лесов около берегов Восточного океана по Амуру и его притокам» было постановлено: «Министру Государственных имуществ командировать для означенной цели в распоряжение генерал-губернатора Восточной Сибири одного лесного офицера и трех топографов».*

В целях «...приведения в известность лесов Восточной Сибири» в 1860–1867 гг. были командированы запасной лесничий штабс-капитан Корпуса лесничих А.Ф. Будищев, топографы Корпуса межевщиков коллежский секретарь М.М. Любенский, коллежские регистраторы А.И. Корзун и А.Г. Петрович.

Кроме изучения лесов, в задачу экспедиции входили топографическая съемка местности, выявление колонизационных возможностей обследованных районов и перепись аборигенного населения. Большое значение для успешного выполнения порученной работы имели необходимые географические и картографические материалы, о чем свидетельствует рапорт штабс-капитана А.Ф. Будищева генерал-губернатору Восточной Сибири Корсакову от 9 февраля 1860 г. с просьбой снабдить его «...пред отправлением в ст. Хабаровскую имеющимися ... картами и описаниями р. Амур, р. Уссури и берегов Восточного океана для руководства возложенного на чинов лесной партии поручения».**

Кроме того, штабс-капитан Будищев просил обеспечить всех чинов партии необходимыми топографическими инструментами, а именно: «тремя блок-мензулами, алидадой, уровнем, буссолю, готовальной и двумя запасными досками с чехлами». Лично ему были необходимы «... для проверки действий межевых чинов и для отдельной съемки в свободное от основной работы время одна астролябия, пантограф, нивелир с рейками, кипрегель»***

* Гос. архив Иркутской обл. Ф.24. Оп.1. Д. 350. К. 1471. Л. 1.

** Гос. архив Иркутской обл. Ф.24. Оп.10. Д. 82. К. 1657. Л. 10.

*** Там же. Л.1.

В рапорте отмечено, что «...с открытием весны 1860 г. все чины лесоустройительной партии, командированные министром Государственных имуществ на лесные работы в Приморскую область Восточной Сибири ...приступили к производству полевых съемочных работ» вдоль долины среднего и нижнего течения Амура, на побережье Амурского лимана и Татарского пролива, в бассейнах Уссури и оз. Ханка и на берегах Японского моря.

Топографические работы регламентировались особыми лесоустройительными инструкциями, предусматривавшими в зависимости от условий местности различную точность съемок. Применялись главным образом мензурные съемочные ходы с кипрегелем-дальномером, опиравшиеся на речные артерии. Особое внимание обращалось на съемку рельефа, который выявлялся не только по магистральной линии, но и по сети ходов, прорубаемых на 10...15 км в обе стороны от реки при интервалах от 2 до 10 км в зависимости от требований лесного хозяйства.

Экспедиция рекогносцировала труднодоступные глубинные районы Приморской области, выполнила девять пересечений гор Сихотэ-Алиня на юге и севере, проследила течение ряда типично горных рек бассейна Японского моря и установила, что большинство перевалов малозаметны. Впервые было установлено, что западные склоны хребта положе восточных: «Преимущественно замечено, что покатость его к морю значительнее и обрывистее покатости внутрь страны, и это же подтверждается приморскими речками, которых течение всегда почти быстрее, нежели континентальных» [1].

А.Ф. Будищев впервые дал общее представление о строении Сихотэ-Алиня. Исследователь считал, что Сихотэ-Алинь, разрезаемый р. Суйфун, продолжается в Маньчжурии, достигая на севере устья р. Амур. Он составил географическое описание озер Ханка и Малая Ханка, разделенных узким перешейком, низменной степи от р. Мулинхэ на севере до р. Лефу на юге, обследовал приморские речки и морское побережье между заливами Ольга и Посыет на протяжении 700 км.

Членами экспедиции была картографирована северная часть хребта Синий – ровные пологие возвышенности, поросшие лесом, выполнена топографическая съемка пологих лесных массивов к северу от 52-й параллели до устья р. Амур с понижениями, «заполненными» болотами, озер Орель и Чля, расположенных в межгорных котловинах, а также невысоких горных хребтов севернее долины р. Амгунь до заливов Сахалинский и Николая.

Топограф М.М. Любенский на основании материалов топографических съемок составил следующие картографические материалы: «Маршрут р. Хунгари, ее притоков с окрестностями», «Маршрут р. Гарин и ее окрестностей», «Маршрут оз. Ближнего, или Нора», «Маршрут оз. Кизи и его окрестностей», топограф А.И. Корзун – карту русла рек Имы и Ваку. В 1860 г. начальник экспедиции А.Ф. Будищев составил карты русла р. Уссури между устьями рек Дауби и Сунгача и р. Дауби, притока Уссури, от устья на протяжении 160 верст ее течения. В 1863–64 гг. А.Ф. Будищев закончил работу над картой нижнего течения р. Тумнин, морского побережья между устьем р. Тумнин и заливом Уй и планом лесов в окрестностях г. Николаевска. В 1867 г. М.М. Любенским по материалам экспедиции составлена сводная карта маршрутов водного пути по рекам Амур и Уссури на 16 листах, в 1868 г. при чертежной по личному приказанию управляющего областью – карта Приморской области Восточной Сибири.*

* Гос. архив Дальнего Востока. Ф. 6. Оп. 1. Д. 26. Л. 5.

Руководимая А.Ф. Будищевым экспедиция была крупным научным предприятием своего времени, имевшим существенное значение для получения первых обобщенных сведений не только о лесах, но и о природе территорий, только что вошедших в состав России и почти не известных науке. В течение 1859–1863 гг. и 1866–1867 гг. эта экспедиция своими маршрутами «искрестила Приамурский край по всей системе орошающих его рек и водоразделов» на площади около 300 тыс. км². Произведенная первая промышленная таксация положила начало учету и устройству лесов на Дальнем Востоке.

Под руководством А.Ф. Будищева выполнены разносторонние исследования, на основании которых было составлено первое специальное описание лесов части Приморской области и оценены размеры и состояние ее лесных ресурсов; высказаны соображения о характере использования лесов и тем самым заложены основы лесного хозяйства на Дальнем Востоке. Описание содержит не только географическое распределение, но и характеристики состояния девственных ландшафтов Приамурья и Приморья до начала их хозяйственного освоения. Собранная информация по физической географии обследованной территории была обобщена в первой главе, имеющей характер первого сводного географического очерка о Приамурье и Приморье. В нем впервые выделены и охарактеризованы широтные «полосы», соответствующие современным природным зонам. А.Ф. Будищев уточнил границы распространения на юге Дальнего Востока многих древесных пород и кустарников и обобщил свои наблюдения в особом «Ботаническом описании древесных и кустарниковых пород, произрастающих в Амурском, Уссурийском и Южно-Уссурийском краях» [2].

Исследования А.Ф. Будищева не ограничивались рамками лесного хозяйства, а захватывали широкий круг вопросов, имеющих общегеографическое значение и связанных с организацией колонизации края.

Материалы, собранные экспедицией А.Ф. Будищева, могут быть использованы при изучении динамики географических процессов в Приморье и Приамурье за минувшие 150 лет. Например, «Карта части Приморской области, заключающей Приамурский и Уссурийский края и Прибрежье Восточного океана, составленная Корпуса лесничих капитаном Будищевым в 1864 г.» позволяет исследовать процесс восстановления растительного покрова изученного района и закономерности его изменения под влиянием деятельности человека, динамику и территориальное размещение населенных пунктов.

По данным А.Ф. Будищева, все население этого района на 1864 г. «...едва ли насчитывает более 10 000 душ». Столь редкая заселенность (0,03 чел./км²) побудила экспедицию отмечать на карте не только каждый населенный пункт или стойбище, но и расположение отдельных стоянок, юрт и фанз в тайге. А.Ф. Будищев и его сотрудники отлично понимали, что таежники всесторонне оценивали местность перед тем, как там «отaborиться». Поэтому обозначение таких отдельных жилищ служит не только для ориентирования, но и для выбора мест поселений. Сравнение современной карты района Южного Приморья, наиболее густо заселенной части Дальнего Востока, и карты А.Ф. Будищева показывает, что сегодняшние населенные пункты в большинстве своем находятся на местах расположения отдельных стоянок.

Анализ карты дает возможность проследить динамику изменения и числа населенных пунктов. А.Ф. Будищев зафиксировал в 1864 г. наличие 175 русских и инородческих населенных пунктов в долине р. Уссури, в пределах нынешнего Хабаровского края, и по р. Амур от Хабаровска до Николаевска. На топографических картах (масштаб 1 : 200 000), составленных до укрупнения колхозов и изданных в

1951–1953 гг., сохранилось 118 населенных пунктов (6 русских и 51 национальное поселение) были оставлены, что связано не столько с неправильным выбором мест для жилья, сколько с переходом местных жителей к оседлому образу жизни [3].

Проведенная на исследуемой территории перепись аборигенного населения позволила оценить в первом приближении «места, удобные для поселения» русских, составить впервые характеристику хозяйственных условий горной страны на начальном этапе ее освоения. Экспедиция на основе данных о наводнениях 1861 и 1863 гг. обратила внимание на отрицательную особенность пойменных площадей. Вот что сообщал А.Ф. Будищев по поводу осадков: «От этих же летних дождей бывают чрезвычайные или случайные наводнения почти ежегодно по всему краю». Из-за наводнений 1861 и 1863 гг. на р. Уссури из 24 станиц осталось 6.

Следует особо отметить сложность проведения экспедиции в совершенно неосвоенном крае, где не ступала нога человека. Неудачный спуск на лодке за провизией проводника Н. Дианова и классного топографа Петрович закончился потерей лодки, инструментов. В рапорте на имя управляющего Приморской областью от 5 сентября 1861 г. Петрович писал, что «...трудности переходов по хребтам, крутизна подъемов и спусков с гор, чистка для прохода вьючных лошадей леса и неблагоприятная погода» заставили приостановить работы, перейти перевал через хребет Сихотэ-Алинь к р. Хунгари на Амур, где «...предвиделась возможность спасти людей от голодной смерти». С огромными трудностями они вышли к селению гольдов. Петрович не мог даже вернуться в Мариинск, так как находился «...в самом беспомощном положении, не имея не только платья, обуви, но даже и пищи по причине невозможности приобрести все это в долг». * Из его рапорта следовало, что он без посторонней помощи не мог передвигаться.

Высокую оценку проведенным работам дал военный губернатор Приморской области контр-адмирал Казакевич: «Командированные в мое распоряжение члены лесоустроительной партии – классный топограф Корзун, младший землемер топограф Любенский и инженер топограф Петрович – исполняли возложенные на них поручения по осмотру лесов с особым усердием, даже и при тех трудностях, с которыми сопряжен осмотр лесов в местах необитаемых». **

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Будищев, А.Ф.* Описание лесов части Приморской области [Текст] / А.Ф. Будищев // Записки Сибирского отдела ИРГО. – Иркутск, 1868. – Вып. 10. – С. 5.
2. *Будищев, А. Ф.* Описание лесов части Приморской области [Текст] / А.Ф. Будищев // Записки Сибирского отделения ИРГО. – Иркутск, 1867. – Вып. 9.
3. *Стариков, Г.Ф.* Важный памятник дальневосточной картографии [Текст] / Г.Ф. Стариков, А.И. Степанов // Вопросы географии Дальнего Востока. – Хабаровск, 1963. – Сб. 6. – С. 298.

Поступила 02.04.08

I.A. Zakharenko
Military Academy of the Republic of Belarus

Description of Primorsky Region Forests in the Far East

* Гос. архив Иркутской обл. Ф.24. Оп.1. Д. 350. К. 1471. Л. 1.

** Там же. Л. 19.



ЮБИЛЕИ

УДК 06.091

АЛЕКСАНДР ИВАНОВИЧ БАРАБИН
(к 70-летию со дня рождения)

16 июля 2009 г. лесоводу, доктору сельскохозяйственных наук, профессору кафедры лесных культур и ландшафтного строительства Архангельского государственного технического университета Александру Ивановичу Барабину исполнилось 70 лет.

А.И. Барабин родился в 1939 г. с. Тынцы Камешковского района Владимирской области. В 1960 г. окончил Муромцевский лесотехнический техникум, отработал почти два года мастером леса в Пинежском леспромхозе Архангельской области. Затем был направлен от производства на учебу в Архангельский лесотехнический институт, который окончил в 1966 г. по специальности «Лесное хозяйство».

В 1966–1968 гг. работал главным лесничим учебно-опытного лесхоза АЛТИ, в 1968–1972 гг. – старшим инженером Вельского опытно-показательного лесхоза, одновременно учась в заочной аспирантуре, в 1972–1977 гг. – младшим научным сотрудником Архангельского института леса и лесохимии. В 1974 г. Александр Иванович успешно защитил кандидатскую диссертацию на тему «Прогнозирование и учет урожая семян ели в ельниках Архангельской области».

В АЛТИ (ныне АГТУ) начал работать в 1977 г. старшим преподавателем, с 1979 г. по 1982 г. был доцентом. В 1982 г. возглавил кафедру лесных культур и механизации лесохозяйственных работ, которой руководил до 1997 г. В 1991 г. А.И. Барабин стал доктором сельскохозяйственных наук, тема докторской диссертации «Закономерности семеношения ели на Европейском Севере и основы лесосеменного прогнозирования». В 1993 г. ему присвоено ученое звание профессора. В 1993–1999 гг. был ученым секретарем докторского диссертационного совета.

За время работы в университете зарекомендовал себя как опытный педагог, которого любят и уважают студенты и сотрудники. В настоящее время преподает дисциплины: генетика, селекция растений, плодородство. Со многими студентами занимается научно-исследовательской работой.

А.И. Барабин – автор более 150 научных работ. Его научные интересы – искусственное лесовосстановление лиственницы и пихты, занесенных в Красную книгу Архангельской области. В частности, занимается прогнозированием урожая хвойных пород и вопросами повышения качества их семян. Разработал новую методику точного прогнозирования урожая семян ели на Европейском Севере, аналогов которой нет в отечественной и зарубежной литературе. Результаты исследований используются в учебном процессе.

В 1997 г. А.И. Барабин награжден нагрудным знаком Федеральной службы лесного хозяйства РФ «За сбережение и приумножение лесных богатств России». В 1998 г. Александр Иванович стал академиком Академии проблем качества. В том же году награжден медалью ордена «За заслуги перед Отечеством» 2-й степени. В 2004 г. отмечен нагрудным знаком Министерства образования РФ «За развитие научно-исследовательской работы студентов».

Увлечения Александра Ивановича, как он сам говорит, – наблюдение за природой и рыбалка.

От всей души поздравляем замечательного человека и ученого Александра Ивановича Барабина с юбилеем. Желаем крепкого здоровья, бодрости, новых творческих успехов.

Ректорат Архангельского государственного
технического университета,
коллектив лесохозяйственного факультета,
коллеги и ученики

*Administration of Arkhangelsk State Technical University, employees of forestry faculty,
colleagues and followers*

Alexander I. Barabin (by 70th Birthday)

УДК 06.091

К.Г. БОГОЛИЦЫНУ – 60 ЛЕТ

19 августа 2009 г. исполняется 60 лет со дня рождения Константина Григорьевича Боголицына, блестящего педагога и ученого, профессора, доктора химических наук, директора Института экологических проблем Севера УрО РАН, заслуженного деятеля науки РФ, член-корреспондента РИА, академика РАИН и МАНЭБ, действительного члена Международной академии лесных наук (IAWS), Соросовского профессора, заведующего междуниверситетской кафедрой теоретической и прикладной химии Архангельского государственного технического университета, лауреата премии им. М.В. Ломоносова.

После окончания химико-технологического факультета Архангельского лесотехнического института работал в должности инженера НИСа, учился в аспирантуре и в 1976 г. успешно защитил кандидатскую диссертацию в совете при Ленинградском технологическом институте ЦБП. Как молодой ученый в 1979–80 гг. стажировался в Университете г. Хельсинки (Финляндия). Работал старшим научным сотрудником НИСа, старшим преподавателем, доцентом, заведовал кафедрой общей и аналитической химии.

После успешной защиты в 1987 г. докторской диссертации в Институте химии древесины Латвийской АН и стажировки в Университете г. Лунд (Швеция) возглавил кафедру теоретической и прикладной химии, которой в последствии был придан статус междуниверситетской кафедры МГУ – АГТУ – ПГУ.

К.Г. Боголицыным подготовлены и опубликованы учебные и учебно-методические пособия, учебные программы; разработаны авторские учебные курсы, органично учитывающие фундаментальность университетского химического образования и прикладной характер будущей деятельности. Разработаны и внедрены концепции многоуровневых программ экологического образования и подготовки специалистов в области химии и химической переработки древесины, включающие и переподготовку инженерно-технического персонала предприятий химико-лесного комплекса. Для повышения методического уровня учебных курсов созданы специализированные лаборатории, лабораторно-исследовательские стенды, активно используется ЭВМ и аудио-видео техника.

По результатам научных исследований им опубликовано около 445 научных работ, в том числе 5 монографий и 36 авторских свидетельств и патентов на изобретение.

Основное направление научных исследований К.Г. Боголицына – развитие фундаментальных принципов «зеленой» химии для решения задач устойчивого развития Баренц-Евроарктического региона.

Работы, выполненные К.Г. Боголицыным в течение последних пяти лет, связаны с исследованиями топологической, химической и надмолекулярной структур, функциональной природы и физико-химических свойств природных соединений, разработкой и экспериментальным подтверждением концепции термодинамической самоорганизации лигноуглеводной матрицы как природного бионанокompозита. Полученные результаты использованы для создания научных основ приоритетных экологически безопасных технологий комплексной переработки возобновляемого растительного сырья; создания оптимальной системы эколого-аналитического контроля деятельности предприятий химико-лесного комплекса; оценки факторов воздействия на природную среду ракетно-космической деятельности; установления основных закономерностей формирования компонентного состава почвенного покрова, миграции и трансформации экотоксикантов в условиях заболоченных территорий Европейского Севера России.

Константин Григорьевич принимает участие в подготовке научных кадров и в качестве руководителя аспирантуры и докторантуры, НОЦ «Химия природных соединений», председателя специализированного совета по защите докторских диссертаций и экспертного совета РФФИ – Север, члена Научного совета РАН по аналитической химии, члена совета по химии УМО. Является неоднократным победителем конкурсов грантов по ФЦНТП Миннауки РФ, РФФИ, ЕЗН Минобразования РФ, региональным и международным программам. Под его руководством подготовлены 3 докторских и 21 кандидатская диссертация.

К.Г. Боголицын свыше 30 лет сотрудничает с зарубежными научными центрами – Университетом г. Эмдена (Германия), Яггелонским университетом г. Кракова (Польша). Активно участвует в международных симпозиумах и конгрессах: «Waste-Expo-95» (США), «Haz Mat-96» (США), «Экологические проблемы больших городов – инженерные решения», 3-й Международный Баренц-симпозиум (Норвегия), Международный конгресс и техническая выставка «Вода: экология и технология».

За достижения в научно-образовательной деятельности профессор Боголицын награжден орденом Дружбы, серебряной и бронзовой медалями ВДНХ, Почетной грамотой Миннауки РФ, являлся стипендиатом государственной научной стипендии Правительства РФ (1997–2000 гг.).

Сердечно поздравляем Константина Григорьевича с юбилеем и желаем ему дальнейших достижений, успешных благодарных учеников.

Ректорат и коллектив АГТУ,
Институт экологических проблем Севера,
коллеги и ученики

ASTU administration and staff, Institute of Ecological Problems of the North, colleagues and followers

Konstantin G. Bogolitsyn – 60 Years Old
