

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

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

ИЗВЕСТИЯ
ВЫСШИХ УЧЕБНЫХ ЗАВЕДЕНИЙ

Лесной журнал

Научный журнал

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

5/341

2014

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

РЕДАКЦИОННАЯ КОЛЛЕГИЯ:

МЕЛЕХОВ В.И. – гл. редактор, д-р техн. наук, проф. (Россия, Архангельск)
БАБИЧ Н.А. – зам. гл. редактора, д-р с.-х. наук, проф. (Россия, Архангельск)
БОГОЛИЦЫН К.Г. – зам. гл. редактора, д-р хим. наук, проф. (Россия, Архангельск)
БЕЛЯКОВА Р.В. – отв. секретарь, засл. работник культуры РФ (Россия, Архангельск)

ЧЛЕНЫ РЕДКОЛЛЕГИИ:

Бессчетнов В.П., д-р биол. наук, проф. (Россия, Нижний Новгород)
Ван Хайнинген А., д-р наук, проф. (США, Ороно)
Воронин А.В., д-р техн. наук, проф. (Россия, Петрозаводск)
Гельфанд Е.Д., д-р техн. наук, проф. (Россия, Архангельск)
Камусин А.А., д-р техн. наук, проф. (Россия, Москва)
Кищенко И.Т., д-р биол. наук, проф. (Россия, Петрозаводск)
Кожухов Н.И., д-р экон. наук, проф., академик РАСХН (Россия, Москва)
Куров В.С., д-р техн. наук, проф. (Россия, Санкт-Петербург)
Малыгин В.И., д-р техн. наук, проф. (Россия, Северодвинск)
Матвеева Р.Н., д-р с.-х. наук, проф. (Россия, Красноярск)
Мерзленко М.Д., д-р с.-х. наук, проф. (Россия, Москва)
Нимц П., д-р наук, проф. (Швейцария, Цюрих)
Обливин А.Н., д-р техн. наук, проф. (Россия, Москва)
Онегин В.И., д-р техн. наук, проф. (Россия, Санкт-Петербург)
Памфилов Е.А., д-р техн. наук, проф. (Россия, Брянск)
Романов Е.М., д-р с.-х. наук, проф. (Россия, Йошкар-Ола)
Рубцов М.В., д-р с.-х. наук, проф., чл.-корр. РАСХН (Россия, Москва)
Сакса Т., д-р с.-х. наук, ст. науч. сотр. (Финляндия, Хельсинки)
Санаев В.Г., д-р техн. наук, проф. (Россия, Москва)
Селиховкин А.В., д-р биол. наук, проф. (Россия, Санкт-Петербург)
Сергеевичев В.В., д-р техн. наук, проф. (Россия, Санкт-Петербург)
Сёренсен У.Я., проф. (Норвегия, Стейнхьер)
Сигурдссон Б.Д., д-р наук, проф. (Исландия, Хваннейри)
Тараканов А.М., д-р с.-х. наук, гл. науч. сотр. (Россия, Архангельск)
Хакимова Ф.Х., д-р техн. наук, проф. (Россия, Пермь)
Холуша О., д-р наук, проф. (Чехия, Брно)
Черная Н.В., д-р техн. наук, проф. (Белоруссия, Минск)
Черных В.Л., д-р с.-х. наук, проф. (Россия, Йошкар-Ола)
Ширнин Ю.А., д-р техн. наук, проф. (Россия, Йошкар-Ола)
Штукин С.С., д-р с.-х. наук, проф. (Белоруссия, Минск)
Энгельманн Х.-Д., проф., д-р инж. наук (Германия, Эмден)

ЧЛЕНЫ РЕДАКЦИОННОГО СОВЕТА:

Бабич Н.А. – председатель, д-р с.-х. наук, проф. (Россия, Архангельск)
Билей П.В., д-р техн. наук, проф., акад. ЛАН Украины (Украина, Львов)
Залесов С.В., д-р с.-х. наук, проф. (Россия, Екатеринбург)
Мясищев Д.Г., д-р техн. наук, проф. (Россия, Архангельск)
Наквасина Е.Н., д-р с.-х. наук, проф. (Россия, Архангельск)
Уголев Б.Н., д-р с.-х. наук, проф. (Россия, Москва)
Хабаров Ю.Г., д-р хим. наук, проф. (Россия, Архангельск)

MINISTRY OF EDUCATION AND SCIENCE OF THE RUSSIAN FEDERATION

NORTHERN (ARCTIC) FEDERAL UNIVERSITY
NAMED AFTER M.V. LOMONOSOV

BULLETIN
OF HIGHER EDUCATIONAL INSTITUTIONS

Lesnoi Zhurnal

(Forestry journal)

Scientific journal

Established in 1833
Issued as part of the
“Bulletin of Higher Educational Institutions” since 1958
Published 6 times a year

5/341

2014

PUBLISHER: NORTHERN (ARCTIC)
FEDERAL UNIVERSITY NAMED AFTER M.V. LOMONOSOV

EDITORIAL PANEL:

MELEKHOV V.I. – Editor-in-Chief, Doctor of Engineering, Prof. (Russia, Arkhangelsk)
BABICH N.A. – Deputy Editor-in-Chief, Doctor of Agriculture, Prof. (Russia, Arkhangelsk)
BOGOLITSYN K.G. – Deputy Editor-in-Chief, Doctor of Chemistry, Prof. (Russia, Arkhangelsk)
BELYAKOVA R.V. – Executive Secretary, Honoured Worker of Culture of the Russian Federation (Russia, Arkhangelsk)

MEMBERS OF THE EDITORIAL PANEL:

Besschetnov V.P., Doctor of Biology, Prof. (Russia, Nizhny Novgorod)
Van Heiningen A., PhD, Prof. (USA, Orono)
Voronin A.V., Doctor of Engineering, Prof. (Russia, Petrozavodsk)
Gelfand E.D., Doctor of Engineering, Prof. (Russia, Arkhangelsk)
Kamusin A.A., Doctor of Engineering, Prof. (Russia, Moscow)
Kishchenko I.T., Doctor of Biology, Prof. (Russia, Petrozavodsk)
Kozhukhov N.I., Doctor of Economics, Prof., Member of the Russian Academy of Agricultural Sciences (Russia, Moscow)
Kurov V.S., Doctor of Engineering, Prof. (Russia, Saint-Petersburg)
Malygin V.I., Doctor of Engineering, Prof. (Russia, Severodvinsk)
Matveeva R.N., Doctor of Agriculture, Prof. (Russia, Krasnoyarsk)
Merzlenko M.D., Doctor of Agriculture, Prof. (Russia, Moscow)
Niemz P., PhD, Prof. (Switzerland, Zürich)
Oblivin A.N., Doctor of Engineering, Prof. (Russia, Moscow)
Onegin V.I., Doctor of Engineering, Prof. (Russia, Saint-Petersburg)
Pamfilov E.A., Doctor of Engineering, Prof. (Russia, Bryansk)
Romanov E.M., Doctor of Agriculture, Prof. (Russia, Yoshkar-Ola)
Rubtsov M.V., Doctor of Agriculture, Prof., Corresponding Member of the Russian Academy of Agricultural Sciences (Russia, Moscow)
Saksa T., Doctor of Agriculture, Senior Researcher (Finland, Helsinki)
Sanaev V.G., Doctor of Engineering, Prof. (Russia, Moscow)
Selikhovkin A.V., Doctor of Biology, Prof. (Russia, Saint-Petersburg)
Sergeevichev V.V., Doctor of Engineering, Prof. (Russia, Saint-Petersburg)
Sørensen O.J., PhD, Prof. (Norway, Steinkjer)
Sigurðsson B.D., PhD, Prof. (Iceland, Hvanneyri)
Tarakanov A.M., Doctor of Agriculture, Prof. (Russia, Arkhangelsk)
Khakimova F.Kh., Doctor of Engineering, Prof. (Russia, Perm)
Holuša O., PhD, Prof. (Czech Republic, Brno)
Chernaya N.V., Doctor of Engineering, Professor (Belarus, Minsk)
Chernykh V.L., Doctor of Agriculture, Prof. (Russia, Yoshkar-Ola)
Shirnin Yu.A., Doctor of Engineering, Prof. (Russia, Yoshkar-Ola)
Shtukin S.S., Doctor of Agriculture, Prof. (Belarus, Minsk)
Engelmann H.-D., Doctor of Engineering, Prof. (Germany, Emden)

MEMBERS OF THE EDITORIAL BOARD:

Babich N.A. – Chairman, Doctor of Agriculture, Prof. (Russia, Arkhangelsk)
Biley P.V., Doctor of Engineering, Prof., Member of the National Academy of Sciences of Ukraine (Ukraine, Lviv)
Zalesov S.V., Doctor of Agriculture, Prof. (Russia, Yekaterinburg)
Myasishchev D.G., Doctor of Engineering, Prof. (Russia, Arkhangelsk)
Nakvasina E.N., Doctor of Agriculture, Prof. (Russia, Arkhangelsk)
Ugolev B.N., Doctor of Engineering, Prof. (Russia, Moscow)
Khabarov Yu.G., Doctor of Chemistry, Prof. (Russia, Arkhangelsk)



СОДЕРЖАНИЕ

ЛЕСНОЕ ХОЗЯЙСТВО

<i>М.И. Сорока, Т.В. Юскевич, В.М. Гриб.</i> Особенности формирования насаждений с участием интродуцированных видов рода <i>Pinus</i> L. на Украинском Полесье	9
<i>Е.Н. Наквасина.</i> Испытание межгеографических потомств сосны обыкновенной (<i>Pinus sylvestris</i> L.) в Республике Коми	17
<i>И.Ю. Харлов, Е.В. Постовалов.</i> Организация использования лесов в Тюменской области	25
<i>Е.В. Ошкина, Р.Д. Колесникова, Н.В. Выводцев, Ю.Г. Тагильцев.</i> Лимонник китайский – дальневосточный эфиرونос	35
<i>С.В. Коптев.</i> Закономерности формирования товарной структуры в усыхающих ельниках	42
<i>Г.В. Соколова.</i> Метод долгосрочного прогноза показателей пожарной опасности в лесах Приамурья на основе учета параметров атмосферной циркуляции	50
<i>А.И. Безлаковский, В.К. Дубовый, Н.В. Сысоева, А.В. Дю, В.Г. Гусев.</i> Базальтоволокнистые материалы как защитные экраны для локализации низовых пожаров	63
<i>Д.А. Данилов, В.Б. Скупченко.</i> Изменения в строении древесины сосны и ели на анатомическом уровне в древостоях, пройденных рубками ухода и комплексным уходом	70
<i>В.Ю. Лисов, В.Н. Язов.</i> Экспериментальное определение водопроницаемости лесной почвы в зависимости от ее плотности	89

ЛЕСОЭКСПЛУАТАЦИЯ

<i>В.С. Петровский, В.В. Малышев.</i> Разработка и исследование систем управления режимами рубок ухода за лесом	97
<i>Д.Г. Мясичев, А.С. Ваиуткин, А.М. Швецов.</i> Постановка задач исследования подачи сжатого воздуха на фрикционные поверхности тормозного механизма с учетом эффекта сопла Лавала	107
<i>Т.В. Якушева.</i> Комплексная оценка доступности лесных ресурсов с учетом развития лесной транспортной инфраструктуры на территории Северо-Западного федерального округа	113

МЕХАНИЧЕСКАЯ ОБРАБОТКА ДРЕВЕСИНЫ
И ДРЕВЕСИНОВЕДЕНИЕ

<i>В.И. Мелехов, В.Н. Глухих, В.Е. Бызов.</i> Плоская деформация при изгибе круглого цилиндрически анизотропного неоднородного тела	118
<i>Л.А. Яремчук.</i> Влияние содержания канифоли в маслах на эксплуатационные свойства покрытий древесины	127
<i>С.П. Агеев.</i> Энергетические характеристики поточной линии производства пилопродукции	134
<i>И.Т. Глебов, В.В. Глебов.</i> Обработка кромок фанеры резанием	146

ХИМИЧЕСКАЯ ПЕРЕРАБОТКА ДРЕВЕСИНЫ

<i>Ю.Н. Сазанов.</i> Лигнин-полимерные композиты.....	153
<i>Ю.Г. Хабаров, Д.Е. Лахманов.</i> Деполимеризация конденсированных лигнинов под действием азотной кислоты.....	173
<i>В.И. Ковалев, Ю.Д. Алашкевич.</i> Координаты точек скрещивания режущих кромок окружных ножей размольной гарнитуры.....	182

ЮБИЛЕИ

<i>А.И. Кораблев, Н.В. Мурашкин, Д.Р. Тростинский, З.А. Дикая, В.М. Евдокимов.</i> Юбилей Владимира Ильича Мосягина.....	189
--	-----

ПАМЯТИ УЧЕНЫХ

<i>К.Г. Боголицын, Г.М. Тельшева.</i> Памяти Николая Ивановича Афанасьева (1959 – 2014 гг.).....	192
--	-----



CONTENTS

FORESTRY

<i>M.I. Soroka, T.V. Yuskevych, V.M. Gryb.</i> Features of the Formation of Forest Stands with Introduced Species of <i>Pinus</i> L. on Ukrainian Polissia.....	9
<i>E.N. Nakvasina.</i> Test of Intergeographical Offsprings of Scotch Pine (<i>Pinus sylvestris</i> L.) in Komi Republic.....	17
<i>I.Yu. Kharlov, E.V. Postovalov.</i> Organization of Forest Exploitation in the Tyumen Region.....	25
<i>E.V. Oshkina, R.D. Kolesnikova, N.V. Vyvodtsev, Yu.G. Tagiltsev.</i> Chinese Magnolia Vine – the Far Eastern Volatile-Oil-Bearing Plant.....	35
<i>S.V. Koptev.</i> Regularities of Commodity Structure Forming in Shrinking Spruce Forests	42
<i>G.V. Sokolova.</i> Long-Term Forecast Method of Fire Danger in the Priamurye Forests by Taking into Account the Parameters of Atmospheric Motion.....	50
<i>A.I. Bezlakovskiy, V.K. Dubovyy, N.V. Sysoeva, A.V. Dyu, V.G. Gusev.</i> Basalt Fiber Materials as a Barrier for Ground Fire Localization.....	63
<i>D.A. Danilov, V.B. Skupchenko.</i> Changes in the Structure of Pine and Spruce on the Anatomical Level in the Stands Passed Cutting and Complex Care.....	70
<i>V.Yu. Lisov, V.N. Yazov.</i> Experimental Definition of the Water Permeability of Forest Soils According to its Density.....	89

WOODEXPLOITATION

<i>V.S. Petrovsky, V.V. Malyshev.</i> Development and Research of Management Systems for Thinning Operations Modes for the Forest.....	97
<i>D.G. Myasishchev, A.S. Vashutkin, A.M. Shvetsov.</i> Problem Statement of Air-Feed Research on Frictional Surfaces of the Brake Assembly Taking into Account Effect of the Laval Nozzle.....	107
<i>T.V. Yakusheva.</i> Integrated Assessment of the Availability of Forest Resources Considering the Development of Forest Transport Infrastructure in the North-West Federal District.....	113

MECHANICAL TECHNOLOGY OF WOOD AND WOODSCIENCE

<i>V.I. Melekhov, V.N. Glukhikh, V.E. Byzov.</i> Plane Strain when Bending Round Cylindrical Anisotropic Heterogeneous Orthotropic Timber.....	118
<i>L.A. Yaremchuk.</i> The Effect of Rosin Content on the Running Ability of Oil-Based Coating Materials.....	127
<i>S.P. Ageev.</i> Energy Characteristics of the Flow Line of Sawn Timber Manufacture...	134
<i>I.T. Glebov, V.V. Glebov.</i> Edging of Plywood by Cutting.....	146

CHEMICAL TECHNOLOGY OF WOOD

<i>Yu.N. Sazanov.</i> Lignin-Polymeric Composites.....	153
<i>U.G. Habarov, D.E. Lakhmanov.</i> Depolymerization of Condensed Lignins with Hydrogen Nitrate.....	173
<i>V.I. Kovalev, Y.D. Alashkevich.</i> Crossing Point Data of Cutting Edges District of Blades Grinding Tacking.....	182

JUBILEES

<i>A.I. Korablev, N.V. Murashkin, D.R. Trostinskiy, Z.A. Dikaya, V.M. Evdokimov.</i> Birthday Anniversary of Vladimir Mosyagin.....	189
---	-----

TO THE MEMORY OF SPECIALISTS

<i>K.G. Bogolitsyn, G.M. Telysheva.</i> In Memory of Nikolay Afanas"ev.....	192
---	-----



УДК 630*174.754

ОСОБЕННОСТИ ФОРМИРОВАНИЯ НАСАЖДЕНИЙ С УЧАСТИЕМ ИНТРОДУЦИРОВАННЫХ ВИДОВ РОДА *Pinus* L. НА УКРАИНСКОМ ПОЛЕСЬЕ

© М.И. Сорока¹, д-р биол. наук, проф.

Т.В. Юскевич¹, канд. с.-х. наук, доц.

В.М. Гриб², канд. с.-х. наук, доц.

¹Национальный лесотехнический университет Украины, ул. Генерала Чупринки, 103, г. Львов, Украина, 79057; e-mail: myroslava_soroka@yahoo.com

²Национальный университет биоресурсов и природопользования Украины, ул. Героев Оборона, 15, г. Киев, Украина, 03041; e-mail: gribvm@ukr.net

Проведено многостороннее исследование и последующий анализ показателей лесных насаждений с участием *Pinus rigida* Mill. и *P. banksiana* Lamb. в условиях Украинского Полесья в целях освещения особенностей успешного адаптационного процесса, поскольку особого внимания заслуживают именно те насаждения экзотов, которые прошли первичный этап акклиматизации и восстанавливаются в природе самостоятельно. На двух объектах были изучены структура и состав почвы, древостоя, а также сделаны фитоценологические описания на основе флористической классификации растительности с использованием метода Ж. Браун-Бланке. На первом исследованном участке сформировалось довольно устойчивое и адаптированное к условиям среды насаждение. Здесь естественной ассоциацией была ассоциация мокрых боров *Molinio (caeruleae)-Pinetum* W. Mat. et J. На современном этапе диагностируется лесная ассоциация *Leucobryo-Pinetum*. На втором участке созданные в прошлом лесные культуры с участием экзотических видов сосны тоже нашли свою новую экологическую нишу. На момент обследования он классифицируется как фитоценоз ассоциации *Quercus roboris-Pinetum* J. Mat. 1988. Таким образом, экзотические виды сосны прекрасно адаптировались в условиях Украинского Полесья, растут и дают хорошие приросты. Лесной фитоценоз постепенно принял эти насаждения, и на современном этапе здесь возобновились характерные виды фитоценозов, появилось естественное возобновление натурального леса, а также соответствующая микобиота.

Ключевые слова: фитоценологическая характеристика, фитоценоз, интродуцированные виды сосны.

Одним из важнейших условий успешного роста древесных растений является соответствие их требований условиям среды. Если рост аборигенных древесных видов в естественных условиях можно спрогнозировать и ориен-

тировать в нужном направлении, то посадка лесных культур, особенно при участии экзотов, требует глубоких исследований взаимоотношений деревьев как с элементами природного фитоценоза, так и с условиями чуждой им среды. Для определения данных параметров нами изучены несколько участков искусственных насаждений с участием интродуцированных видов рода *Pinus* L.

Объекты и методика

Объектами исследований были лесные насаждения с участием интродуцированных видов сосны (*Pinus rigida* Mill. и *P. banksiana* Lamb.). На них были изучены структура и состав почвы, древостоя, а также сделаны фитосоциологические описания на основе флористической классификации растительности с использованием метода Ж. Браун-Бланке [2]. Эта методика требовала правильного выбора и определения минимальной площади участка для описи, выявления полного видового состава фитоценоза, применения точных шкал количественных и качественных показателей видового состава, обработки фитоценологических таблиц и диагностирования синтаксонов.

Поскольку во многих случаях описания не содержали полного набора диагностических видов, что часто случалось при изучении видоизмененных лесных ценозов, также использовали дедуктивный метод К. Копечки и С. Гейни [4] с выделением базальных и дериватных сообществ, подчиненных высшим, чем союз, синтаксономическим единицам. Согласно этому методу в базальных сообществах со временем появляются характерные виды низших синтаксонов и проявляются черты коренной ассоциации, а дериватные сообщества долго удерживают характерные признаки двух синтаксонов высшего ранга. Фитосоциологические описания проводили после исследования флоры маршрутным методом в целях охвата максимального количества видов. Для соэологической категоризации исследованных участков учитывались данные Зеленой книги Украины [1]. Объемы, структура и названия синтаксонов приведены по Matuszkiewicz, 2001 [6].

Участки размещены в западной части государственного предприятия «Бродовское лесное хозяйство» Львовского областного управления лесного и охотничьего хозяйства. Первый участок находится в квартале 87: состав насаждения – 7Соб2Сж1Сб+Доб; возраст – 92 года; средний диаметр – 39,9 см; средняя высота – 27,1 м; бонитет – I; полнота – 0,67; тип леса – В_{3д}С. Рельеф участка равнинный (рис. 1, а).

Второй участок находится в квартале 95: состав насаждения – 8Соб2Сб; возраст – 81 год; средний диаметр – 34,7 см; средняя высота – 24,1 м; бонитет – I; полнота – 0,63; тип леса – В_{3д}С. Рельеф участка равнинный (рис. 1, б).

Почва на участках дерново-подзолистая. Она имеет следующие показатели: рН солевой – 3,11...3,35; P₂O₅ – 14...17 мг/кг; K₂O – 21...55 мг/кг; щелочно-гидролизированный азот – 60,4...88,2 мг/кг; гумус – 3,38...4,80 %.

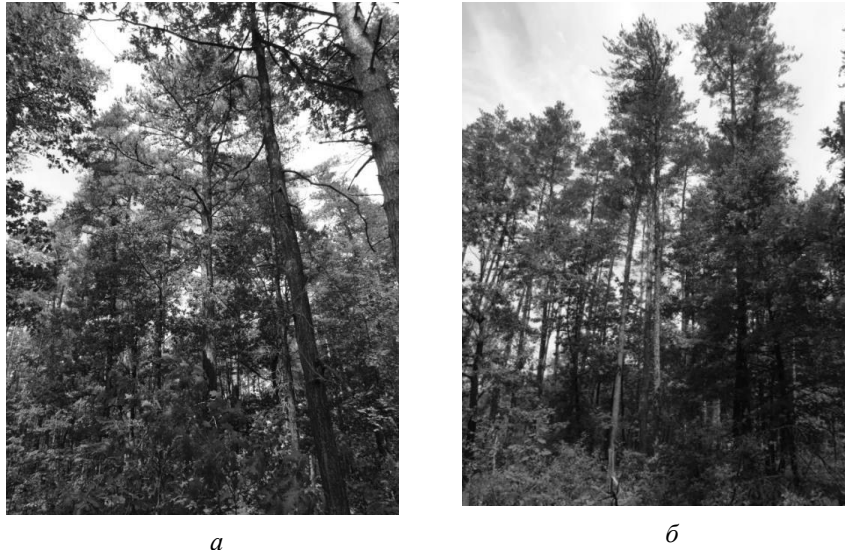


Рис. 1. Насаждения с участием *Pinus rigida* Mill. на первом (а) и *Pinus banksiana* Lamb. на втором (б) участках

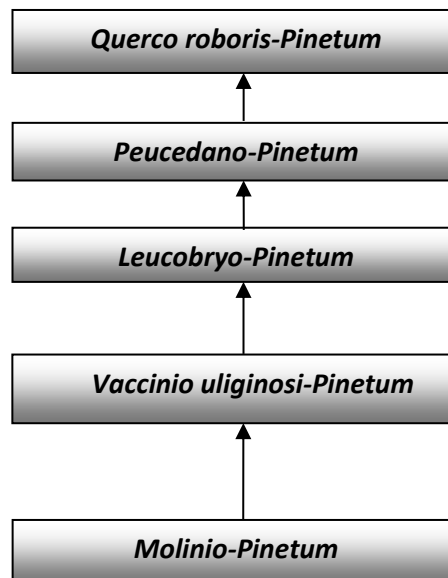
Обсуждение результатов

На первом исследованном участке сформировалось довольно устойчивое и адаптированное к условиям среды насаждение. Здесь естественной ассоциацией была ассоциация мокрых боров *Molinio (caeruleae)-Pinetum* W. Mat. et J. Mat. 1973, сформированная в типичных для Полесья условиях на верховых болотах *Ledo-Sphagnetum magellanici* Sukopp 1959 em. Neuhäusl. 1969. Остатки фитоценозов этих ассоциаций хорошо прослеживаются на прилегающих участках. Со временем глобальные проблемы, связанные с осушением и вырубкой окружающих насаждений, спровоцировали процесс эвтрофизации среды и, как следствие, мезофитизации растительного покрова (рис. 2).

На современном этапе процесс видоизменения среды продолжается, тут диагностируется лесная ассоциация *Leucobryo-Pinetum* Mat. (1962) 1973. После многих лет роста экзотических видов сосны фитоценоз все еще сохраняет как структурные, так и фитоценотические особенности естественного леса, несмотря на то, что в нем адаптировался и возобновляется также *Quercus rubra* L. (см. таблицу, синтаксон 1).

Leucobryo-Pinetum – один из самых распространенных типов боров на Полесье. Важным условием формирования таких ценозов в Европе является влияние океанического климата, в этом регионе их формированию также помогает влажность воздуха. Структурно исследованный фитоценоз напоминает лиственный лес. В первом древесном ярусе доминируют *Pinus sylvestris* L. и *P. rigida* Mill. Этот ярус создан посадкой лесных культур. Во втором древесном ярусе – *Pinus banksiana* Lamb., *Quercus rubra* L., *Betula pendula* Roth,

Рис. 2. Динамические процессы синтаксонов влажных боров Полесья



что тоже является следствием лесокультурных работ в прошлом. Все виды сосны в таких ценозах произрастают хорошо. Ярус кустарников развивается мозаично, только кустарнички отличаются постоянством видового состава и количественных характеристик. Травяной ярус слабо развит, моховой – практически всегда плотно сомкнут.

Всего в описании фитоценоза был зафиксирован 41 вид. Образуют ярусы кустарничков и трав преимущественно виды класса **VACCINIO-PICEETEA**, однако постоянными примесями являются и характерные виды классов **KOELERIO GLAUCAE-CORYNEPHORETEA CANESCENTIS** и **NARDO-CALLUNETEA**. Часто встречаются также сопутствующие виды, которые не имеют высоких количественных характеристик.

На втором обследованном участке созданные в прошлом лесные культуры с участием экзотических видов сосны тоже нашли новую экологическую нишу. В первом ярусе содоминируют *Pinus sylvestris*, *Pinus banksiana*, во втором – *Quercus rubra*, *Betula pendula*. Третий ярус формируют природные виды – *Carpinus betulus*, *Quercus robur*, *Betula pendula*, возобновления дают *Quercus rubra*, *Betula pendula*, *Pinus sylvestris*, *Pinus banksiana*. Именно естественное возобновление диагностирует тип природного фитоценоза. На момент обследования он классифицируется как фитоценоз ассоциации **Quercus roboris-Pinetum** (W. Mat. 1981) J. Mat. 1988 (Syn. **Pino-Quercetum** Mat. et Polak. 1955). Это естественная ассоциация смешанных лесов, распространение которой в Европе ассоциируется с континентальным климатом [3, 7]. Имеется переход между лиственными лесами и борами, который трудно диагностируется на основании флористических показателей вследствие слабо выраженного ком-

плекса характерных видов и подобия некоторых вариантов производных насаждений. Фитоценозы смешанных боров формируются на почвах невысокого плодородия и не выражают какой-либо привязанности к формам рельефа. Некоторые исследователи этого синтаксона считают, что он занимает места, в которых не растет *Fagus sylvatica* L. [3, 5].

В описании (см. таблицу, синтаксон 2) ассоциация диагностируется по характерным видам класса **VACCINIO-PICEETEA** и порядка **Vaccinio-Piceetalia**. Важным признаком фитоценозов этой ассоциации является сравнительно низкий процент бореальных видов, однако все они имеют высокие количественные характеристики.

Фитоценотическая характеристика лесных насаждений с участием интродуцированных видов рода *Pinus* L.

Показатели, синтаксон	1 <i>Leucobryo-Pinetum</i>	2 <i>Quercu roboris-Pinetum</i>
Процент покрытия	80	90
Количество видов	38	46
Интродуценты		
<i>Pinus rigida</i> A1*	2	
<i>Pinus banksiana</i> A1	1	3
<i>Pinus banksiana</i> A2	+	+
<i>Quercus rubra</i> A2	1	
<i>Quercus rubra</i> A3	+	+
D. sp. Ass.**:		
1 <i>Leucobryum glaucum</i>	1	
2 <i>Carex digitata</i>		1
2 <i>Euonymus verrucosa</i>		+
2 <i>Carpinus betulus</i> A3		+
2 <i>Quercus robur</i> A3	+	+
2 <i>Quercus robur</i> A4	+	
2 <i>Viola reichenbachiana</i>		1
D. sp. Cl***: a – VACCINIO-PICEETEA; b – Cladonio-Vaccinietalia; c – Dicrano-Pinion, Piceo-Vaccinienion uliginosi		
a <i>Dicranum scoparium</i>	+	+
a <i>Hylocomium splendens</i>	1	
a <i>Melampyrum pratense</i>		+
a <i>Pleurozium schreberi</i>	2	
a <i>Trientalis europaea</i>		1
a <i>Vaccinium myrtillus</i>	5	5
a <i>Vaccinium vitis-idaea</i>	2	+
b <i>Pinus sylvestris</i> A1	+	+
b <i>Pinus sylvestris</i> A4	+	+
c <i>Convallaria majalis</i>	1	1
c <i>Solidago virgaurea</i>		+
c <i>Polytrichum commune</i>	2	
c <i>Orthilia secunda</i>		+

Продолжение таблицы		
Показатели, синтаксон	1 <i>Leucobryo-Pinetum</i>	2 <i>Quercu roboris-Pinetum</i>
<i>D. sp. Cl.: a – ALNETEA GLUTINOSAE, Alnetalia glutinosae, Alnion glutinosae</i>		
<i>a Frangula alnus</i>	1	+
<i>D. sp. Cl.: a – FESTUCO-BROMETEA</i>		
<i>a Euphorbia cyparissias</i>		1
<i>D. sp. Cl.: a – ARTEMISIETEA VULGARIS; b – ARTEMISIENEA VULGARIS; GALIO-URTICENEA</i>		
<i>a Rubus caesius</i>	+	1
<i>D. sp. Cl.: a – MOLINIO-ARRHENATHERETEA; b – Trifolio fragiferae-Agrostietalia stoloniferae, Agropyro-Rumicion crispis; c – Molinietalia caeruleae, Filipendulion ulmariae; d – Arrhenatheretalia, Cynosurion</i>		
<i>a Holcus lanatus</i>	+	
<i>a Prunella vulgaris</i>		+
<i>b Carex hirta</i>		1
<i>c Lysimachia vulgaris</i>		+
<i>d Leontodon autumnalis</i>	+	
<i>D. sp. Cl.: a – NARDO-CALLUNETEA</i>		
<i>a Hieracium pilosella</i>	+	
<i>a Potentilla erecta</i>		1
<i>a Calluna vulgaris</i>		+
<i>a Luzula campestris</i>		+
<i>a Luzula multiflora</i>	+	+
<i>a Lycopodium clavatum</i>		1
<i>a Viola canina</i>	+	
<i>D. sp. Cl.: a – KOELERIO GLAUCAE-CORYNEPHORETEA CANESCENTIS, Corynephorretalia canescentis; b – Vicio lathyroidis-Potentillion argenteae</i>		
<i>a Festuca ovina</i>	+	
<i>a Jasione montana</i>	+	
<i>a Rumex acetosella</i>		2
<i>b Hypericum perforatum</i>		+
<i>D. sp. Cl.: a – QUERCO-FAGETEA; b – Fagetalia sylvaticae; c – Carpinion betuli</i>		
<i>a Anemone nemorosa</i>		2
<i>b Atrichum undulatum</i>		+
<i>b Polygonatum multiflorum</i>		1
<i>b Poa nemoralis</i>	+	1
<i>b Carex sylvatica</i>	1	1
<i>c Carex pilosa</i>	+	+
<i>c Melampyrum nemorosum</i>	1	+
<i>D. sp. Cl.: a – EPILOBIETEA ANGUSTIFOLII, Atropetalia; b – Epilobion ansustifolii; c – Atropion belladonnae; d – Sambuco-Salicion</i>		
<i>a Fragaria vesca</i>	+	
<i>d Betula pendula A2</i>	+	+
<i>d Betula pendula A3</i>		+
<i>d Betula pendula A4</i>	+	+
<i>d Sorbus aucuparia</i>		+

Окончание таблицы

Показатели, синтаксон	1 <i>Leucobryo-Pinetum</i>	2 <i>Quercu roboris-Pinetum</i>
Другие виды:		
<i>Agrostis tenuis</i>	2	
<i>Anthoxanthum odoratum</i>	+	
<i>Dryopteris carthusiana</i>	+	
<i>Hieracium sylvularum</i>		+
<i>Mnium rugicum</i>		1
<i>Luzula pilosa</i>	1	
<i>Oxalis acetosella</i>		1
<i>Pteridium aquilinum</i>	+	+

* A1...A4 – ярус.

** Диагностические виды ассоциаций.

*** Диагностические виды классов.

Выводы

На основании данных синтаксономической таблицы прослеживаются признаки процессов регенерации естественного лесного фитоценоза, несмотря на наличие интродуцированных видов рода *Pinus* L. Более того, можно сделать выводы о некотором подобии парной эволюции инородных элементов фитоценоза и лесной среды. Экзотические виды сосны прекрасно адаптировались, растут и дают хорошие приросты в условиях Полесья. При этом лесной фитоценоз постепенно принял эти насаждения и на современном этапе здесь возобновились характерные виды фитоценозов, появились естественное возобновление натурального леса и соответствующая микобиота. Все это свидетельствует о хорошо подобранном составе лесных культур для данных условий местопроизрастаний. Немаловажную роль играют и элементы викарного поведения как отдельных видов, так и целых фитоценозов хвойных лесов.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Зелена книга України / Під заг. ред. Я.П. Дідуха. К.: Альтерпрес, 2009. 448 с.
2. Braun-Blanquet J. Pflanzensoziologie. Grundzuge der Vegetationskunde. Wien-New York: Springer, 1964. Aufl. 865 s.
3. Critchfield W.B., Little E.L. Geographic distribution of the pines of the world. Washington: Miscellaneous Publication, 1966. 97 p.
4. Kopecky K., Hejny S. A new approach to the classification of anthropogenic plant communities // Vegetatio. 1974. Vol. 29. P. 17–20.
5. Krugman S.L., Jenkinson J.L. *Pinus* L. pine. In Seeds of the woody plants in the United States. Washington: Agriculture Handbook, 1974. 883 p.
6. Matuszkiewicz W. Przewodnik do oznaczania zbiorowisk roślinnych Polski. Warszawa: Państwowe Wydawnictwo Naukowe, 2001. 536 p.
7. Mirov N.T. The genus *Pinus*. New York: Arnold Press, 1967. 602 p.

Поступила 02.09.13

УДК 630*174.754

Features of the Formation of Forest Stands with Introduced Species of *Pinus L.* on Ukrainian Polissia

*M.I. Soroka*¹, Doctor of Biology, Professor

*T.V. Yuskevych*¹, Candidate of Agriculture, Associate Professor

*V.M. Gryb*², Candidate of Agriculture, Associate Professor

¹National Forestry University of Ukraine, Generala Chuprinki, 103, Lviv, 79057, Ukraine; e-mail: myroslava_soroka@yahoo.com

²National University of Life and Environmental Sciences of Ukraine, Heroyiv Oborony, 15, Kyiv, 03041, Ukraine; e-mail: gribvm@ukr.net

The many-sided research and subsequent analysis of growing stock factors with *Pinus rigida* Mill. и *P. banksiana* Lamb on Ukrainian Polissia were performed to highlight the features of successful adaptive process, as much attention should be paid exactly the planting exotic species that have passed the primary stage of acclimatization and are restored to the nature themselves. At these facilities were studied the structure and composition of the soil and growing, and then a phytosociological description was made on the basis of floristic classification of vegetation using the method by J. Braun-Blanquet. In the first explored area a plantation was formed fairly stable and adaptive to their environment. Natural association here was the association of wet millet-grasses *Molinio (caeruleae)-Pinetum*. At the current stage forest association *Leucobryo-Pinetum* is identified. On the second explored area artificial stands with exotic species of pine which had been developed in the past and also were found in a new ecological niche here. At the time of the survey it is classified as phytocenosis association *Quercu roboris-Pinetum* (Syn. *Pino-Quercetum*). Exotic species of pine have been successfully adapted in conditions of Ukrainian Polissia and show high amount of growth. In addition, forest phytocenosis has accepted this plantation and at this stage there have been resumed characteristic species of phytocenosis and have been developed a natural restocking of forest as well as a characteristic mycobiota.

Keywords: phytocenological characteristic, phytocenosis, introduced species of pine.

REFERENCES

1. Didukh A.P. *Zelena knyga Ukrainy* [The Green Book of Ukraine]. Kiev, 2009. 448 p.
 2. Braun-Blanquet J. *Pflanzensoziologie: grundzüge der vegetationskunde*. Wien-New York: Springer, 1964, 3 Auflage, 865 s.
 3. Critchfield W. B., Little E.L. *Geographic Distribution of the Pines of the World*. Washington, 1966. 97 p.
 4. Kopecky K., Hejny S. A New Approach to the Classification of Anthropogenic Plant Communities. *Vegetatio*, 1974, vol. 29, pp. 17-20.
 5. Krugman S. L., Jenkinson J. L. *Pinus L. pine*. In *Seeds of the woody plants in the United States*. Agriculture Handbook. Washington, 1974. 883 p.
 6. Matuszkiewicz W. Przewodnik do oznaczania zbiorowisk roślinnych Polski. Warszawa: Państwowe Wydawnictwo Naukowe, 2001. 536 s.
 7. Mirov N.T. *The genus Pinus*. New York, 1967. 602 p.
-

УДК 630*232.311.1

ИСПЫТАНИЕ МЕЖГЕОГРАФИЧЕСКИХ ПОТОМСТВ СОСНЫ ОБЫКНОВЕННОЙ (*PINUS SYLVESTRIS* L.) В РЕСПУБЛИКЕ КОМИ

© *Е.Н. Наквасина, д-р с.-х. наук, проф.*

Северный (Арктический) федеральный университет имени М.В. Ломоносова, наб. Северной Двины, 17, г. Архангельск, Россия, 163002; e-mail: e.nakvasina@narfu.ru

Изучен рост полусибсовых гибридов сосны обыкновенной, полученных от спонтанного скрещивания популяций различного географического происхождения. Гибридное потомство получено в географических культурах государственной сети, расположенных в подзоне средней тайги (Архангельская область и Республика Коми). В начальный период репродуктивного цикла, в который первыми вступили северные климатипы сосны (Мурманская, Архангельская области), их макростробилы опылялись пылью окружающих сосняков, так как в молодом потомстве сосны микростробилы не формировались. Полученное гибридное потомство (3 варианта и 2 контроля – потомство популяций опылителей) выращивается на опытном объекте в Корткеросском лесничестве Республики Коми (посадки 1990 г.). Гибридное потомство, имеющее в генотипе северную наследственность по линии исходной популяции (кандалакшская, мончегорская, пинежская сосны), более интенсивно вступило в репродукцию по сравнению с местным среднетаежным климатипом. Улучшение условий произрастания северных потомков стимулирует репродукционные процессы и обилие семеношения. При выращивании на широте южного родителя 22-летнее потомство сосны северотаежных экотипов среднетаежной репродукции превосходит по росту и объему ствола одновозрастное потомство автохтонных сосен, выступавших в качестве опылителей. Гибриды на 3...17 % превышают по высоте и диаметру одновозрастное потомство популяций-опылителей. Наибольший эффект от гибридизации наблюдается у самых северных гибридов: климатипов из Мурманской области, у которых различия по месту происхождения материнской и отцовской популяций достигают 5...6° с.ш. Полученные результаты позволяют сделать вывод о наследственном закреплении репродуктивных и ростовых особенностей географических рас сосны, что необходимо учитывать при интродукции семян для лесовосстановления.

Ключевые слова: сосна обыкновенная, гибриды, географическое происхождение, репродукция, рост.

Внутривидовая гибридизация основных лесообразующих пород, в первую очередь сосны и ели, всегда интересовала ученых. При скрещивании медленнорастущих северных сосен с быстрорастущими более южными ожидалось получить гибриды, имеющие гетерозисный эффект роста [5, 10, 13]. Предполагалось, что гибридное потомство аддитивно сочетает в себе родительские черты и дает новый генотип, в котором доля влияния материнского генотипа хоть и составляет 75...77 % [2, 10, 11], но может нивелироваться влиянием отцовской популяции (опылителя). Отцовская популяция в зависимости

от комбинации происхождений компонентов скрещиваний может приводить к усилению или ослаблению ростовых процессов гибридов.

Изучение последствий межгеографических скрещиваний имеет также значение для прогнозирования перемещений семян согласно Лесосеменному районированию, принятому в стране [4]. Потомства из инорайонных семян при спонтанном опылении местной сосной могут образовать гибриды, которые нарушат гомеостаз популяций в последующих поколениях.

Материалы и методы

Спонтанные потомства сосны обыкновенной (*Pinus sylvestris* L.) были получены нами в географических культурах государственной сети, расположенных в подзоне средней тайги (Архангельская область и Республика Коми). Северотаежные экотипы сосны начали образовывать макростробилы с 8-летнего возраста; образование колосков началось на 4...5 лет позже. В первые годы репродуктивного цикла опыление женских шишечек северной сосны происходило пылью среднетаежных сосняков, окружающих географические культуры. Семенное потомство было гибридным, полученным в результате скрещивания северо- и среднетаежных географических рас сосны [8]. Это позволило заложить серию географических культур второго поколения полусибсовыми межгеографическими гибридами сосны обыкновенной в местах произрастания материнских и отцовских насаждений – в Мурманской, Архангельской областях и Республике Коми, которые периодически обследовались [6, 7, 9].

В настоящей работе приводятся результаты изучения роста полусибсового спонтанного потомства сосны в 20-летних географических культурах второго поколения, заложенных в Корткеросском лесхозе Республики Коми (61°41' с.ш.) в 1990 г. С.Н. Тархановым под методическим руководством автора на вырубке из-под сосняка брусничного. Почва – подзол супесчаный среднесплодный иллювиально-железистый на двучленных отложениях. 2-летние сеянцы, выращенные в теплице Корткеросского лесхоза высаживали вручную по микроповышениям, подготовленным плугом ПКЛ-70, с расстоянием между рядами 2,5 м, между растениями в ряду 0,7...0,8 м. Количество высаженных растений по вариантам составило от 165 до 380 шт., приживаемость сеянцев на первый год после посадки 83...95 %.

На лесокультурную площадь было высажено пять вариантов сеянцев сосны (табл. 1), из них три – межгеографические спонтанные гибриды. Семенное потомство получено у сосны северотаежных климатипов в географических культурах Архангельской области и Республики Коми (средняя подзона тайги). Наличие гибридов с различными отцовскими популяциями, участвующими в опылении стробилос северной сосны, вызвало необходимость введения в эксперимент двух вариантов контроля, в качестве которых были использованы семена хозяйственной заготовки (того же года репродукции) из Плесецкого лесхоза Архангельской области и Корткеросского лесхоза Республики Коми.

Таблица 1

**Характеристика вариантов межгеографических скрещиваний
в испытательных культурах Республики Коми**

Вариант культур	Материнское насаждение		Отцовское насаждение (опылитель)	
	Область (республика), лесхоз (лесничество)	Географические координаты, град-мин с.ш./в.д.	Область (республика), лесхоз (лесничество)	Географические координаты, град-мин с.ш./в.д.
2К	2, Мурманская, Кандалакшский	67°00' 32°33'	Коми, Корткеросский	61°41' 51°31'
3К	3, Архангельская, Пинежский	64°45' 43°14'	» »	61°41' 51°31'
1хА	1х, Мурманская, Мончегорский	67°51' 32°57'	Архангельская, Плесецкий	62°54' 40°24'
А (естественное насаждение)	Архангельская, Плесецкий	62°54' 40°24'	» »	62°54' 40°24'
К (естественное насаждение)	Коми, Корткеросский	61°41' 51°31'	Коми, Корткеросский	61°41' 51°31'

Примечание. Нумерация климатипов (2, 3, 1х) и наименование лесхозов даны по Государственному реестру государственных географических культур.

При обследовании (2010 г.) проводили пересчет по диаметру (число замеренных деревьев колебалось по вариантам от 40 до 66 шт.). Высоты (H) определяли по графику высот общепринятыми методами, объем стволовой древесины (в коре) – по формулам, предложенным Л.Ф. Ипатовым [3] для молодых сосновых культур с видовым числом $f_{1,3}$ для черничного типа леса: $f_{1,3} = 0,460 + 1,016/H$. У особей в варианте учитывали обилие семяношения с градацией числа шишек на дереве: до 10, 11...20, 21...30, более 30 шт.

Обсуждение результатов

На год обследования (биологический возраст сосны 22 года) все потомства вступили в репродукцию, однако обилие образования макростробил (шишек) определяется их наследственными особенностями, в первую очередь, материнской составляющей генотипа, сохраняющей особенности популяции в местах произрастания исходных (автохтонных) насаждений. Все гибриды, имеющие в генотипе северную наследственность по линии исходной популяции (кандалакшская, мончегорская, пинежская сосны), семяносят в 5–10 раз более интенсивно по числу репродуцирующих деревьев, чем местный средне-таежный климатип из Республики Коми (табл. 2). Проявляется установленный ранее [1, 8] эффект стимулирующего влияния термики (улучшения условий произрастания) при перемещении потомства к югу, присущий автохтонному северотаежному потомству сосны обыкновенной в связи с незавершенностью их приспособительных реакций в эволюционном плане к суровым условиям

Таблица 2

**Семеношение сосны обыкновенной
в 20-летних географических культурах второго поколения в Республике Коми**

Вариант культур	Процент семеносящих деревьев	Представленность семеносящих деревьев, %, по числу шишек, шт.			
		< 10	11...20	21...30	> 30
2К	25,0	100,0	–	–	–
3К	23,0	92,8	7,2	–	–
1хА	44,8	61,6	11,5	19,2	7,7
А	20,9	71,4	28,6	–	–
К	4,1	100,0	–	–	–

севера [12]. Как и в географических культурах первого поколения, наиболее обильное семеношение отмечено у сосны самого северного гибридного потомства (мончегорская сосна, опыленная плесецкой, – вариант 1хА). Доля семеносящих деревьев близка к максимуму, который согласно R. Sarvas [14] для сосны составляет 60 %. В этом варианте встречаются деревья, на которых учтено более 50 шт. шишек.

Обращает внимание увеличение доли семеносящих деревьев и обилия семенования архангельской сосны (из западной части подзоны средней тайги) по сравнению с местным одновозрастным потомством, соответствующим месту выращивания испытательных культур (Республика Коми), и одновозрастным потомством исходной популяции из Плесецкого лесхоза в географических культурах первого поколения. Подобная стимуляция может быть связана с перемещением семенного материала почти на 12° в.д. к востоку и более чем на 1° с.ш. к югу в пределах одной подзоны.

В 11-летнем возрасте [9] автохтонная сосна плесецкой популяции из западной части средней подзоны тайги, отставала в росте, по-видимому, из-за более континентальных условий произрастания на территории Республики Коми. Полусибсовое потомство северотаежных сосен среднетаежной репродукции имело высоты на уровне одновозрастной местной сосны (табл. 3). Анализ хода роста культур показал, что ранговое положение потомств по высоте стабильно сохранялось после посадки сеянцев на лесокультурную площадь.

В этом возрасте некоторым превышением по высоте, по сравнению с местным климатипом, отличались гибридные сеянцы, полученные от скрещивания популяций сосны, отстоящих друг от друга на 5...6° с.ш. по сетке координат. Они превосходили контроль на 6,5 % по высоте. При сближении территорий исходных популяций до 3° с.ш. различия по высоте сглаживались. В то же время сеянцы-гибриды по сравнению с автохтонными соснами имели более интенсивный рост по диаметру, различия достигали 9...17 %.

В 20-летних культурах (табл. 3) произошло некоторое перераспределение рангов климатипов по высоте и диаметру потомства разного исходного происхождения. Отмечено сближение по росту потомств среднетаежных популяций (плесецкая и короткеросская сосны) с некоторым опережением по высоте сосны из западной части подзоны.

Таблица 3

Рост полусибирских межгеографических гибридов сосны обыкновенной в культурах Республики Коми ($t_{0,05} = 2,0$)

Вариант культуры	Высота культур						Диаметр культур						Объем ствола в коре 20-летних культур	
	9-летних			20-летних			9-летних			20-летних			дм ³	% от контроля
	$\bar{X} \pm m_s, м$	t	% от контроля	м	% от контроля	$\bar{X} \pm m_s, см$	t	% от контроля	$\bar{X} \pm m_s, см$	t	% от контроля			
2К	2,13±0,08	1,30	106,5	12,2	109,3	3,69±0,09	4,67	120,6	7,24±0,48	1,02	102,9	26,8	123,8	
3К	1,96±0,07	0,67	98,0	12,4	111,1	3,38±0,09	2,37	110,5	7,36±0,38	1,39	110,7	28,8	133,2	
1хА	1,94±0,07	0,67	97,0	13,0	116,8	3,55±0,15	1,71	116,0	7,72±0,33	1,40	116,9	32,6	150,5	
А	1,80±0,06	2,35	90,0	11,1	99,7	3,25±0,09	1,41	106,2	6,63±0,30	0,04	99,7	20,9	96,6	
К	2,00±0,06	-	100,0	11,1	100	3,06±0,10	-	100,0	6,65±0,33	-	100,0	21,7	100,0	

Примечание. Контроль – потомство автохтонных насаждений, место произрастания культур – Республика Коми (вариант К).

Испытываемые межгеографические гибриды превышают по высоте и диаметру потомства популяций-опылителей (варианты А и К) на 9...17 и 3...17 % соответственно. Максимальная высота, как и в 9-летних культурах, наблюдалась у гибридов кандалакшской сосны, диаметр – у мончегорской сосны. В результате межгеографические гибриды мончегорской и плесецкой рас сосны обыкновенной формируют стволы, превышающие на 50...56 % по объему сосну контрольного местного варианта и контрольного варианта расы-опылителя. Спонтанное потомство кандалакшской и пинежской рас сосны обыкновенной из подзоны северной тайги формирует стволы на 23...38 % по объему больше, чем у местной одновозрастной сосны из Республики Коми и сосны расы-опылителя (плесецкая раса).

Скорее всего, интенсивность роста и накопления древесной стволовой массы гибридных потомств связана с формированием более мощного ассимиляционного аппарата, как результат гибридационного эффекта, что было отмечено нами ранее [9]. Гибридное потомство усиливает рост хвои в длину в 1,5–2,0 раза по сравнению с исходными растениями – климатипами в географических культурах первого поколения. Причем, чем севернее расположена родина материнской популяции, тем значительно увеличивается хвоя климатипа при спонтанной гибридизации со среднетаежной сосной.

Заключение

Таким образом, при выращивании на широте южного родителя 22-летнее потомство сосны обыкновенной северотаежных экотипов среднетаежной репродукции превосходит по росту и объему ствола одновозрастное потомство автохтонных сосен, выступавших в качестве опылителей. Наибольший эффект от гибридизации наблюдается у межгеографических гибридов сосны обыкновенной (форма лапландская) из горных районов Мурманской области,

у которых различия по месту происхождения между материнской и отцовской популяциями достигают 5...6° с.ш. Аддитивное скрещивание и условия произрастания (подзона средней тайги) нивелируют влияние материнского генотипа и усиливают продукционные процессы сосны, выражающиеся в усилении роста и накопления органической массы. В то же время репродукционный эффект материнских популяций северной сосны в гибридном потомстве сохраняется. Повышение термики стимулирует репродукционные процессы и обилие семеношения, характерное для северотаежных рас сосны обыкновенной.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Белецкий И.Б.* Плодоношение сосны на Кольском полуострове. Мурманск: Мурманское кн. изд-во, 1968. 131 с.
2. *Биргилис Я.Я., Бауманис И.И.* Оценка 10-летнего гибридного потомства сосны обыкновенной // Развитие генетики и селекции в лесохозяйственном производстве: тез. докл. всесоюз. науч.-техн. совещ. М., 1988. С. 16–17.
3. *Ипатов Л.Ф.* Строение и рост культур сосны на Европейском Севере. Архангельск: Сев.-Зап. кн. изд-во, 1974. 105 с.
4. Лесосеменное районирование основных лесообразующих пород в СССР. М.: Лесн. пром-сть, 1982. 366 с.
5. *Манцевич Е.Д., Сероглазова Л.М.* Совершенствование лесосеменной базы сосны обыкновенной Северо-Запада РСФСР // Лесн. журн. 1983. № 1. С. 24–28. (Изв. высш. учеб. заведений).
6. *Наквасина Е.Н., Барабин А.И.* Рост полусибсовых межгеографических гибридов сосны обыкновенной в испытательных культурах северной подзоны тайги Архангельской области // Лесн. журн. № 5. 2009. С. 25–31. (Изв. высш. учеб. заведений).
7. *Наквасина Е.Н., Бедрицкая Т.В.* Селекционная и лесокультурная оценка спонтанных гибридов северных экотипов сосны среднетаежной репродукции // Тр. СПбНИИЛХ. 1999. С. 91–98.
8. *Наквасина Е.Н., Бедрицкая Т.В.* Семенные плантации северных экотипов сосны обыкновенной. Архангельск: Изд-во ПГУ, 1999. 140 с.
9. *Наквасина Е.Н.* Испытание межгеографических полусибсовых гибридов сосны обыкновенной в средней подзоне тайги // Лесн. журн. № 2. 2001. С. 15–21. (Изв. высш. учеб. заведений).
10. *Ненюхин В.Н.* Селекционное семеноводство лесообразующих пород // Экспресс-инф. М.: ЦБНТИ Гослесхоза, 1983. 32 с.
11. *Попов В.Я., Жариков В.М.* Селекционные основы семеноводства сосны и ели на Европейском Севере // Селекция и семеноводство хвойных пород на Европейском Севере. Архангельск: АИЛиЛХ, 1990. С. 3–17.
12. *Luomajoki A.* Climatic adaptation of Scots pine (*Pinus sylvestris* L.) in Finland based on male flowering phenology // Acta forestalia fennica. 1993. Vol. 237. P. 1–27.
13. *Park Y.S., Gerhold H.D.* Population hybridization in Scotch pine (*Pinus sylvestris* L.). 1. Genetic variance components and heterosis // Silvae Genetica. 1986. Vol. 35, N 4. P. 159–165.

14. *Sarvas R.* Investigation on the flowering and seed crop of *Pinus sylvestris*. Common Institute Forestale Fennual, Helsinki, 1962. P. 53–98.

Поступила 11.04.13

УДК 630*232.311.1

Test of Intergeographical Offsprings of Scotch Pine (*Pinus sylvestris* L.) in Komi Republic

E.N. Nakvasina, Doctor of Agriculture, Professor

Northern (Arctic) Federal University named after M.V. Lomonosov, Naberezhnaya Severnoy Dviny, 17, Arkhangelsk, 163002, Russia; e-mail: e.nakvasina@narfu.ru

The growth of Scots pine half-siblings hybrids, from spontaneous crossing populations of different geographical origin, have been studied. Hybrid offspring is derived in provenance of the state network, located in the middle taiga subzone (the Arkhangelsk Region and the Komi Republic). At the initial stage of the reproductive cycle, in which first entered the northern climate types of pine (the Murmansk, Arkhangelsk regions), their makrostrobiles has pollinated by surrounding pine pollen, as in the young offspring of pine microstrobiles are not formed. The resulting hybrid offspring (three variants and two control - offspring populations of pollinators) are grown on a test site in the Komi Republic (planting of 1990). Hybrid offspring, having the genotype with northern heredity through the initial population (Kandalaksha, Monchegorsk, Pinega), entered into more intensive reproduction, compared with the local provenances from middle subzone. As a result of improving the conditions of growth stimulates reproduction processes and the abundance of seed-northern descendants. By cultivation at the latitude of southern procreator 22-year-old offspring of northern pine ecotypes of reproduction in the middle taiga subzone superior in terms of growth and stem offspring coeval autochthonous pine trees, serving as pollinators. Height and diameter of the hybrid on 3 – 17 % offspring exceed coeval populations of pollinating. The greatest effect of hybridization observed in the most northern hybrids: the provenances of the Murmansk region in which the differences in the place of origin of the maternal and paternal populations reaches 5-6 degrees of north latitude. Collected results suggest a hereditary consolidation of growth and reproductive features to geographic provenances of pine, which should be considered in seed introduction for reforestation.

Keywords: Scotch pine, hybrids, geographical origin, reproduction, growth.

REFERENCES

1. Beletskiy I.B. *Plodonoshenie sosny na Kol'skom poluostrove* [Fruiting of Pine on the Kola Peninsula]. Murmansk, 1968. 131p.
2. Birgilis Ya.Ya., Baumanis I.I. Otsenka 10-letnego gibridnogo potomstva sosny obyknovennoy [The Rating of 10-Year-Old Scotch Pine Hybrid Offspring]. *Razvitie genetiki i selektsii v lesokhozyaystvennom proizvodstve: tezisy dokladov Vsesoyuz. nauchno-tekhnich. soveshch.* [Development of Genetics and Breeding in the Forestry Industry: Proc. All-Union Sci. and Tech. Meeting]. Moscow, 1988, pp.16-17.
3. Ipatov L.F. *Stroenie i rost kul'tur sosny na Evropeyskom Severe* [Structure and Growth of Pine Croppers on the European North]. Arkhangelsk, 1974. 105 p.

4. *Lesosemennoe rayonirovanie osnovnykh lesoobrazuyushchikh porod v SSSR*. [Forest Seed Zoning Major of Tree Species in the USSR]. Moscow, 1982. 366 p.
 5. Mantsevich E.D., Seroglazova L.M. Sovershenstvovanie lesosemennoy bazy sosny obyknovnoy Severo-Zapada RSFSR [Improving of Forest Seed Base of Scotch Pine in the Northwest of RSFSR]. *Lesnoy zhurnal*, 1983, no.1, pp. 24-28.
 6. Nakvasina E.N., Barabin A.I. Rost polusibsovykh mezhgeograficheskikh gibridov sosny obyknovnoy v ispytatel'nykh kul'turakh severnoy podzony taygi Arkhangel'skoy oblasti [Growth of Half-sibs Interprovenance Hybrids of Scotch Pine in Trial Cultures of Northern Taiga Subzone in Arkhangelsk Region]. *Lesnoy zhurnal*, 2009, no.5, pp. 25-31.
 7. Nakvasina E.N., Bedritskaya T.V. Seleksionnaya i lesokul'turnaya otsenka spontannykh gibridov severnykh ekotipov sosny srednetazhnoy reproduksii [Selection and Evaluation of Silvicultural Spontaneous Hybrids of Northern Pine Ecotypes of Middle Taiga Subzone Reproduction]. *Trudy S.-Pb. NIILH* [Proceedings of Saint Petersburg Forestry Research Institute]. 1999, Vol.1, pp. 91-98.
 8. Nakvasina E.N., Bedritskaya T.V. *Semennye plantatsii severnykh ekotipov sosny obyknovnoy* [Seed Plantation of Northern Ecotypes of Scotch Pine]. Arkhangelsk, 1999. 140 p.
 9. Nakvasina E.N. Ispytanie mezhgeograficheskikh polusibsovykh gibridov sosny obyknovnoy v sredney podzone taygi [Testing the Intergeographical Semisybs Pine Hybrid of Scots Pine in the Middle Subzone of Taiga]. *Lesnoy zhurnal*, 2001, no.2, pp. 15-21.
 10. Nenyukhin V.N. *Seleksionnoe semenovodstvo lesoobrazuyushchikh porod* [Seed Tree Species Selection]. Moscow, 1983. 32 p.
 11. Popov V.Ya., Zharikov V.M. Seleksionnye osnovy semenovodstva sosny i eli na evropeyskom Severe [Seed Breeding Bases of Pine and Spruce in the European North]. *Seleksiya i semenovodstvo khvoynykh porod na Evropeyskom Severe* [Breeding and Seed Production of Softwood on the European North]. Arkhangelsk, 1990, pp. 3-17.
 12. Luomajoki A. Climatic adaptation of Scots pine (*Pinus sylvestris* L.) in Finland based on male flowering phenology. *Acta forestalia fennica*, 1993, no. 237, pp. 1-27.
 13. Park Y.S., Gerhold H.D. Population hybridization in Scotch pine (*Pinus sylvestris* L.): I. Genetic variance components and heterosis. *Silvae Genetica*, 1986, vol.35, no. 4, pp. 159–165.
 14. Sarvas R. *Investigation on the flowering and seed crop of Pinus sylvestris*. Common Institute Forestale Fennual, Helsinki, 1962, pp. 53-98
-
-

УДК 630*907.8+630*911

ОРГАНИЗАЦИЯ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ЛЕСОВ В ТЮМЕНСКОЙ ОБЛАСТИ

© *И.Ю. Харлов, канд. с.-х. наук, дир.*

Е.В. Постовалов, науч. сотр.

Всероссийский научно-исследовательский институт лесоводства и механизации лесного хозяйства, Сибирская лесная опытная станция, ул. Механизаторов, 5 а, г. Тюмень, Россия, 625017; e-mail: sfes@bk.ru

Организация использования лесов в Тюменской области в связи с включением субъектов Российской Федерации в 2007 г. в структуру органов государственной власти, реализующих государственные полномочия в сфере лесных отношений, а также отказом государства от участия в хозяйственной деятельности стала намного сложнее ввиду ее многокомпонентности: от нормативного обеспечения лесных отношений до определения качественных и количественных характеристик лесов, планирования и организации использования лесов и ведения в них лесного хозяйства, составной частью которых являются контрольные функции и надзор за исполнением лицами, использующими леса, Правил использования лесов и основанных на них требований лесохозяйственных регламентов лесничеств. Анализ организации использования лесов в Тюменской области показал, что региональный центр сконцентрировал все административные рычаги в единственном органе власти: от управления, контроля и надзора до организации ведения лесного хозяйства, что отличает современную региональную модель от существовавшей ранее муниципальной модели, ориентированной на принятие оперативных решений на местах органами управления лесным хозяйством – лесхозами.

Ключевые слова: управление, контроль, надзор, лесное хозяйство, органы власти, арендаторы.

В настоящее время организационная структура управления лесами в Тюменской области в связи с включением региональных властей в структуру органов государственной власти, исполняющих властные полномочия в сфере управления лесами, стала сложнее [1] (табл. 1).

В соответствии с передачей отдельных лесных полномочий с федерального на региональный уровень Тюменская область, как и другие регионы РФ [1, 3, 4, 6]:

1) утратила право на использование лесов в связи с тем, что органы государственной власти и органы местного самоуправления исключены из субъектов хозяйственной деятельности;

2) приобрела право на разработку нормативной правовой базы, связанной с регулированием вопросов организации использования лесов:

удовлетворение потребностей граждан для собственных нужд (заготовка древесины; заготовка и сбор недревесных и пищевых лесных ресурсов, включая установление ставок платы за их заготовку);

использование лесов для ведения охотничьего хозяйства и осуществления охоты;

установление исключительных случаев заготовки древесины для обеспечения государственных и муниципальных нужд;

3) получила возможность выработки собственной региональной стратегии освоения лесов (с учетом интересов местного населения, общественных движений, органов местного самоуправления и бизнеса), а также установления требований к мероприятиям по охране, защите и воспроизводству лесов.

Таблица 1

Организация управления лесами в Тюменской области

Компоненты организации использования лесов	Мероприятия
Нормативное обеспечение	1. Законодательная деятельность. 2. Научно-исследовательская деятельность.
Планирование	1. Лесоустройство: а) выработка предложений по границам и количеству лесничеств в административных границах Тюменской области; б) таксация лесов, проектирование мероприятий по охране, защите и воспроизводству лесов; в) проектирование защитных лесов, за исключением ценных лесов. 2. Разработка и утверждение лесных планов субъектов РФ. 3. Разработка и утверждение лесохозяйственных регламентов лесничеств, лесопарков.
Принятие управленческих решений	Распределение компетенции: региональный уровень (департамент); муниципальный уровень (лесничество).
Осуществление контрольных функций	1. Проведение государственной экспертизы проектов освоения лесов. 2. Прием: а) лесных деклараций; б) отчетов об использовании, охране, защите и воспроизводстве лесов. 3. Проведение проверок лиц, использующих леса, на соответствие их деятельности требованиям лесного законодательства (государственный лесной контроль и надзор).
Исполнение надзорных функций	Надзор специалистами лесничеств за реализацией проектов освоения лесов при аренде лесов и постоянном (бессрочном) пользовании лесными участками: а) освидетельствование мест рубок; б) проверка качества работ при приеме отчетов об использовании, охране, защите и воспроизводстве лесов: за безвозмездным использованием лесными участками; за исполнением государственного заказа по охране, защите и воспроизводству лесов; в) приемка рекультивированных земель.

Особенности региональной организации использования лесов [1, 2, 4, 5]:

1. Лесное хозяйство рассматривается как объект совместной деятельности федеральных и региональных властей (управление, контроль и надзор), а также лиц, использующих леса (использование и освоение лесов).

2. Использование лесов, за исключением государственных нужд и собственных нужд граждан, является предпринимательской деятельностью.

3. Научно-исследовательская деятельность, являющаяся фундаментом организации использования лесов, наряду с иными видами использования лесов, в том числе и заготовкой древесины, причислена к видам использования лесов, осуществляемым субъектами предпринимательской деятельности.

4. Круг лиц, имеющих право на участие в имущественных отношениях, связанных с использованием лесов, в том числе при осуществлении предпринимательской деятельности, не ограничен.

Вовлечение в имущественные отношения неограниченного круга лиц стало возможно благодаря тому, что конкурсные процедуры, как форма организации использования лесов до 2007 г., предполагавшая участие в них только лиц, занимающихся лесохозяйственной деятельностью, заменены аукционной процедурой, где ограничения практически отсутствуют (табл. 2).

5. Лесоустройство как информационная основа организации использования лесов является не только федеральным, но и региональным информационным продуктом.

Тюменская область наделена оперативными полномочиями по распоряжению землями лесного фонда:

по проектированию лесных участков в целях организации использования лесов в соответствии с документами лесного планирования;

по определению качественных и количественных характеристик лесов;

по проектированию мероприятий по охране, защите и воспроизводству лесов;

по закреплению на местности границ лесных участков.

Федеральный центр как собственник имущества устанавливает:

границы земель лесного фонда как объекта имущественных отношений, полномочия по распоряжению которым переданы региональным властям;

правила ведения лесного хозяйства;

правила финансирования лесного хозяйства;

контроль за эффективным расходованием средств федерального бюджета при ведении лесного хозяйства субъектами РФ.

6. Ответственность за ведение лесного хозяйства законодательно возложена на субъекты РФ.

Таблица 2

**Получение доступа к использованию лесов при заготовке древесины
в Тюменской области**

Этап	До 31.12.2006 г.		С 01.01.2007 г.	
	Процедура	Исполнитель	Процедура	Исполнитель
1	Конкурс	Агентство лесного хозяйства по Тюменской области	Аукцион	Департамент лесного комплекса Тюменской области
2	Заключение договора аренды участка лесного фонда	Лесхоз (по месту расположения лесного участка)	Заключение договора аренды лесного участка	Департамент лесного комплекса Тюменской области
3	Разработка проекта организации лесопользования	Исключительно лесоустроительные организации	Разработка проекта освоения лесов	Перечень лиц не ограничен
4	Государственная экологическая экспертиза проекта организации лесопользования	МПР РФ (Росприроднадзор по Тюменской области)	Государственная экспертиза проектов освоения лесов	Департамент лесного комплекса Тюменской области
5	Отвод лесных насаждений	Арендатор	Отвод лесных насаждений	Арендатор
6	Оформление лесорубочного билета	Лесхоз (по месту расположения лесного участка)	Предоставление лесной декларации	Арендатор
7	Разработка технологических карт на разработку лесосек	Арендатор	Разработка технологических карт на разработку лесосек	Арендатор
8	Заготовка древесины	Арендатор	Заготовка древесины	Арендатор

По состоянию на 01.07.2011 г. существующая модель организационной структуры управления лесами в Тюменской области не является оптимальной ввиду ее перегруженности на уровне региона, дублирования и недостатка функций на муниципальном уровне (табл. 3).

Таблица 3

Организационная структура управления лесами

Направления деятельности в лесном хозяйстве	До 31.12.2006 г.		С 01.01.2007 г.	
	Мероприятия	Лица, уполномоченные законодательством	Мероприятия	Лица, уполномоченные законодательством
Изучение и учет лесов	Лесоустройство	ФГУП «Рослесинфорг»	Лесоустройство	1. Федеральное Агентство лесного хозяйства. 2. Департамент лесного комплекса Тюменской области. 3. Лица, использующие леса.
	Учет лесного фонда	Лесхозы	Ведение государственного лесного реестра	1. Департамент лесного комплекса Тюменской области. 2. ГБУ ТО «Тюменская база авиационной и наземной охраны лесов».
	Лесопатологический мониторинг	ФГУ «Рослесозащита»	Лесопатологический мониторинг	ФГУ «Рослесозащита»
	Лесопатологическое обследование	ФГУ «Рослесозащита»	Лесопатологическое обследование	Департамент лесного комплекса Тюменской области
Регулирование использования лесов	Разработка и утверждение нормативных правовых актов	Министерство природных ресурсов РФ	Разработка и утверждение нормативных правовых актов	1. Федеральное Агентство лесного хозяйства. 2. Губернатор Тюменской области. 3. Тюменская областная дума. 4. Правительство Тюменской области. 5. Департамент лесного комплекса Тюменской области.

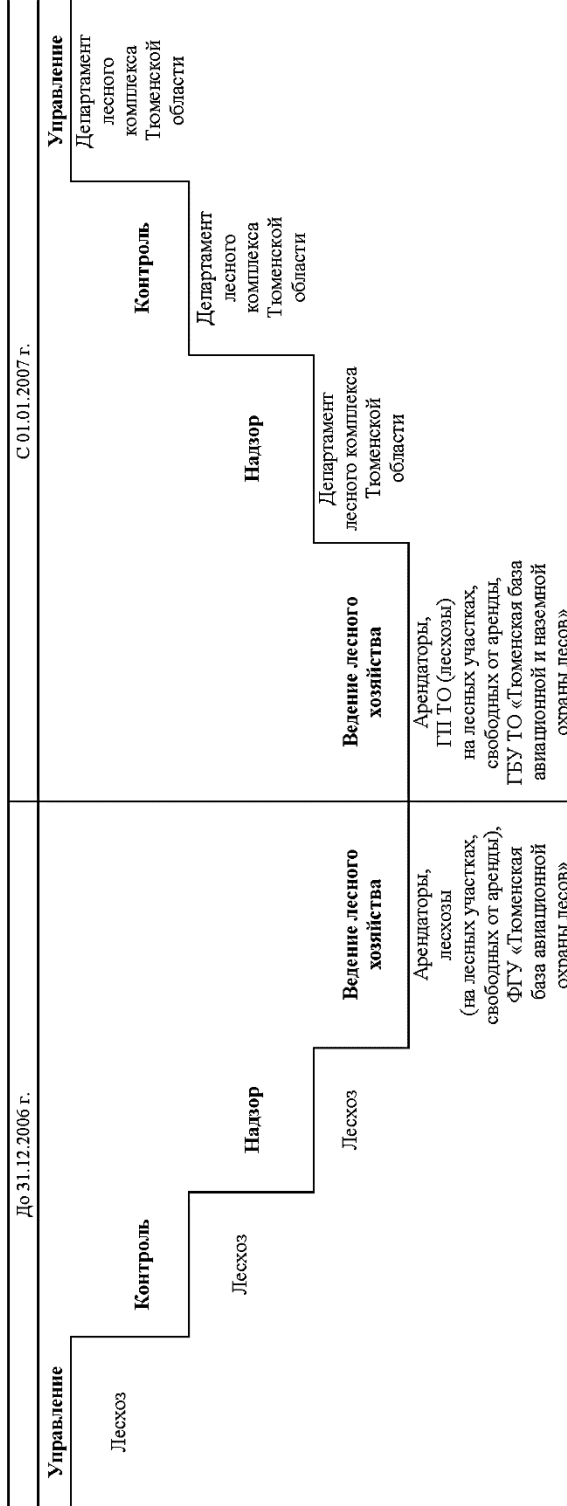
Окончание табл. 3

Направления деятельности в лесном хозяйстве	До 31.12.2006 г.		С 01.01.2007 г.	
	Мероприятия	Лица, уполномоченные законодательством	Мероприятия	Лица, уполномоченные законодательством
Охрана, защита и воспроизводство лесов	Мероприятия по охране, защите и воспроизводству лесов	1. Лесхозы. 2. Лица, использующие леса.	Мероприятия по охране, защите и воспроизводству лесов	1. ГБУ ТО «Тюменская база авиационной и наземной охраны лесов». 2. Лица, использующие леса. 3. Участники государственного заказа.
Контроль за использованием лесов	Авторский надзор за проектами организации ведения лесного хозяйства	ФГУП «Рослесинфорг»	Государственная инвентаризация лесов	Федеральное агентство лесного хозяйства
	Приемка качества работ при рубке спелых и перестойных лесных насаждений, охране, защите и воспроизводстве лесов	Лесхозы	Государственный лесной контроль и надзор	Департамент лесного комплекса Тюменской области
	Проверка соблюдения Правил пожарной безопасности в лесах	Лесхозы	Государственный пожарный надзор в лесах	ГКУ ТО «Тюменское управление лесами»

Правительством Тюменской области в 2007–2011 гг. с учетом указанных выше направлений в организации использования лесов сформирована новая структура лесных отношений, где определены ее участники (см. схему).

Схема

Участники лесных отношений в Тюменской области



В результате реформирования лесхозов, являвшихся до реформирования одновременно территориальными органами управления лесами по месту их расположения, которые выполняют надзор за лесами и осуществляют контроль за их использованием, создано 3 функционально разрозненных подразделения (66 территориальных единиц вместо 40):

10 областных государственных предприятий с производственными участками в 22 муниципальных образованиях Тюменской области;

государственное казенное учреждение Тюменской области, имеющее 22 обособленных подразделения-филиала в административных образованиях Тюменской области – ГКУ ТО «Тюменское управление лесами», которое осуществляет функции федерального государственного пожарного надзора, а также надзора за качеством работ при выполнении государственного заказа на ведение лесного хозяйства;

государственное бюджетное учреждение Тюменской области, имеющее 22 обособленных подразделения-филиала в административных образованиях Тюменской области – ГБУ ТО «Тюменская база авиационной и наземной охраны лесов»), которое выполняет работы по тушению лесных пожаров; осуществляет отдельные меры пожарной безопасности в лесах на территории Тюменской области; оказывает услуги департаменту лесного комплекса Тюменской области, связанные с документированием информации о лесах.

Помимо решения указанных выше задач, учредитель предоставил возможность ГБУ ТО «Тюменская база авиационной и наземной охраны лесов» осуществлять деятельность, приносящую доход при оказании спектра сервисных услуг лицам, использующим леса.

Следует отметить, что средства, которые зарабатывались лесхозами при проведении хозяйственной деятельности до их реформирования, в настоящий момент замещаются средствами областного бюджета [6].

При анализе финансовых потоков, инвестируемых в лесное хозяйство на лесных участках, не предоставленных в пользование, установлено, что в 2007–2011 гг. по сравнению с 2006 г. соотношение средств, вкладываемых государством в 1 га лесной площади, уменьшилось в 1,6 раза. Объясняется данный факт тем, что из источников финансирования лесного хозяйства исключались доходы реформированных лесхозов, которые до 2007 г. направлялись на финансирование лесного хозяйства.

По итогам 2009 г. доля федерального финансирования (без учета доходов лесхозов) по отношению к 2003 г. осталась фактически прежней (30,1 % – 2003 г., 36,0 % – 2009 г.).

В 2009 г. доля областного бюджета по сравнению с 2003 г. в части расходов на организацию использования лесов, включая ведение лесного хозяйства, увеличилась более чем в 1,6 раза и достигла 64,0 % (371,1 млн р.).

В настоящее время значительная часть расходов Тюменской области (52,7 %) приходится на финансирование деятельности ГКУ ТО «Тюменское

управление лесами» и ГБУ ТО «Тюменская база авиационной и наземной охраны лесов».

Недостатки организационной структуры управления лесами в Тюменской области:

1. Функциональная перегруженность уполномоченного регионального органа власти в сфере лесных отношений ввиду отсутствия муниципальной составляющей в принятии управленческих, а также контрольных и надзорных решений, что не способствует эффективному использованию лесов.

2. Дублирование функций контроля и надзора на муниципальном уровне обособленными подразделениями департамента лесного комплекса Тюменской области – отделами и обособленными подразделениями ГКУ ТО «Тюменское управление лесами».

3. Отсутствие в организационной структуре лесных отношений учреждения, отвечающего за достоверность информации о лесах и способного осуществлять мониторинг за лесопользованием и его координацию в регионе в границах лесничеств, установленных государством при лесоустройстве, отсутствие научной деятельности, обосновывающей отдельные положения нормативных правовых актов Тюменской области, а также требований к охране, защите и воспроизводству лесов в лесохозяйственных регламентах лесничеств.

4. Уменьшение расходов федерального бюджета на ведение лесного хозяйства в связи с отказом государства от участия в хозяйственной деятельности.

Таким образом, в целях повышения эффективности использования лесов в Тюменской области организационная структура управления лесами на региональном уровне должна быть представлена уполномоченным органом государственной власти, на межмуниципальном – бюджетным учреждением, осуществляющим информационное обеспечение и координацию организации лесопользования, на муниципальном – казенными учреждениями как территориальными единицами управления, контроля и надзора при организации и ведении лесного хозяйства.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Лесной кодекс РФ: ФЗ № 200 от 4 дек. 2006.
2. Лесоустроительная инструкция: утв. приказом № 31 МПР РФ от 06.02.2008.
3. Об общих принципах организации местного самоуправления в РФ: ФЗ № 131 от 6 окт. 2003.
4. Правила проведения лесоустройства: утв. постановлением Правительства РФ № 377 от 18.06.2007.
5. Программа «Основные направления развития лесного комплекса Тюменской области на 2010–2012 гг.»: утв. распоряжением Правительства Тюменской области № 555-рп от 12.05.2010.
6. Стратегия развития лесного комплекса до 2020 г.: утв. приказом Минпромторга России и Минсельхоза России № 248/482 от 31.10. 2008.

Поступила 30.05.12

УДК 630*907.8+630*911

Organization of Forest Exploitation in the Tyumen Region

I.Yu. Kharlov, Candidate of Agriculture, Director

E.V. Postovalov, Researcher

Siberian Forest Experimental Station, Branch of the Russian Research Institute for Silviculture and Mechanization of Forestry, Mekhanizatorov, 5 "a", 625017, Tyumen, Russia; e-mail: sfes@bk.ru

In connection with the inclusion of subjects of the Russian Federation in 2007 in the structure of state power bodies, implementing state powers in the sphere of forest relations, as well as the government's refusal from participation in economic activity, the organization of forest use in the Tyumen region is more difficult because of its complexity: from regulatory support of forest relations to determine the qualitative and quantitative characteristics of forests, planning and organization of forest exploitation, including maintenance in them of forestry. Constituent part of the organization of forest use is controlling functions and supervision of persons, who use the forest, the Rules of forest exploitation and requirements of forestry regulations of forest districts located within the borders of the Tyumen region. Analysis of the organization of forest exploitation in the Tyumen region has shown that regional center concentrates in the single regulatory body all administrative instruments: management, control and supervision over the use of forests. It differs the current model at the regional level from municipal model, directed to operative decision making locally by the authorities of forestry.

Keywords: management, control, supervision, forestry, authorities, tenants.

REFERENCES

1. *Forest Code of the Russian Federation: Federal Law of 29.01.1997 no. 22-FZ* (in Russian).
 2. *Forest Management Manual*. Approved by the Order of the Ministry of Natural Resources of the Russian Federation of 06.02.2008 no. 31 (in Russian).
 3. *On General Principles of Organization of Local Self-Government in the Russian Federation: Federal Law of 06.10.2003 no. 131-FZ* (in Russian).
 4. *Rules of the Forest Management Realization*. Approved by of the Russian Federation of 18.06.2007. no. 377 (in Russian).
 5. *Program "The Basic Development Directions of the Forest Complex in the Tyumen Region for 2010-2012"*. Approved by the Government Resolution of the Tyumen Region of 12.05.2010 no. 555-RP (in Russian).
 6. *Strategy for the Development of the Forest Complex up to 2020*. Approved by the Order of Ministry of Industry and Trade and the Ministry of Agriculture of Russia from 31.10. 2008 no. 248/482 (in Russian).
-

УДК 630*892.6 (571.9)

ЛИМОННИК КИТАЙСКИЙ – ДАЛЬНЕВОСТОЧНЫЙ ЭФИРОНОС

© *Е.В. Ошкина, ст. науч. сотр.*

Р.Д. Колесникова, д-р биол. наук, проф.

Н.В. Выводцев, д-р с.-х. наук, ст. науч. сотр.

Ю.Г. Тагильцев, д-р биол. наук, проф.

Дальневосточный научно-исследовательский институт лесного хозяйства, ул. Волочаевская, 71, г. Хабаровск, Россия, 680020; e-mail: dvniih@gmail.com

Предметом изучения был выбран лимонник китайский (*Schisandra chinensis* (Turcz.) Baill.). Описаны распространение и экология этого растения на Дальнем Востоке. Цель исследования – изучение выхода и физико-химических характеристик эфирных масел и флорентинной воды из лиан, плодов и отходов производства сока лимонника. Исследования выполнены инструментальными методами (фотоэлектроколориметр, нефелометр, рефрактометр, рН-метр). Эфирные масла и флорентинную воду извлекали из растительного сырья методом перегонки с водяным паром на лабораторной установке из нержавеющей стали. В результате исследований установлено, что масло из лиан наиболее легкое, из отходов производства сока лимонника – наиболее тяжелое. Это свидетельствует о значительном содержании многоатомных спиртов (схизандрин) в масле из отходов, меньше всего их в масле из лиан. Кислотное число отражает суммарное содержание в лимонниковом масле лимонной, яблочной и других органических кислот. Наибольшее их содержание в масле из плодов. Масло из лиан содержит много кумаринов. Лимонниковая флорентинная вода – второй продукт при производстве эфирных масел – изучена впервые. В воде обнаружены примеси тех же компонентов, что входят в эфирные масла. Таким образом установлено, что из всех частей лимонника можно получать ценные биологически активные препараты, пищевые вещества и продукты: плоды, семена, соки, эфирные масла, флорентинные воды и препараты на их основе (настои, настойки, порошки, экстракты). Результаты исследований найдут применение в пищевой промышленности и медицине. В целях сохранения естественных зарослей рекомендовано плантационное выращивание лимонника китайского.

Ключевые слова: лимонник китайский, распространение, экология, эфирные масла, флорентинная вода, использование.

Лимонник китайский – *Schisandra chinensis* (Turcz.) Baill. относится к семейству лимонниковых – *Schisandraceae* Blume. Представляет собой деревянистую лиану длиной до 10...15 м и 1,0...1,5 см в диаметре, обвивает стволы деревьев и кустарников, поднимаясь до их кроны. Растения однодомные, а в отдельные годы – двудомные с мужскими цветами. Побеги направлены вверх, часто переплетаются между собой. Кора на старых лианах темно-коричневого цвета морщинистая, шелушащаяся, на молодых – желтая, гладкая, блестящая. Листья длиной до 10 см и шириной 5 см, эллиптические, расположены очередно пучками на укороченных побегах. Стебли и листья

при растирании пахнут лимоном. Цветки 1,0...1,5 см в диаметре, белые, к концу цветения розоватые, собраны в пучки по 2–5 шт. на укороченных боковых веточках, имеют тонкие поникающие цветоножки розово-красного цвета. Лимонник цветет в конце мая–начале июня. Плоды сочные, шаровидные, ярко-красного цвета в виде гроздевидных кистей, состоящих из ягодообразных 1–2-семенных плодиков, созревают в сентябре и разносятся птицами и животными. Размножается семенами, чаще вегетативно.

Ареал распространения лимонника китайского довольно широк: на Дальнем Востоке – Приморский и Хабаровский края, Приамурье, Сахалин, Курилы (острова Кунашир, Шикотан, Итуруп). Общее распространение: Северный и частично Центральный Китай, большая часть Японии, почти вся Корея [1, 7, 8]. Растет он в смешанных кедрово-широколиственных лесах, по берегам рек, ручьев, на опушках, на дренированных почвах. Культивируется в садах, дендрариях, питомниках ряда районов России и за рубежом. В качестве ценного лекарственного сырья используют следующие части растения: корень, стебель, листья, семена и плоды. Еще в V в. лимонник высоко ценился китайскими врачами и тибетскими ламами. В китайской народной медицине с древних времен и до настоящего времени применяется как возбуждающее и тонизирующее средство [3, 4, 6, 10]. Некоторые исследования лекарственных свойств лимонника проведены в Хабаровском медицинском университете [11], изучались также урожайность его плодов [2] и эфирные масла лиан [7].

Сплошные заросли лимонника занимают небольшие участки, расположенные чаще всего на крутых склонах площадью 0,2...0,5 га. Заготовка зрелых плодов лимонника начинается с конца сентября и продолжается до заморозков. С одной лианы можно собрать до 5 кг свежих плодов, из которых получается не менее 0,2 кг семян. Семена используются для лечебных целей, содержат жирные и эфирные масла, органические кислоты, макро- и микроэлементы [9].

В медицине применяют семена и плоды лимонника как общеукрепляющее средство для ослабленных, переутомленных людей и выздоравливающих после тяжелых заболеваний или операций [1, 9, 11, 12].

Интересные данные получены при лечении гастритов, протекающих с повышенной кислотностью желудочного сока. При этом благоприятное действие оказывает регулярный прием порошка семян лимонника. При пониженной кислотности желудочного сока проводится лечение соком плодов лимонника. Такое лечение способствует более быстрому ослаблению или даже исчезновению болей и других неприятных ощущений, нормализации тонуса и сократительной функции желудка [5].

Предмет и цель исследований

Предметом и целью наших исследований были мало изученные эфирные масла из лиан и практически не изученные эфирное масло и флорентинная вода из отходов производства сока лимонника. Сбор сырья (лиан и плодов) проводили в Хабаровском крае (Нанайский район) и Еврейской автономной области (Облученский район).

Методика исследований и аппаратура

Эфирные масла из измельченного растительного сырья извлекали способом перегонки с водяным паром на крупной лабораторной установке (емкость перегонного чана из нержавеющей стали 0,06 м³). Исследования физико-химических характеристик эфирных масел и флорентинных вод (водо-масляные продукты) проводили инструментальными методами с использованием фотоэлектроколориметра, нефелометра, рН-метра.

Результаты исследований

Выход эфирных масел из лиан, семян и отходов производства сока лимонника в расчете на абс. сухую массу составляет соответственно 0,72...0,98 %; 0,77...1,07 %; 0,65...1,01 %.

Эфирные масла лимонника китайского представляют собой прозрачные жидкости от светло-желтого до желтого цвета, вкус – горький, запах приятный, с лимонным оттенком. В табл. 1 представлены результаты исследований физико-химических характеристик эфирных масел из лиан, плодов и отходов производства сока лимонника.

Таблица 1

Показатели физико-химических свойств эфирных масел лимонника китайского

Показатель	Значение показателя для сырья		
	Лианы	Плоды	Отходы производства сока лимонника (жом)
Плотность при 20 °С, г/см ³	0,881	0,895	0,913
Показатель преломления при 20 °С	1,4845	1,4990	1,4970
Кислотное число, мг КОН на 1 г продукта	3,42	8,53	5,56
Сумма сложных эфиров, %	27,76	26,17	19,50
Сумма многоатомных спиртов (схизандрин), %	5,00	10,95	12,34
Кумарины, %	4,42	2,19	1,77

Анализируя данные табл. 1, следует отметить, что наиболее легким (0,881 г/см³) является эфирное масло из лиан, наиболее тяжелым (0,913 г/см³) – из отходов производства сока лимонника. Это свидетельствует о значительном содержании в последнем соединений с высокой молекулярной массой, что подтверждено анализом на содержание спиртов. Этих соединений оказалось действительно больше в масле из отходов (12,34 %), меньше – в эфирном масле из лиан (5,00 %). Кислотное число, отражающее суммарное содержание в лимонниковом масле лимонной, яблочной и др. органических кислот, наиболее высокое в масле из плодов (8,53 %). Кумаринов в масле из лиан найдено в 2 раза больше, чем в плодах.

Наиболее перспективным и дешевым сырьем для получения эфирного масла являются отходы производства сока (жом) лимонника китайского. Полученные значения физико-химических показателей этого масла обработаны статистически, результаты представлены в табл. 2.

Таблица 2

Результаты статистической оценки показателей физико-химических свойств эфирного масла из отходов производства сока лимонника китайского

Показатель	Статистика				
	Среднее арифметическое	Среднее квадратическое отклонение	Ошибка среднего значения	Коэффициент вариации	Показатель точности
	%				
Плотность при 20 °С, г/см ³	0,913	0,002	0,00	0,17	0,05
Показатель преломления при 20 °С	1,48	0,00	0,00	0,77	0,00
Кислотное число, мг КОН на 1 г продукта	9,06	0,25	0,08	2,71	0,86
Сумма сложных эфиров, %	23,17	0,33	0,71	1,43	0,48
Сумма многоатомных спиртов (схизандрин), %	10,40	0,52	0,17	5,02	1,67
Кумарины, %	7,22	0,35	0,12	4,78	1,67

Полученные результаты свидетельствуют, что у всех исследуемых физико-химических характеристик показатель точности находится в пределах 0,05...1,67 %.

Масло эфирное лимонника китайского из разных видов растительного сырья содержит значительное количество биологически активных веществ: кумарины от 1,8 до 4,2 %; схизандрин от 5,0 до 12,3 %. Учитывая высокое тонизирующее действие схизандрина и разностороннюю физиологическую активность кумаринов лимонниковые эфирные масла могут быть использованы в медицине. Высокие вкусовые качества масел позволяют использовать их в пищевой промышленности, а также в парфюмерии и косметике.

Флорентинная вода, являющаяся вторым продуктом при перегонке эфирных масел лимонника китайского, исследовалась нами впервые с помощью нефелометра НФО-1 и фотоэлектроколориметра КФК-2. В литературе сведения о ней отсутствуют. Это опалесцирующая жидкость, бесцветная или слегка желтоватая, имеет фруктовый запах и слабый аромат лимона, вкус горьковато-кисловатый. Для определения степени опалесценции использовали нефелометр НФО-1. Коэффициент яркости, определяющий степень опалесценции, в исследуемых образцах находился в пределах от $0,0250 \cdot 10^{-4}$ до $0,0860 \cdot 10^{-4}$ (у дистиллированной воды – $0,0002 \cdot 10^{-4}$). Высокие значения коэффициента яркости доказывают наличие во флорентинной воде частиц эфирного масла, находящихся во взвешенном состоянии. Результаты исследований физико-химических характеристик флорентинной воды представлены в табл. 3.

Таблица 3

**Показатели физико-химических свойств
флорентинной воды лимонника китайского**

Показатель	Значение показателя для сырья		
	Лианы	Плоды	Отходы производства сока лимонника (жом)
Плотность при 20 °С, г/см ³	0,998	0,994	0,996
Кислотное число, мг КОН на 1 г продукта	0,25	0,48	0,18
Показатель рН	4,8	4,6	5,2
Каротиноиды, мг/дм ³	2,9	3,5	1,8
Кумарины, %	0,45	0,64	0,60
Высшие спирты, %	0,42	0,88	0,72

Из данных табл. 3 следует, что примеси компонентов эфирных масел обнаружены во всех образцах флорентинной воды, полученной при перегонке эфирных масел из лиан, плодов и отходов производства сока. Примесей кислот больше в воде, полученной из плодов. В нем содержатся каротиноиды и кумарины.

Перспективным направлением для получения эфирных масел и флорентинных вод является плантационное выращивание лимонника китайского, что очень важно для охраны этого растения в естественных условиях. Размножается лимонник китайский укоренением зеленых черенков, корневыми отпрысками, отводками, делением лиан и посевом семян осенью или после месячной стратификации весной по разработанной технологии [3].

Принятие мер для сохранения естественных запасов лимонника и рационального использования его плодов является неотложной задачей в ближайшей перспективе. В целях сохранения ресурсов лимонника предлагается создание искусственных плантаций с последующим получением продукции. Основная цель – сбор и переработка, а также культивирование лимонника китайского на искусственных лесных плантациях для получения лекарственной продукции и пищевых полуфабрикатов.

Таким образом, лимонник китайский, произрастающий на Дальнем Востоке, является уникальным лиановым растением, из всех частей которого можно получать биологически активные лекарственные и пищевые продукты: плоды, семена, соки, эфирные масла, флорентинные воды и различные препараты на их основе (настои, настойки, порошки, спиртовые экстракты).

В естественных насаждениях лимонник требует охраны на государственном уровне и широкого культивирования во всех регионах России.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Агеенко А.С. Лимонник и его лечебное применение. Южно-Сахалинск: Сахалинское кн. изд-во, 1960. 40 с.

2. *Измоденов А.Г.* Богатства кедрово-широколиственных лесов. М.: Лесн. пром-сть, 1972. 120 с.
3. *Климович В.И.* Размножение и выращивание декоративных древесных пород. 2-е изд., доп. и перераб. М.: Россельхозиздат, 1987. 110 с.
4. *Крылов Г.В.* Травы жизни и их искатели. Томск: Красное знамя, 1992. 95 с.
5. *Лапаев И.И.* Лимонник и его лечебные свойства. Хабаровск: Хабаровское кн. изд-во, 1974. 45 с.
6. *Носов А.М.* Целебные растения. М.: ЭКСМО-Пресс, 2001. 184 с.
7. *Супронов Н.И., Горовой П.Г., Панков Ю.А.* Эфирно-масляные растения Дальнего Востока. Новосибирск: Наука, 1972. 188 с.
8. *Сухомиров Г.И.* Что может дать наша тайга. Хабаровск: Хабаровское кн. изд-во, 1986. 224 с.
9. *Тагильцев Ю.Г., Колесникова Р.Д., Нечаев А.А.* Дальневосточные растения – наш доктор. Хабаровск: Артек-Медиа, 2004. 520 с.
10. *Усенко Н.В.* Деревья, кустарники и лианы Дальнего Востока. Хабаровск: ИД «Приамурские ведомости», 2009. 272 с.
11. *Фруентов Н.К.* Лекарственные растения Дальнего Востока. Хабаровск: Хабаровское кн. изд-во, 1972. 398 с.
12. *Шретер А.И.* Целебные растения Дальнего Востока и их применение. Владивосток: ИПК «Дальпресс», 2000. 113 с.

Поступила 10.01.14

УДК 630*892.6 (571.9)

Chinese Magnolia Vine – the Far Eastern Volatile-Oil-Bearing Plant

E.V. Oshkina, Senior Researcher

R.D. Kolesnikova, Doctor of Biology, Professor

N.V. Vyvodtsev, Doctor of Agriculture, Senior Researcher

Yu.G. Tagiltsev, Doctor of Biology, Professor

Far East Forestry Research Institute, Volochaevskaya, 71, Khabarovsk, 680020, Russia; e-mail: dvniih@gmail.com

The object of the study is Chinese magnolia vine (*Schisandra chinensis* (Turcz.) Baill.). The spread and ecology of this plant in the Far East are described. Purpose of the work is to study the yield and physico-chemical characteristics of essential oils and fir water from vines, fruits and juice production wastes. Studies have been performed by instrumental methods (photoelectric colorimeter, hazemeter, refractometer, pH meter). Essential oils and fir water were extracted from plant raw material by steam distillation on laboratory distillatory of stainless steel. As a result, it has been found that the essential oil from the vines is the lightest, the most heavy – from wastes of juice production. This represents a significant concentration of polyalcohol (Shizandrin) in essential oil from wastes, the smallest amount is in essential oil from vines. Acid index represents the total content of citric, malic, and other organic acids in magnolia vine. The highest acid index is shown in the oil from the fruits. The highest content of coumarins has been found in the oil from the vines. The fir water of magnolia vine as the second product in the production of essential oil was studied for the first time. There were found in the fir water the same components as in the essential oils. It was thus

established that all parts of magnolia vine can be obtained valuable biologically active compounds, nutrient materials and products (fruits, seeds, juices, essential oils and fir water), and various preparations based on them (extracts, tinctures, pulvises, essences). In order to preserve the natural underbrush the plantation cultivation of *Schisandra chinensis* is recommended.

Keywords: *Schisandra chinensis*, spread, ecology, essential oil, fir water, usage.

REFERENCES

1. Ageenko A.S. *Limonnik i ego lechebnoe primeneniye* [Magnolia-Vine and its Medical Usage]. Yuzhno-Sakhalinsk, 1960. 40 p.
 2. Izmodenov A.G. *Bogatstva kedrovo-shirokolistvennykh lesov* [Wealth of the Nut Pine-Deciduous Forests]. Moscow, 1972. 120 p.
 3. Klimovich V.I. *Razmnozheniye i vyrashchivaniye dekorativnykh drevesnykh porod* [Propagation and Growing of Ornamental Trees]. Moscow, 1987. 110 p.
 4. Krylov G.V. *Travy zhizni i ikh iskateli* [The Herbs of Live and Their Seekers]. Tomsk, 1992. 95 p.
 5. Lapaev I.I. *Limonnik i ego lechebnye svoystva* [Magnolia Vine and its Medical Features]. Khabarovsk, 1974. 45 p.
 6. Nosov A.M. *Tselebnye rasteniya* [Curative Plants]. Moscow, 2001. 184 p.
 7. Supronov N.I., Gorovoy P.G., Pankov Yu.A. *Efirnomaslyanye rasteniya Dal'nego Vostoka* [Essential Oil Bearing Plants of the Far East]. Novosibirsk, 1972. 188 p.
 8. Sukhomirov G.I. *Chto mozhet dat' nasha tayga* [What Our Taiga Can Give Us]. Khabarovsk, 1986. 224 p.
 9. Tagil'tsev Yu.G., Kolesnikova R.D., Nechaev A.A. *Dal'nevostochnyye rasteniya – nash doktor* [The Far Eastern Plants – Our Doctor]. Khabarovsk, 2004. 520 p.
 10. Usenko N.V. *Derev'ya, kustarniki i liany Dal'nego Vostoka* [Trees, Bushes and Vines of the Far East]. Khabarovsk, 2009. 272 p.
 11. Fruentov N.K. *Lekarstvennyye rasteniya Dal'nego Vostoka* [Medical Plants of the Far East]. Khabarovsk, 1972. 398 p.
 12. Shreter A.I. *Tselebnye rasteniya Dal'nego Vostoka i ikh primeneniye* [Curative Plants of the Far East and Their Usage]. Vladivostok, 2000. 113 p.
-

УДК 630*221

**ЗАКОНОМЕРНОСТИ ФОРМИРОВАНИЯ ТОВАРНОЙ СТРУКТУРЫ
В УСЫХАЮЩИХ ЕЛЬНИКАХ**© *С.В. Коптев, канд. с.-х. наук, доц.*

Северный (Арктический) федеральный университет имени М.В. Ломоносова, наб. Северной Двины, 17, г. Архангельск, Россия, 163002; e-mail: s.koptev@narfu.ru

Массовое усыхание в широко распространенных в северной тайге разновозрастных ельниках отмечалось с конца XIX в. Новые проявления массового усыхания ельников обнаружены в начале нынешнего столетия в лесных массивах междуречья Северной Двины и Пинеги. В настоящее время в этом районе усыханием затронуто около 2,5 млн га еловых насаждений. В зависимости от степени разновозрастности ельников, представленности возрастных поколений, типов лесорастительных условий размер усыхания в значительной степени варьирует. Как само усыхание, так и товарность усыхающих еловых насаждений – явления многофакторные. Оставшаяся часть древостоя, представленная молодыми поколениями, имеет сниженную товарную структуру по сравнению с подобными возрастными поколениями в нетронутых усыханием древостоях. Усыхание и последующий распад древостоя напоминают неконтролируемую выборочную рубку от средней до высокой интенсивности, при которой выборке подлежит то поколение, которое рискует перейти в категорию усохших деревьев под влиянием комплекса факторов. На основе рядов распределения, моделей расчета параметров выборочных рубок в ельниках с различными условиями произрастания и региональных сортиментных таблиц северотаежных ельников, разработанных автором, получены таблицы прогноза товарности усохшей и оставшейся (незатронутой усыханием) части насаждений. Вследствие усыхания части древостоя нарушается естественное распределение числа деревьев по толщине, поэтому применение обычных таксационных нормативов, разработанных для насаждений без признаков массового усыхания, в большинстве случаев приводит к ошибкам.

Ключевые слова: закономерности строения, старовозрастные поколения, выборочные рубки, усохшие деревья, вероятный отпад деревьев, прогноз товарности.

Массовое усыхание ельников отмечалось на территории нынешней Архангельской области с конца XIX в. [9]. Новые проявления массового усыхания ельников выявлены в начале нынешнего столетия в лесных массивах междуречья Северной Двины и Пинеги. В настоящее время массовым усыханием в этом районе затронуто около 2,5 млн га ельников. В других частях северотаежного региона усыхание встречается повсеместно, но не имеет сплошного покрытия. По мнению лесоводов, явления деградации и гибели высоковозрастных еловых насаждений естественны и длятся, периодически повторяясь, в течение многих столетий [9].

Целями данного исследования являются выявление закономерностей усыхания ели и прогнозы товарной структуры усыхающей и остающейся частей древостоя. Основная идея исследования состоит в предположении анало-

гии процесса усыхания ельников нереализованным в этих насаждениях лесоводственным мероприятиям – выборочным или сплошным рубкам.

В работе использованы общепринятые методики сбора и обработки опытных данных, а также прогнозные модели и алгоритмы, разработанные автором. В различные периоды проведены исследования лесоводственной эффективности выборочных рубок в ельниках Архангельской области и Республики Коми [7] и процессов массового усыхания ели в междуречье рек Северная Двина и Пинега.

Исследуемые насаждения представляют массивы ельников, широко распространенные в северной тайге [2]. При этом преобладает категория разновозрастных ельников с перестойным поколением ели, переходящим в стадию распада (возраст до 200...250 лет) и доминирующим по лесоводственному и хозяйственному значению. На долю этого поколения приходится от 40 до 70 % общего запаса ели [4]. Усыхание происходит преимущественно в разновозрастных ельниках с явно выраженным перестойным поколением. В зависимости от степени разновозрастности ельников, представленности возрастных поколений, типов лесорастительных условий размер усыхания в значительной степени варьирует. Специалисты ФГУ «Рослесзащита» в среднем насчитывают около 80 м³/га мертвого леса в усыхающих ельниках [10].

Наибольший размер усыхания характерен для наиболее продуктивных насаждений. Для условий северной тайги – это ельники черничные, занимающие около 51 % от общей площади ельников [4]. По разным данным эта величина составляет от 40 до 60 % от общего запаса насаждения за период усыхания в последние 5...8 лет. В менее продуктивных типах леса (ельники черничный влажный, долгомошный и травяно-болотный) запас усохших деревьев ели не превышает 10...15 % [10].

Как и любые биологические явления, массовое усыхание многофакторно. По оценкам разных экспертов основными факторами, определяющими интенсивность усыхания перестойных насаждений, являются низкий уровень грунтовых вод, связанный с засушливыми периодами; высокие температуры воздуха, не характерные для данных климатических условий; теплые зимы, которые пришлось на период массового усыхания; усиление ветров в отдельных случаях до штормовых уровней; антропогенное влияние, нарушающее тонкую грань природного баланса в лесных экосистемах, формировавшихся длительный период. Ослабленные деревья поражаются энтомофитными вредителями. Корневые гнили, характерные практически для всех ельников, влияют, в конечном итоге, только на товарность насаждений, закономерно снижая ее в разной степени в зависимости от условий произрастания. Наиболее чутко реагируют на изменение комплекса факторов высоковозрастные насаждения, имеющие высокие размерные характеристики (средний диаметр, средняя высота, относительная полнота). Установлено, что естественная спелость елового насаждения или отдельных возрастных поколений наступает за пределами 160-летнего возраста, а насаждения (соответственно, и поколения), перешагнувшие 200-летний рубеж, как правило, обречены на полную гибель [9].

Подобные явления происходят «одномоментно» по сравнению с продолжительностью формирования насаждения. Дальнейшее массовое усыхание в перспективе возможно, но уже в меньших масштабах и за счет поколений меньших возрастных групп.

Товарность еловых насаждений с проявлением массового усыхания формируется под влиянием ряда факторов. Оставшаяся после распада усохших деревьев часть древостоя, представленная молодыми поколениями, имеет сниженную товарную структуру по сравнению с подобными возрастными поколениями в нетронутых усыханием древостоях. Чем большую долю от запаса представляет перестойное поколение, тем больше повреждений и влияний на оставшуюся часть древостоя может быть оказано выпадающими крупномерными деревьями. Средняя продолжительность стояния на корню усохших деревьев ели составляет 5...6 лет. В зависимости от технологических возможностей лесозаготовительных и перерабатывающих предприятий товарность усохшей части насаждения может быть рассмотрена с разных позиций. Следует учитывать, что усохшие деревья ели быстро переходят в валеж и, соответственно, в другую категорию с точки зрения как непосредственно товарности, так и возможности освоения.

В разновозрастных насаждениях с наличием выраженных перестойных поколений назначаются выборочные рубки различной интенсивности в зависимости от таксационных параметров. При этом выборке подлежит как раз то поколение, которое рискует быть поврежденным влиянием комплекса факторов, т. е. усыхание и последующий распад древостоя напоминают неконтролируемую выборочную рубку от средней до высокой интенсивности.

Так как ель является ветровальной древесной породой, то после усыхания части древостоя (как и после проведения выборочных рубок различной интенсивности) будет происходить вывал (обычно – ветровал) части оставшегося древостоя. Это явление достаточно закономерно и в данном случае зависит от объема усыхания. При небольших объемах усыхания и вывала (10...15 %) распад оставшейся части древостоя через 5...7 лет будет несущественным:

Доля усохших деревьев, %	10	30	50	70	90
Вероятный отпад оставшейся части, %, через 5...7 лет	2	5	12	30	35

На основании опытных материалов доказана высокая корреляционная зависимость между интенсивностью усыхания древостоя и последующим отпадом ели: $r \pm m_r = 0,70 \pm 0,11$.

Как показали наши предыдущие исследования [7, 8], насаждения после выборочной рубки, даже высокой интенсивности, успешно адаптируются к изменившимся условиям среды и по истечении 30...40 лет полностью восстанавливают свои дорубочные характеристики. В среднем процесс адаптации деревьев к изменению условий продолжается 10...15 лет [11]. Аналогичную, но уже не контролируемую ситуацию, следует ожидать и в случае усыхания части насаждений. В формировании древостоев после распада старшего поколения активно

участвует большинство сохранившихся здоровых деревьев, входящих в тонкомерную и центральную части древостоя до его распада, и частично подрост.

Основные изменения в структуре древостоя происходят за счет толстомерных ступеней. В табл. 1 приведен пример соотношения числа деревьев по ступеням толщины в двух древостоях разных категорий состояния с одинаковым средним диаметром (22 см).

Таблица 1

Распределение количества деревьев (%) по ступеням толщины здорового и усыхающего насаждений

Категория состояния насаждения	Процент деревьев по ступеням толщины, см										
	8	12	16	20	24	28	32	36	40	44	Всего
Здоровое	0,8	10,8	20,0	24,0	20,6	13,8	6,8	2,7	0,5	–	100
Усыхающее	0,2	8,0	20,0	26,2	25,5	20,1	–	–	–	–	100

Нами установлено [3, 6] наиболее вероятное количество деловых и дровяных деревьев по ступеням толщины для еловых древостоев разного среднего диаметра (табл. 2).

Таблица 2

Количество деревьев (%) по ступеням толщины в разновозрастных ельниках

Средний диаметр древостоя, см	Процент деревьев по ступеням толщины, см												
	8	12	16	20	24	28	32	36	40	44	48	52	56
12	14,5	38,9	33,5	11,5	1,6	–	–	–	–	–	–	–	–
14	6,7	26,2	34,7	23,3	7,9	1,2	–	–	–	–	–	–	–
16	3,1	15,9	29,8	28,6	15,1	6,3	1,2	–	–	–	–	–	–
18	1,6	9,5	22,4	27,8	22,4	11,0	4,1	1,2	–	–	–	–	–
20	0,8	5,6	15,6	24,1	23,9	17,0	8,6	3,2	1,2	–	–	–	–
22	0,4	3,3	10,7	19,1	23,1	20,0	13,2	6,7	2,3	1,2	–	–	–
24	0,3	2,0	7,0	15,1	20,2	20,4	16,0	10,6	5,5	1,7	1,2	–	–
26	0,1	1,2	4,8	10,7	17,0	20,0	17,6	13,7	8,0	4,4	1,7	0,8	–
28	0,1	0,8	3,5	7,9	13,6	17,5	17,4	15,6	10,7	6,9	3,5	1,7	0,8

Примечание. Заливкой отмечены наиболее вероятные ступени толщины для соответствующих средних диаметров древостоя, в которых возможны усыхание и распад деловых и дровяных деревьев.

На основе приведенных рядов распределения, моделей расчета параметров выборочных рубок в ельниках с различными условиями произрастания [7, 8] и региональных сортиментных таблиц северотаежных ельников [5],

разработанных автором по ГОСТ 9463–88 [1], получены таблицы прогноза товарности усохшей части насаждений (табл. 3). В данной статье приведен фрагмент таблицы для насаждений среднего диаметра 26 см, практически крайнего значения для северотаежных ельников. Исследование товарности насаждений на примере арендной базы Борецкого ЛПХ (Архангельская область), находящегося в зоне массового усыхания ельников, показало, что до начала процесса усыхания здесь преобладали ельники средней товарности (средний выход деловой древесины – 73,5 %, с преобладанием средней (38,4 %) и мелкой (27,1 %)).

Таблица 3

**Фрагмент таблицы прогноза товарности северотаежных ельников
в результате усыхания части древостоя (средний диаметр 26 см)**

Средняя высота, м	Минимальный диаметр усохших деревьев, см	Процент усохших/оставшихся деревьев			
		крупных	средних	мелких	Итого деловой
22	20	32/0	43/46	6/22	81/68
	24	35/0	41/57	5/15	81/72
	28	42/7	35/56	5/11	82/74
	32	52/17	26/49	4/9	82/75
20	20	29/0	45/43	7/24	81/67
	24	32/0	43/55	6/16	81/71
	28	39/6	37/55	5/12	81/73
	32	49/14	27/49	4/11	80/74
17	20	27/0	45/41	8/25	80/66
	24	29/0	44/53	7/17	80/70
	28	35/5	39/54	6/13	80/72
	32	45/14	30/49	5/10	80/73
15	20	24/0	46/39	10/26	80/65
	24	26/0	45/51	8/18	79/69
	28	31/4	41/54	7/13	79/69
	32	40/12	33/48	6/10	79/70

Существующие товарные таблицы используют полные ряды распределения. Вследствие усыхания части древостоя нарушается естественное распределение числа деревьев по толщине. Поэтому для корректных прогнозов товарности насаждений с проявлением усыхания их перестойной части необходимо разрабатывать нормативы с учетом вероятности изменения рядов распределения.

Сухостойная древесина и ликвидный валеж пригодны для технологической переработки (выработка топливных гранул и брикетов). Еловый сухостой пригоден на деловые сортименты в течение 2...3 лет. При материально-денежной оценке их относят в отдельную категорию и рассматривают обычно как дровяную древесину для отопления. Расчеты показывают, что завышение стоимости древесины на корню при прогнозах товарности усыхающих ельников с использованием обычных товарных таблиц составляет в среднем 10...15 % (с колебаниями в отдельных случаях до 55 %).

В настоящее время процесс массового усыхания ели в междуречье Северной Двины и Пинеги приостановился. Есть время для принятия лесоводственных мер, которые могут предотвратить возможные негативные последствия следующих рецидивов массового усыхания.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. ГОСТ 9463–88. Лесоматериалы круглые хвойных пород. М.: Изд-во стандартов, 1988. 13 с.
2. Гусев И.И. Влияние возрастной структуры на соотношение диаметров и высот в таежных ельниках // Лесн. таксация и лесоустройство: межвуз. сб. науч. тр. Красноярск: Изд-во Красн. политехн. ин-та, 1982. С. 110–114.
3. Гусев И.И. Закономерности строения еловых древостоев Европейского Севера. Архангельск: Изд-во АЛТИ, 1977. 40 с.
4. Гусев И.И. Продуктивность ельников Севера. Л.: Изд-во ЛГУ, 1978. 232 с.
5. Гусев И.И., Коптев С.В. Сортиментная структура северотаежных ельников // Лесн. журн. 1991. С. 3–11. (Изв. высш. учеб. заведений).
6. Гусев И.И., Коптев С.В. Товарность северотаежных ельников. Повышение продуктивности лесов Европейского Севера. Архангельск: Изд-во АИЛиЛХ, 1992. С. 56–66.
7. Гусев И.И., Коптев С.В., Третьяков С.В. Математическое моделирование интенсивности рубки в ельниках выборочного хозяйства // Проблемы лесовосстановления на Европейском Севере: сб. науч. тр. Архангельск: Изд-во АГТУ. 1999. С. 25–35.
8. Коптев С.В., Третьяков С.В., Ярославцев С.В. Закономерности формирования ельников выборочного хозяйства и их товарной структуры // Современная наука и образование в решении проблем экономики Европейского Севера: материалы Международ. науч.-техн. конф., посвященной 80-летию АЛТИ-АГТУ. Архангельск: Изд-во АГТУ, 2009. С. 34–36.
9. Кузнецов Н.А. Задвинские ельники. К вопросу о массовом подсыхании ели и в связи с ним о некоторых изменениях в хозяйствах пиловочных дач: вводный докл. XII Всерос. съезду лесовладельцев и лесохозяев в г. Архангельске в 1912 г. СПб., 1912. 40 с.
10. Сурина Е.А., Сеньков А.О. Состояние ельников в междуречье Северной Двины и Пинеги. Проблемы таежного лесоводства: сб. науч. тр. Архангельск: СевНИИЛХ, 2010. С. 84–94.
11. Чибисов Г.А., Вялых Н.И. Выборочные рубки в северотаежных ельниках. Проблемы таежного лесоводства: сб. науч. тр. Архангельск: СевНИИЛХ, 2010. С. 53–67.

Поступила 30.11.12

УДК 630*221

Regularities of Commodity Structure Forming in Shrinking Spruce Forests

S.V. Koptev, Candidate of Agriculture, Associate Professor

Northern (Arctic) Federal University named after M.V. Lomonosov, Naberezhnaya Severnoy Dviny, 17, Arkhangelsk, 163002, Russia; e-mail: s.koptev@narfu.ru

Mass drying of uneven-age spruce forests in the Northern taiga, has been observed since the late 19th century. New occurrences of mass dying of spruce forests have been

marked since the beginning of this century in the forests of the area between the Northern Dvina and Pinega rivers in the Arkhangelsk region. Currently in this area are drying affected about 2.5 million hectares of spruce forests. Depending on the degree of age groups representation in spruce forests, types of forest conditions, shrinkage size is greatly varies. The stands drying itself and marketability of drying spruce stands is a multifactorial phenomenon. The remaining part of the stands, presented by the young generations, has a reduced commodity structure, in comparison with the similar age generations in untouched forest stands by the drying. The shrinking and the subsequent collapse of the stand reminds uncontrolled selective felling of medium to high intensity, in which the selection is subject to just the generation that risks entering into the category of dried trees under the influence of a complex of factors. On the basis of a trees distribution series, models of selective cutting parameters calculation in spruce forests with various growth conditions and regional assortment tables for the Northern taiga spruce forests, developed by the author, are obtained forecast tables of merchantability shrunken, and the remaining (unaffected by the shrinkage) stands. Due to the drying part of the stand will disturb the natural distribution of the amount of trees in thickness. Therefore, the application of customary forest valuation norms, developed for stands with no signs of mass drying, in most cases, causes errors.

Keywords: regularities of stand, overmature generations, selective cuttings, shrunked trees, probable tree fall-off, merchantable structure forecast.

REFERENCES

1. GOST 9463-88. *Lesomaterialy kruglye khvoynykh porod* [State Standart 9463-88. Round Timber of Coniferous Species]. Moscow, 1988. 13 p.
2. Gusev I.I. Vliyanie vozrastnoy struktury na sootnoshenie diametrov i vysot v taezhnykh el'nikakh [The Influence of Age-Dependent Structure on the Ratio of Diameters and Heights in the Taiga Spruce Forests]. *Lesnaya taksatsiya i lesoustroystvo, Mezhdvuz. sb. nauch. tr.* [Forest Valuation and Forest Management: Interuniversity Collected Papers]. Krasnoyarsk, 1982, pp. 110–114.
3. Gusev I.I. *Zakonomernosti stroeniya elovykh drevostoev Evropeyskogo Severa* [Regularities of Spruce Forests Structure of the European North]. 1977. 40 p.
4. Gusev I.I. *Produktivnost' el'nikov Severa* [Productivity of Spruce Forests in the North]. Leningrad, 1978. 232 p.
5. Gusev I.I., Koptev S.V. Sortimentnaya struktura severotaezhnykh el'nikov [Assortment structure of the North-taiga spruce forests]. *Lesnoy zhurnal*, 1991, no. 4, pp. 3-11.
6. Gusev I.I., Koptev S.V. *Tovarnost' severotaezhnykh el'nikov. Povyshenie produktivnosti lesov Evropeyskogo Severa* [Marketability of the Northern Taiga Spruce Forests. Increase of Forest Productivity of the European North]. Arkhangelsk, 1992, pp. 56–66.
7. Gusev I.I., Koptev S.V., Tret'yakov S.V. Matematicheskoe modelirovanie intensivnosti rubki v el'nikakh vyborochnogo khozyaystva [Mathematical Modeling of Heaviness of Felling in Spruce Forests of the Selective Cutting Management]. *Sb. nauch. tr. Problemy lesovosstanovleniya na Evropeyskom Severe* [Collected Papers: Problems of Forest Regeneration in the European North]. Arkhangelsk, 1999, pp. 25–35.
8. Koptev S.V., Tret'yakov S.V., Yaroslavtsev S.V. *Zakonomernosti formirovaniya el'nikov vyborochnogo khozyaystva i ikh tovarnoy struktury* [Regularities of Spruce Forests Formation of the Selective Cutting Management and Their Commodity Pattern]. *Sovremennaya nauka i obrazovanie v reshenii problem ekonomiki Evropeyskogo severa. Mater.*

Mezhdunar. nauch. tekhn. konf. [Modern Science and Education in Solving the Economic Problems of the European North. Proc. Int. Sci.-Tech. Conf.]. Arkhangelsk, 2009, pp. 34–36.

9. Kuznetsov N.A. Zadvinskije el'niki. K voprosu o massovom podsykhanii eli i v svyazi s nim o nekotorykh izmeneniyakh v khozyaystvakh pilovochnykh dach. [Spruce Forests Situated on the Right Bank of Dvina-River. To the Question of Mass Drying of Spruce and Some Changes in the Sawn Goods Resources]. *Vvodnyy doklad XII Vserossiyskomu S"ezdu lesovladel'tsev i lesokhozyaev v gor. Arkhangel'ske v 1912 g.* [Inducement Report of the XII all-Russian Congress of Forest Owners in Arkhangelsk in 1912]. St. Petersburg, 1912. 40 p.

10. Surina E.A., Sen'kov S.A. Sostoyanie el'nikov v mezhdurech'e Severnoy Dviny i Pinegi [State of Spruce Forests in the Area Between the Northern Dvina and Pinega rivers]. *Problemy taezhnogo lesovodstva. Sbornik nauchnykh trudov* [Problems of Taiga Forestry. Collected Papers]. Arkhangelsk, 2010, pp. 84–94.

11. Chibisov G.A., Vyalykh N.I. Vyborochnye rubki v severotaezhnykh el'nikakh [Selective Cutting in the Northern Taiga Spruce Forests]. *Problemy taezhnogo lesovodstva. Sbornik nauchnykh trudov* [Problems of Taiga Forestry. Collected Papers]. Arkhangelsk, 2010, pp. 53–67.

УДК 630*551.509.68(571.62)

**МЕТОД ДОЛГОСРОЧНОГО ПРОГНОЗА ПОКАЗАТЕЛЕЙ
ПОЖАРНОЙ ОПАСНОСТИ В ЛЕСАХ ПРИАМУРЬЯ
НА ОСНОВЕ УЧЕТА ПАРАМЕТРОВ
АТМОСФЕРНОЙ ЦИРКУЛЯЦИИ***

© *Г.В. Соколова, канд. геогр. наук, ст. науч. сотр.*

Институт водных и экологических проблем ДВО РАН, ул. Ким Ю Чена, 65, г. Хабаровск, Россия, 680000; e-mail: pozhar@ivep.as.khb.ru

Представлены первые результаты разработки долгосрочного прогноза возникновения опасности лесных пожаров (или их отсутствие) по метеорологическим условиям в регионах Дальнего Востока. Балансовыми методами воссозданы показатели пожарной опасности в лесах Хабаровского края, Еврейской автономной и Амурской областях за 30 лет. На основе анализа пожарного режима и сопутствующих метеорологических условий за каждый месяц пожароопасного сезона (апрель-май) с 1960 г. по 2009 г. выполнено зонирование исследуемой территории. Выделены три лесопожарные зоны с пониженной, повышенной и средней многолетней степенью пожарной опасности по условиям погоды. В целях разработки прогноза сформированы три базы данных: метеорологическая (температура, влажность, осадки), синоптическая (параметры атмосферной циркуляции) и лесопожарная (показатели засухи и пожарной опасности по условиям погоды). Атмосферная циркуляция характеризовалась следующими среднемесячными значениями аномалий в точках географической сетки: приземная температура воздуха и давление у земли, геопотенциал (потенциал силы тяжести) в средней тропосфере и нижней стратосфере умеренных широт Северного полушария от Азорских до Алеутских островов. Для каждого месяца в данной лесопожарной зоне установлены значимые для прогноза метеорологические поля, которые определены по критерию Росгидрометцентра для оценки долгосрочных прогнозов полей аномалий метеорологических величин. Выявлено, что наиболее существенное влияние на лесопожарную обстановку в данной зоне оказывают метеорологические поля над районами северо-западной части Тихого океана и Северной Атлантики, где наблюдается наибольшая теплоотдача из океана в атмосферу. Показана возможность разработки долгосрочного лесопожарного прогноза на основе учета влияния процессов как в океане, так в атмосфере.

Ключевые слова: лесные пожары, моделирование, прогноз, базы данных, синоптико-статистический метод.

Актуальность проблемы лесных пожаров, в том числе их прогноза, без которого затруднена организация эффективной борьбы с ними, очевидна еще

* Исследования поддержаны грантом Международного научно-технического центра (ISTC), проект № 4010 «Методика прогноза опасности лесных пожаров в Хабаровском крае, Еврейской автономной области и Амурской области на основе учета аэросиноптических и спутниковых материалов» (2010–2012 гг.).

и в связи с возрастающей ролью глобального потепления. Сегодняшние оценки влияния природных пожаров в глобальном масштабе на геосистемы разных уровней, по мнению создателя глобальной сети лесопожарного мониторинга проф. Й. Голдаммера и президента Тихоокеанского лесного форума проф. Л.Г. Кондрашова [10], далеки от совершенства, они (природные пожары) могут и должны предупреждаться и контролироваться. По мнению ученого-пиролога Е.С. Арцыбашева, «... основной фигурой при организации борьбы с лесными пожарами на местах должен стать, в том числе, и метеоролог или лесовод-метеоролог» [1, с. 14], именно у такого специалиста должна быть сосредоточена вся информация о пожарах, синоптические карты, космоснимки и другие необходимые материалы.

Вопреки существовавшей ранее концепции «самоотмирания» проблемы лесных пожаров в связи с ростом сознания и культуры населения в последние десятилетия наблюдается резкое обострение этой проблемы. На территории Хабаровского края и Еврейской автономной области горимость лесов является одним из наиболее высоких показателей в России. Об этом свидетельствуют средние статистические данные. Крупномасштабные лесные пожары, охватывающие огнем и дымом огромные территории, повторяются здесь (за период наблюдений) с 22-летней периодичностью. Они отмечались в 1932, 1954, 1976 и 1998 гг. Крупные пожары с меньшим охватом площади наблюдались в последние десятилетия: 1980, 1988, 1996, 2004 гг., т. е. с периодом 8 лет (рис. 1).

Частые и интенсивные возгорания в лесах за полувековой (и более) период наблюдений возникают в основном на одних и тех же лесных территориях. Почти всегда пожары начинаются и набирают силу на свежих вырубках или давно пройденных рубками. Бесспорно, что человеческий фактор оказывает существенное влияние на увеличение числа пожаров, масштабность и интенсивность естественного процесса горимости лесов, однако в данной работе не ставилась задача рассмотрения роли человеческого фактора в возникновении пожаров, а также их ликвидации.



Рис. 1. Динамика числа лесных пожаров за пожароопасные сезоны (1931–2011 гг.) в Хабаровском крае и Еврейской автономной области (точками показана воссозданная по метеоданным динамика лесных пожаров; горизонтальные линии соответствуют среднему многолетнему значению за данный период)

Реальные возможности приступить к серьезным разработкам долгосрочного лесопирологического прогноза сложились при финансовой поддержке Японии (Центр исследований Северо-Восточной Азии университета Тохоку, г. Сендай) и содействии Международного научно-технического центра (ISTC).

В основу разработки прогноза показателей опасности лесных пожаров, которые, как и другие природные явления, главным образом зависят от погоды, легли общие принципы разработки методов долгосрочных гидрологических прогнозов ледовых явлений, заложенные еще в 1940–1950-х гг. в Центральном институте прогнозов (ныне Росгидрометцентр). Ледовые явления в крупных гидрологических районах наиболее полно интегрируют температурно-влажностные условия окружающей среды (в нашем случае лесопожарная обстановка во многом зависит от условий среды). Правильность и перспективность подобного направления подтверждается дальнейшими успешными разработками в поисках долговременных прогностических зависимостей пожарной опасности в лесах Дальнего Востока. Так, с 1990-х гг. опыт разработок в этом направлении был применен в ФГБУ ДальНИИЛХ для прогноза показателей опасности лесных пожаров [4, 5 и др.], а с 2004 г. разработки продолжают в Институте водных и экологических проблем ДВО РАН [6, 7 и др.].

Примечательно, что необходимость исследований условий возникновения лесных пожаров на Дальнем Востоке в целях их прогноза была вызвана оперативной практикой гидрологического обеспечения народно-хозяйственных организаций долгосрочными прогнозами водного и ледового режимов в бассейне р. Амур. В 1980-х гг. гидрологи-прогнозисты (в том числе автор статьи) Хабаровского гидрометцентра (ныне – ФГБУ «Хабаровский ЦГМС – РСМС»), нередко сталкивались с нарушениями устойчивости прогностических связей в годы с крупномасштабными лесными пожарами. Результаты многолетних исследований с использованием дистанционных методов (космоснимки очагов лесных пожаров и задымления атмосферы, высотные карты барической топографии) за период наблюдений с 1950-х гг. позволили констатировать следующее.

В умеренных широтах Азии в период максимального теплоприхода условиям подстилающей поверхности и физическим характеристикам воздушных масс (плотность, мутность, вязкость, состав аэрозоля и др.) как факторам, реализующим солнечную энергию в тепло, может принадлежать значительно большее значение, чем предшествующим гидрометеорологическим условиям. Сложный комплекс основных факторов трансформации энергии дополняется не менее сложной проблемой воздействия на естественные физические процессы факторов загрязнения атмосферы на всех основных изобарических поверхностях тропосферы. Начиная с 1960–1980-х гг. проявляется заметное влияние этих факторов на состояние атмосферы Северо-Восточной Азии. Область максимального теплоприхода (естественного и антропогенного, а пожары в Сибири и на Дальнем Востоке на 80...90 % и более возникают по вине человека) является наиболее вероятной основой развития в умеренных широтах стационарных тропосферных гребней с засушливыми погодными условиями.

На основе анализа высотных карт барической топографии, совмещенных с космоснимками крупных лесных пожаров и задымления атмосферы в районах Северо-Восточной Азии за 1950–2011 гг., сделан вывод, что массовые пожары с обширным задымлением атмосферы в этом географическом районе приводят к изменению циркуляции последней. При этом создаются условия, способствующие прохождению над зоной пожаров антициклонов, а траектории циклонов обходят ее стороной. Возникает преобладание аномального перераспределения осадков, когда усугубляется опасная обстановка в районах пожаров, в то время как на сопредельных территориях формируются крупные паводки на реках в результате проливных дождей. Бесспорно распространено утверждение, что хорошо прогретый и сухой воздух в малоподвижных антициклонах способствует возникновению пожаров с последующим задымлением атмосферы. Однако, если в это время в атмосферу поступает огромное количество дымовых аэрозолей, загрязнение воздушной массы становится дополнительным фактором значительной устойчивости высотного тропосферного гребня, влияющего на дальнейшее распределение параметров общей циркуляции атмосферы на данном уровне. Как выявлено исследованиями, устойчивость сформированной в загрязненной атмосфере крупной барической системы соответствует интервалу времени от 1 до 3 мес. (летних).

Подобные многолетние исследования как научный задел послужили основой для написания заявки в ISTC на получение гранта для продолжения исследований в этом направлении.

Выделим главные положения, используемые в работе по проекту ISTC. Важнейшей предпосылкой разработки методов долгосрочных прогнозов опасных природных явлений служит тот факт, что ежегодно возникающие условия этой опасности преимущественно однородны на значительных по площади территориях, охватывающих группы районов (или целые зоны). Такие территории названы нами лесопожарными зонами, для которых целесообразно выявлять прогностические зависимости, свободные от влияния локальных и случайных факторов. Известно, что условия возникновения опасности лесных пожаров оцениваются расчетными комплексными метеорологическими показателями. Для изучения лесопожарного режима на обширной территории применен метод воссоздания непрерывных рядов прогнозируемых величин по метеорологическим данным, применяемый в Гидрометцентре СССР с 1970–1980-х гг. (в том числе и автором статьи) для сроков разрушения льда на водных объектах при отсутствии на них наблюдений. По проекту ISTC предусматривалось, что воссоздание показателей пожарной опасности за предшествующие годы в целях сравнительного анализа и дальнейшей оптимизации методики расчета будет выполняться по двум теплобалансовым методам:

метод В.Г. Нестерова [3], используемый в оперативной практике лесной охраны России и Росгидрометцентра, по которому расчеты проводятся на основе ежедневных данных о температуре воздуха, точке росы и суточных осадках;

новый метод, разработанный в Институте леса им. В. Н. Сукачева СО РАН ученым-пирологом М.А. Софроновым [8], по которому расчеты выполняются на основе учета средних месячных данных о температуре и влажности воздуха, количестве дней за месяц с интенсивными осадками.

Другое принципиальное положение состоит в том, что методы долгосрочных прогнозов основаны на зависимости данного природного явления от условий формирования крупных температурных аномалий в переходные сезоны года. Такие условия различны по учитываемым характеристикам влияющих факторов, в большинстве случаев – атмосферных процессов. При этом используются физически обоснованные значимые параметры состояния атмосферы (синоптико-статистический метод). Этот метод, нашедший свое применение не только в прогнозах погоды [9], но и в смежных с метеорологией областях (например, в гидрологии [2], океанологии, гляциологии) предусматривает сжатие большого объема синоптической информации до прогностической модели с 3–5 неизвестными и включает в себя следующие основные этапы работ:

1. Выделение характерных (значимых для прогноза) полей метеорологических элементов в тропосфере и нижней стратосфере на всем пространстве Северного полушария.

2. Получение количественных характеристик атмосферных процессов в этих полях с помощью метода разложения по естественным ортогональным функциям (ЕОФ), т. е. нахождения разложения, имеющего сходимость.

3. Использование коэффициентов разложения по ЕОФ в качестве потенциальных предикторов (предсказателей) в дальнейшем пошаговом регрессионном анализе.

Совершенно очевидны выводы ученых Росгидрометцентра [2, 9], что при разработке методики долгосрочного прогноза природного явления необходимо учитывать влияние процессов теплообмена в океане и условий атмосферной циркуляции. Новый потенциальный фактор – океанический, который посредством влияния на развитие атмосферных процессов предопределяет условия возникновения пожарной опасности в лесах, был рассмотрен нами еще в 1990-х гг., затем описан в монографии [7]. Первые результаты использования коэффициентов разложения по ЕОФ полей аномалии температуры поверхности Тихого океана (ΔT) в северо-западной его части для прогноза лесопожарной опасности в Приамурье были положительными. Установлено, что показатели высокой и чрезвычайной лесопожарной опасности (на примере трех авиаотделений на территории Среднего Приамурья) в осенний период имеют прогностическую связь с первыми четырьмя коэффициентами разложения по ЕОФ полей изменения температуры Тихого океана в июне-июле. Этот тезис, приведенный в [2], имеет место и в нашем случае, однако (в связи с ограничительными рамками проекта ISTC – финансовыми и временными) в статье представлены результаты, полученные на основе учета влияния процессов в пространстве Северного полушария, что немаловажно при работе над проблемой лесных пожаров.

Построен общий алгоритм моделирования долгосрочного лесопирологического прогноза. Пошаговое описание процесса разработки от исходных данных до конечного результата представлено на графическом алгоритме в виде двух блок-схем (рис. 2). После формирования метеорологической базы данных (температура и влажность воздуха, температура точки росы, суточные интенсивные осадки и сумма дней за месяц с интенсивными осадками) выполнено воссоздание расчетом многолетних рядов показателей пожарной опасности за каждый месяц пожароопасного сезона. Расчеты выполнены по данным 50 метеорологических станций, расположенных на территории Хабаровского края (площадь – 788,6 тыс. км², 26 станций), Еврейской автономной (36,0 тыс. км², 4 станции) и Амурской (363,7 тыс. км², 20 станций) областей. Общий период используемых метеорологических наблюдений составляет 50 лет (1960–2009 гг.). По данным ФГБУ ДальНИИЛХ на этих территориях отмечается самый высокий на Дальнем Востоке уровень горимости лесов, наибольший – в Еврейской автономной области: 55 лесных пожаров на площади 1 млн га. Все расчеты автоматизированы и выполнены по специально разработанным компьютерным программам с использованием программы для работы с электронными таблицами Microsoft Excel.

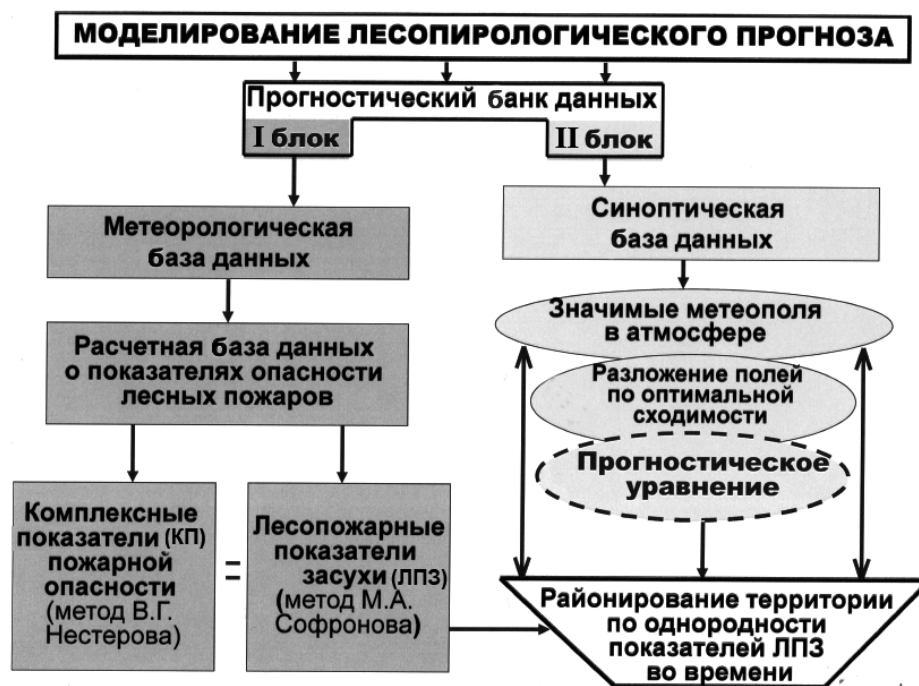


Рис. 2. Графический алгоритм моделирования долгосрочного лесопирологического прогноза пожарной опасности в лесах Дальнего Востока (Хабаровский край, Амурская и Еврейская автономная области)

Многолетние ряды показателей лесопожарной опасности, воссозданные расчетом теплобалансовыми методами В.Г. Нестерова и М.А. Софронова, усреднялись по периодам пожароопасного сезона: весна (апрель – май), лето (июнь – август), осень (сентябрь – октябрь) и весь пожароопасный сезон (апрель – октябрь) по каждой из 50 станции. Вначале расчеты по этим двум методам выполнялись на примере небольшой территории – Среднего Приамурья, включающей всего 8 метеостанций. Затем корреляционным анализом обнаружилась связь между усредненными показателями лесопожарной опасности (т. е. между значениями КП и ЛПЗ на рис. 2), рассчитанными разными методами. Связь оценивалась преимущественно высокими коэффициентами корреляции ($R^2 \geq 0,6 \dots 0,9$).

Дальнейший анализ пожарного режима в лесах продолжался по методу М.А. Софронова, который позволяет выполнять исследования на больших территориях при использовании меньшего количества метеорологических данных. В отличие от метода В.Г. Нестерова, по которому средние (точнее – средневзвешенные) показатели пожарной опасности за месяц (период, сезон) можно рассчитать только по ежедневным метеоданным. Однако главный аргумент правильно выбранного направления заключался не только в экономии рабочего времени, но и в отсутствии дополнительных финансовых затрат по проекту ISTC на высокооплачиваемые выборки ежедневных метеорологических элементов по каждой станции за каждый месяц (вместо запланированных по проекту средних месячных значений).

Далее показатели опасности лесных пожаров, усредненные по каждой станции за весну, лето, осень и весь пожароопасный сезон, были нанесены на географические карты. Анализ карт показал, что ежегодно эти показатели однородны на значительных территориях. Таким образом, были выделены I, II и III лесопожарные зоны (по степени уменьшения пожарной опасности). Наибольшие значения классов засухи (по М.А. Софронову) и наибольшую площадь имеет I зона, ее протяженность вдоль левобережья р. Амур составляет примерно 4 тыс. км. Она включает 17 метеостанций, расположенных в южной части Амурской и на большей части территории Еврейской автономной областей, а также в самых южных и северных районах Хабаровского края. Во II зоне (21 метеостанция) наибольшее число станций расположено в Хабаровском крае, затем в Амурской области и лишь одна – в Еврейской автономной области. В III зоне (12 станций) охвачены метеоинформацией северные районы Амурской области и центральные районы Хабаровского края. Именно для этих лесопожарных зон и соответствующих периодов (месяцев) велись дальнейшие разработки в целях получения прогностических зависимостей.

Для применения синоптико-статистического метода была сформирована синоптическая база данных о предикторах, обуславливающих степень лесопожарной опасности; сделана выборка параметров циркуляции в тропосфере и нижней стратосфере умеренных широт (в пределах $40 \dots 75^\circ$ с. ш.) от Азорских (средний меридиан 30° з. д.) до Алеутских (средний меридиан 170° з. д.) островов с шагом 5° по широте и 10° по долготе. Период выборок – с января по июнь 1960–2009 гг. На пространстве Северного полушария рассмотрены следующие

поля среднемесячных значений аномалии: приземной температуры воздуха (ΔT); давления у земли (ΔP); геопотенциала в средней тропосфере (H_{500}) и нижней стратосфере (H_{100}).

Дополнительно сделана выборка из синоптических карт параметров ближайшего к Приамурью климатологического центра действия атмосферы (ЦДА) – алеутской депрессии, оказывающей влияние на погодные условия весны (летом этот ЦДА исчезает, даже в мае он отсутствует). На это указывал опыт гидрологов-прогнозистов ФГБУ «Хабаровский ЦГМС – РСМС» (в том числе и автора статьи) при составлении в 1970–1990-х гг. долгосрочного прогноза весенних ледовых явлений в бассейне р. Амур. Большая устойчивость алеутской депрессии обуславливает северные потоки на Приамурье. Для выявления подобного влияния рассматривались две характеристики состояния алеутской депрессии. За каждый год (с 1960 г. по 2011 г.) в январе, феврале, марте и апреле с синоптических карт снимались следующие параметры атмосферной циркуляции:

1. Наибольшее за месяц распространение на запад алеутской депрессии, т. е. меридиан λ пересечения западной границы ЦДА. Для количественного выражения этой характеристики разработан следующий прием. При отклонении λ от среднего положения по долготе (180° с. ш.) к востоку значения $\Delta\lambda$ принимали в расчет со знаком «+», к западу – со знаком «-».

2. Максимальная за месяц интенсивность алеутской депрессии (в гектопаскалях). Как показал анализ условий возникновения лесопожарной опасности, эта характеристика оказалась наиболее прогностически значимой. Используя в дальнейшем метод пошаговой регрессии, учитывали вероятность, что этот предиктор будет дополнять основной предсказатель, представленный значимыми коэффициентами разложения по ЕОФ метеополей, увеличивая в прогностических уравнениях коэффициент множественной корреляции, т. е. улучшая показатель эффективности метода.

После формирования лесопожарной и синоптической баз данных и зонирования территории выполнены работы по выявлению значимых полей метеорологических элементов в тропосфере и нижней стратосфере, в которых атмосферные процессы наиболее влияют на лесопожарную обстановку данной территории. Для их выделения нами применен способ оценки значений пространственного поля, принятый в Гидрометцентре для оценки долгосрочных прогнозов полей аномалий метеорологических величин и успешно применяемый в гидрологических прогнозах [2]. Таким критерием является индекс ρ – оценка по знаку аномалии, т. е. по совпадению и несовпадению знаков аномалий. В нашем случае – показателей лесопожарной опасности и параметров циркуляции.

Вначале был выполнен расчет среднего отклонения значений $KП_{\text{средн}}$ и $ЛПЗ_{\text{средн}}$ для каждой станции данной лесопожарной зоны по каждому месяцу:

$$KП_{\text{средн}}(m, y) = (KП(1, m, y) + KП(2, m, y) + \dots + KП(n, m, y)) / n;$$

$$N(m) = (KП_{\text{средн}}(m, y_1) + \dots + KП_{\text{средн}}(m, y_k)) / k;$$

$$\Delta KП(m, y) = KП_{\text{средн}}(m, y) - N(m).$$

Здесь m – месяц наблюдений (апрель, май, июнь, июль, август, сентябрь, октябрь); y – год наблюдений (1960–2009 гг.); КП (i, m, y) – значение среднемесячного показателя КП по одной станции для месяца m и года y ; n – число станций; $N(m)$ – среднее значение КП за месяц m ; k – количество лет наблюдений.

Значения индекса ρ рассчитывали для каждой географической точки данной широты и долготы в каждом месяце пожароопасного сезона. Учитывалось совпадение и несовпадение знаков аномалий между лесопожарными характеристиками и метеоэлементами по всем годам наблюдений y :

ΔКП (или ΔЛПЗ) за данный месяц ($m1$) пожароопасного сезона с апреля по октябрь;

аномалиями метеорологических элементов (приземной температуры ΔT , давления ΔP , значений геопотенциала ΔH_{500} и ΔH_{100}) за каждый из предшествующих месяцев ($m2$) с января по июнь.

Значения расчетной корреляционной матрицы (по индексу ρ , умноженному на 100) за каждый месяц сканировали на географическую карту по соответствующим координатам для наглядности изображения значимого метеорологического поля, состоящего из 20–24 точек (узлов). Система из подобного количества точек в метеорологическом поле вполне достаточна для получения устойчивых основных естественных колебаний. Затем на географической карте проводили изолинии равных значений ρ для каждого месяца пожароопасного сезона, которые ограничивали значимые метеорологические поля с наибольшими значениями индекса $\rho \cdot 100$.

Всего было построено 468 таких карт, анализ которых выявил следующую закономерность. Наиболее часто показательные метеополы для прогноза пожарной опасности в лесах Дальнего Востока проявляются над северо-западной частью Тихого океана (вблизи алеутской депрессии, иногда западнее или южнее). Значимые метеополы, выявленные над Северной Атлантикой (вблизи азорского максимума и исландского минимума, иногда восточнее), часто включали меньшее число точек. Здесь отмечаются только положительные значения индекса $\rho \cdot 100$ и в меньших пределах. Чередование положительных и отрицательных метеополей дает представление о формах колебаний метеорологических элементов в атмосфере, их сезонных отличиях и других особенностях макромасштабных закономерностей. Их взаимное расположение устойчиво выявляется преимущественно в одних и тех же географических районах. Например, приземное давление ΔP в январе в зоне азиатского (сибирского) антициклона имеет прямое влияние на лесопожарную обстановку в Приамурье в августе, здесь значения $\rho \cdot 100$ за 1980–2009 гг. колеблются в пределах $+(27...73)$. При отрицательных значениях индекса в данном метеополе проявляется обратная связь с лесопожарной обстановкой. Так, условия опасности пожаров в лесах Приамурья в сентябре имеют противоположную зависимость от ΔP в зоне алеутской депрессии в апреле, при этом отрицательные значения индекса в данном метеополе равны $-(40...73)$.

Таким образом, в процессе поэтапной разработки метода долгосрочного лесопирологического прогноза (на примере Дальнего Востока) получены следующие результаты.

1. На основе анализа пожарного режима и сопутствующих метеорологических условий за 1960–2009 гг. выполнено зонирование территории Дальнего Востока в пределах Амурской и Еврейской автономной областей, Хабаровского края по максимальной температуре воздуха и лесопожарным показателям засухи. Для каждого периода (весна, лето, осень) и всего пожароопасного сезона выделены три зоны (I – III) с преимущественно однородными классами засухи (по методу М.А. Софронова), для которых ведутся поиски прогностических зависимостей.

2. Показана возможность применения метода долгосрочного прогноза ледовых явлений (природных явлений, зависящих, как и лесные пожары, от погодных условий) в разработке лесопирологического прогноза на основе учета параметров атмосферной циркуляции.

3. Разработано программное обеспечение и выполнены расчеты: показателей пожарной опасности по методу В.Г. Нестерова; лесопожарных показателей засухи по методу М.А. Софронова; значимых пространственных метеорологических полей в тропосфере и нижней стратосфере Северного полушария; допустимой погрешности долгосрочного лесопирологического прогноза.

4. Расчетом по метеоданным воссозданы за прошлые годы 30-летние ряды лесопожарных показателей засухи за апрель–октябрь по 50 станциям трех крупных лесопожарных зон, что позволило выявить для каждой зоны и месяца значимые метеополы в тропосфере и нижней стратосфере Северного полушария. Проведен анализ географического расположения значимых метеополей в связи с распределением климатологических ЦДА, определяющих среднее распределение течений общей циркуляции атмосферы на данном уровне.

5. Выявлено существенное влияние пространственного распределения аномалий метеорологических элементов в районах северо-западной части Тихого океана, а также Северной Атлантики и континента (Северо-Восточной Азии) на лесопожарную обстановку изучаемой территории. Полученные выводы согласуются с результатами исследований проф. Б.М. Гинзбурга [2] о влиянии обоих океанов на сроки вскрытия и замерзания рек (включая р. Амур) и прохождения весеннего половодья.

Как показали результаты работ, подобные исследования могут быть применены и к другим природным процессам переходных сезонов и в других смежных с метеорологией дисциплинах (включая лесную пирологию), а также в других регионах страны. В качестве ближайшей задачи и некоторых желаний следует считать актуальным усовершенствование предлагаемого метода долгосрочного прогноза лесопожарных ситуаций в районах Дальнего Востока с учетом влияния на них распределения аномалий температуры поверхности океанов – северо-западной части Тихого океана и Северной Атлантики.

Применение новейших методов статистического анализа, совершенствующихся и расширяющихся океанологических и метеорологических наблюдений, а также создание соответствующих баз данных, позволят существенно улучшить разрабатываемый метод долгосрочного лесопирологического прогноза.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Арцыбашев Е.С.* О стратегии борьбы с лесными пожарами // Материалы совещания-семинара по решению лесопожарных проблем, 18–20 дек. 2001 г. СПб.: СПбНИИЛХ. С. 11–15.
2. *Гинзбург Б.М.* Влияние температуры поверхности океанов на сроки замерзания и вскрытия рек. Методы его учета. СПб.: Гидрометеиздат, 2005. 100 с.
3. *Нестеров В.Г.* Горимость леса и методы ее определения. М.: Гослесбумиздат, 1949. 76 с.
4. *Соколова Г.В.* Прогноз пожарной опасности в лесах Хабаровского края // Метеорология и гидрология. 1992. № 11. С. 104–107.
5. *Соколова Г.В.* Влияние лесных пожаров на погоду // Лесн. журн. 2006. № 6. С. 128–131. (Изв. высш. учеб. заведений).
6. *Соколова Г.В., Коган Р.М., Глаголев В.А.* Пожарная опасность территории Среднего Приамурья: оценка, прогноз, параметры мониторинга. Хабаровск: Изд-во ДВО РАН, 2009. 265 с.
7. *Соколова Г.В., Тетерятникова Е.П.* Проблемы долгосрочного прогнозирования пожарной опасности в лесах Хабаровского края и Еврейской автономной области по метеорологическим условиям. Хабаровск: Изд-во ДВО РАН, 2008. 150 с.
8. *Софронов М.А.* Система пирологических характеристик и оценок как основа управления пожарами в бореальных лесах: дис. ... д-ра с.-х. наук. Красноярск: ВНИИПОМлесхоз, 1998. 60 с.
9. *Урюмов А.И.* Тепловой режим океана и долгосрочные прогнозы погоды. Л.: Гидрометеиздат, 1981. 176 с.
10. *Шешуков М.А., Голдаммер Й.Г., Телицын Г.П., Сапожников А.П., Выводцев Н.В., Брусова Е.В., Джурвелюс М., Кондрашов Л.Г., Любякин А.П., Острошенко В.В., Панкратова Н.Н., Соколова Г.В., Шестеркина В.П., Винокуров В.М., Никитин С.П.* Северо-восточная Азия: вклад в глобальный лесопожарный цикл / Отв. ред. Й.Г. Голдаммер, Л.Г. Кондрашов. Фрайбург: Центр глобального мониторинга природных пожаров; Хабаровск: Тиоокеанский лесной форум, 2006. 455 с.

Поступила 30.01.13

УДК 630*551.509.68(571.62)

Long-Term Forecast Method of Fire Danger in the Priamurye Forests by Taking into Account the Parameters of Atmospheric Motion

G.V. Sokolova, Candidate of Geography Senior, Researcher

Institute of the Water and Ecology Problems Far Eastern Branch of Russian Academy of Sciences, Kim Yu Chena, 65, Khabarovsk, 680000, Russia; e-mail: pozhar@ivep.as.khb.ru

The first results of the development of long-term prediction of forest fire risk (or lack) in the regions of the Russian Far East on the meteorological conditions are introduced. Fire danger

indicators are reconstructed by the balance methods in forests of the Khabarovsk Krai, the Jewish Autonomous and the Amur regions for 30 years. Based on analysis of fire regime and attendant meteorological conditions for each month of the fire season (April-May) from 1960 to 2009 years zoning of investigated area is implemented. Three forest fire zones are identified: a low, heavy, average level of fire danger due to the weather conditions. In order to forecast are formed three databases: weather (temperature, humidity, precipitation), synoptic (parameters of atmospheric circulation) and forest fire (indicators of drought and fire danger due to the weather conditions). Atmospheric circulation is characterized by the following average monthly anomalies in the geographical grid points: surface air temperature and ground-level pressure, the geopotential (gravitation potential) in the middle troposphere and the lower stratosphere of the temperate latitudes of the Northern Hemisphere from the Azores to the Aleutian Islands. For each month in the forest fire zone significant meteorological fields are established for the prediction, which are determined by Hydrometeorological Centre of Russia for assessment the long-term forecasts of meteorological fields anomalies. It is revealed that the most significant impact on the forest fire situation in this area provide meteorological fields over the areas of the north-western part of the Pacific Ocean and the North Atlantic, where there is the greatest heat emission from the ocean to the atmosphere. The possibility of developing a long-term forest pyrological forecast, based on accounting the influence of processes in the ocean and the atmosphere, is presented.

Keywords: forest fires, modeling, prediction, database, synoptic-statistical method.

REFERENCES

1. Artsybashev E.S. O strategii bor'by s lesnymi pozharami [About the Strategy of Wildfire Suppression]. *Soveshchanie-seminar po resheniyu lesopozharnykh problem* [Seminar to Address the Forest Fire Problems]. St. Petersburg, 18-20 December, 2001, pp. 11-15.
2. Ginzburg B.M. *Vliyaniye temperatury poverkhnosti okeanov na sroki zamerzaniya i vskrytiya rek. Metody ego ucheta* [Temperature Effect of the Ocean Surface on Freezing Period and the Clearing of Freezing Rivers. Methods of Accounting]. St. Petersburg, 2005. 100 p.
3. Nesterov V.G. *Gorimost' lesa i metody ee opredeleniya* [Burn of the Forest and Methods of its Determination]. Moscow, 1949. 76 p.
4. Sokolova G.V. Prognoz pozharnoy opasnosti v lesakh Khabarovskogo kraya [Forecast Fire Danger in Forests of the Khabarovsk Krai]. *Meteorologiya i gidrologiya*, 1992, no. 11, pp. 104-107.
5. Sokolova G.V. Vliyaniye lesnykh pozharov na pogodu [Influence of Forest Fires on Weather]. *Lesnoy zhurnal*, 2006, no. 6, pp. 128-131.
6. Sokolova G.V., Kogan R.M., Glagolev V.A. *Pozharnaya opasnost' territorii Srednego Priamur'ya: otsenka, prognoz, parametry monitoringa* [Fire Danger of the Middle Amur Territory: Assessment, Prediction, Monitoring Parameters]. Khabarovsk, 2009. 265 p.
7. Sokolova G.V., Teteryatnikova E.P. *Problemy dolgosrochnogo prognozirovaniya pozharnoy opasnosti v lesakh Khabarovskogo kraya i Evreyskoy avtonomnoy oblasti po meteorologicheskim usloviyam* [The Problems of Long-Term Projection of Fire Risk in the Forests of the Khabarovsk Region and the Jewish Autonomous Region by Weather Conditions]. Khabarovsk, 2008. 150 p.

8. Sofronov M.A. *Sistema pirologicheskikh kharakteristik i otsenok kak osnova upravleniya pozhamami v boreal'nykh lesakh*: dis. ... d-ra s.-kh. nauk [Pyrological System Characteristics and Assessments as a Basis for Fire Management in the Boreal Forests Cand. Agric. Sci. Diss.]. Krasnoyarsk, 1998. 60 p.

9. Ugryumov A.I. *Teplovoy rezhim okeana i dolgosrochnye prognozy pogody* [Ocean Thermal Regime and Long-Term Weather Forecasts]. Leningrad, 1981. 176 p.

10. Sheshukov M.A., Goldammer Y.G., Telitsyn G.P., Sapozhnikov A.P., Vyvodtsev N.V., Brusova E.V., Dzhurvelius M., Kondrashov L.G., Ostroshenko V.V., Pankratova N.N., Sokolova G.V., Shesterkina V.P., Vinokurov V.M., Nikitin S.P. Severo-vostochnaya Aziya: vklad v global'nyy lesopozharnyy tsikl [North-East Asia: a Contribution to the Global Cycle of Forest Fires]. *Frayburg: Tsentri global'nogo monitoringa prirodnykh pozharov: Tikhookeanskiy lesnoy forum* [Freiburg: the Global Wildland Fire: Pacific Forestry Forum]. Khabarovsk, 2006. 455 p.

УДК 630*161.1

БАЗАЛЬТОВОЛОКНИСТЫЕ МАТЕРИАЛЫ КАК ЗАЩИТНЫЕ ЭКРАНЫ ДЛЯ ЛОКАЛИЗАЦИИ НИЗОВЫХ ПОЖАРОВ

© *А.И. Безлаковский*¹, канд. техн. наук, ген. дир.

*В.К. Дубовый*², д-р техн. наук, проф.

*Н.В. Сысоева*³, канд. техн. наук, доц.

*А.В. Дю*³, асп.

*В.Г. Гусев*⁴, д-р с.-х. наук, зав. лаб.

¹ОАО «Новгородский завод стекловолокна», ул. Восточная, 15, г. В. Новгород, Россия, 173011; e-mail: antbez@mail.ru

²С.-Петербургский государственный технологический университет растительных полимеров, ул. Ивана Черных, 4, С.-Петербург, Россия, 198095; e-mail: dubovy2004@mail.ru

³Северный (Арктический) федеральный университет имени М.В. Ломоносова, наб. Северной Двины, 17, г. Архангельск, Россия, 163002; e-mail: n.sisoeva@narfu.ru

⁴С.-Петербургский научно-исследовательский институт лесного хозяйства, Институтский пр., 21, С.-Петербург, Россия, 194021; e-mail: gusev.v.g@mail.ru

Низовые лесные пожары являются самыми распространенными, их количество в среднем составляет 97...98 %, площадь – около 87...89 % от всех зарегистрированных. При тушении лесных пожаров наиболее сложной и трудоемкой задачей является их локализация, при этом большое значение имеет фактор времени. Цель работы – оценка эффективности использования базальтвоволокнистых материалов в качестве средства защиты от распространения огня при низовых пожарах в лесных массивах и на территориях, имеющих напочвенный покров (например, степь, посевные поля), в том числе в местах со сложным ландшафтом. Нами разработана мобильная рулонная конструкция огнезащитных экранов из базальтвоволокнистых материалов, обеспечивающая их установку в течение нескольких минут. Для удобства транспортирования предусмотрена упаковка огнезащитного экрана в мягкий контейнер – рюкзак, имеющий лямки для переноски. Принцип работы огнезащитных базальтвоволокнистых экранов – изолирование охваченных огнем территорий от незатронутого огнем напочвенного покрова за счет сдерживания огня по кромке. Эти экраны обладают высокой эффективностью использования при устойчивом низовом пожаре, характеризующимся полным сгоранием напочвенного покрова и лесной подстилки при температуре горения 1100 °С. Легкость конструкции обеспечивает возможность транспортирования контейнера с экраном одним человеком к месту распространения огня с отсутствием воды и в труднодоступные места, не имеющие транспортных путей, в том числе при десантировании с вертолетов и самолетов. Проведенные исследования подтвердили, что все элементы конструкции огнезащитного экрана негорючие, нетоксичные, био- и влагостойкие, обладают повышенной огнестойкостью и долговечностью. Огнезащитный экран может быть использован повторно при условии, если его целостность не нарушена. Качество базальтвоволокнистых материалов оценивали с использованием стандартных методик в соответствии с техническими условиями. Эффективность работы базальтвоволокнистых экранов подтверждена во время тактико-специальных учений, проводимых Министерством чрезвычайных ситуаций Северо-Западного федерального округа на территории Ленинградской области. Огнезащитные экраны из базальтвоволокнистых материалов рекомендованы Министерством внутрен-

них дел России по С.-Петербургу и Ленинградской области и Комитетом по природным ресурсам Ленинградской области для внедрения в качестве средств локализации низовых и степных пожаров на территории Российской Федерации.

Ключевые слова: низовые пожары, огнезащитные экраны, базальтоволокнистые материалы, локализация лесных пожаров.

С начала пожароопасного сезона 2013 г. в Российской Федерации (РФ) возникло 10 тыс. лесных пожаров на площади 1,3 млн га. По сообщению Генеральной прокуратуры РФ, в сравнении с 2012 г. количество пожаров уменьшилось почти в 2 раза, площадь, пройденная огнем, – в 1,4 раза [9]. Несмотря на это, эксперты утверждают, что риск повторения в будущем пожарной катастрофы 2012 г., когда площадь лесных пожаров, выявленная дистанционными методами, оказалась самой крупной за последние 9 лет, возможен с вероятностью 30...40 %. По оценкам РАН, лесными пожарами за 2012 г. было пройдено больше 11 млн га [7].

Известно, что низовые лесные пожары являются самыми распространенными. Их количество в среднем составляет 97...98 %, площадь – около 87...89 % всех зарегистрированных [5].

Наиболее сложная и трудоемкая задача при тушении пожара – его локализация. Все существующие сегодня способы локализации низовых лесных пожаров по кромке очагов возгорания (захлестывание ветками, засыпка грунтом, прокладка минерализованных канав и т. д.) требуют много времени на их реализацию. Как известно, в борьбе с лесными пожарами большое значение имеет фактор времени [5]. Появляющиеся в последнее время новые методы предотвращения лесных пожаров в большинстве случаев относятся к прогнозированию. При этом новых способов и средств локализации низовых пожаров разрабатывается недостаточно и (или) они имеют ограниченные области использования, например, вызванные особенностью ландшафта [4]. Таким образом, сегодня неизвестно техническое решение, которое было бы приемлемым для быстрой локализации низовых пожаров разной категории в различных ландшафтных условиях [1, 2].

На основании вышеизложенного был сформулирован комплекс требований к экранам для локализации низовых пожаров: малый вес; простота конструкции, не требующая длительного времени установки, независимо от ландшафтных условий; эффективная локализация беглых и устойчивых низовых пожаров разной силы; повышенная огнестойкостью; возможность многократного использования.

В качестве огнезащитных экранов (ОГЭ) для локализации низовых пожаров нами апробированы базальтоволокнистые материалы разных способов изготовления: из непрерывных базальтовых волокон (ОГЭ БВ) и композиционные из штапельных базальтовых волокон (ОГЭ КБВ). ОГЭ БВ представляют собой базальтовые ткани из комплексных крученых базальтовых нитей диаметром 11...12 мкм, в основе и в утке. ОГЭ КБВ производят по принципу

формования бумажного листа. Их относят к нетканым материалам минеральной природы [3, 8]. Характеристики качества этих разрабатываемых базальтоволокнистых материалов, определенные по стандартным методикам, регламентированным ИСО, представлены в таблице.

Некоторые свойства, присущие базальтовым волокнам, позволили создать негорючий материал с высокой рабочей температурой, который используется как эффективный барьер между огнем и не охваченной огнем территорией.

Необходимо отметить, что композиционные материалы ОГЭ КБВ при сопоставимых характеристиках структуры (толщина, поверхностная плотность) значительно уступают материалам ОГЭ БВ по прочности, предельной температуре устойчивости и влагостойкости (см. таблицу).

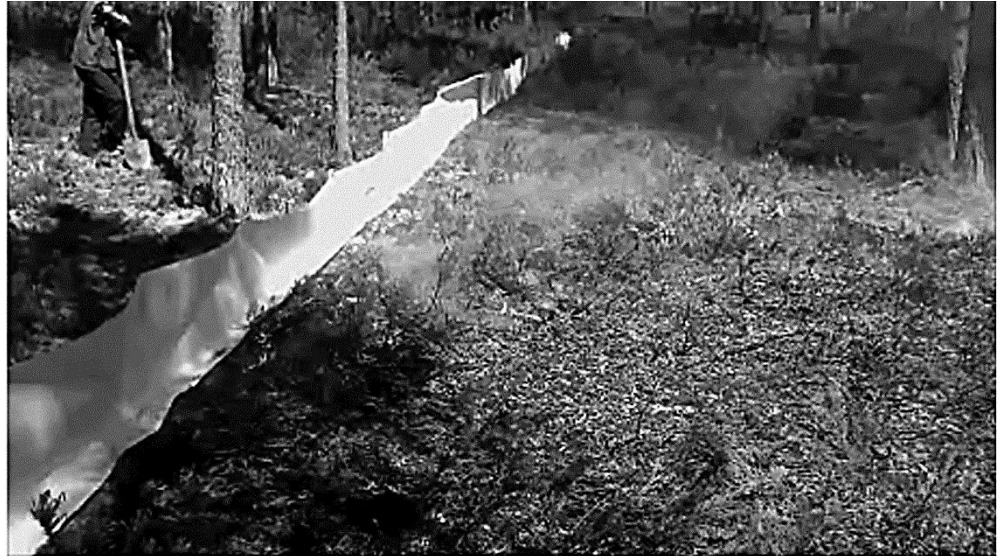
Технические характеристики базальтоволокнистых огнезащитных экранов [6]

Показатель	Значение показателя для экрана	
	ОГЭ БВ	ОГЭ КБВ
Толщина, мм	0,11...0,34	0,400±0,05
Номинальная ширина полотна, см	95...120	<100
Поверхностная плотность, г/м ²	100±15...345±25	105±5
Разрывная нагрузка, Н, в среднем по двум направлениям, не менее	1176	140
Теплопроводность, Вт/(м·К), при (22±5) °С, не более	0,042	–
Класс горючести	НГ*	НГ
Предельная температура применения, °С, не более	+1100	+700
Влагостойкость	Высокая	Удовлетворительная

* Не горючее.

Оба исследуемых материала ОГЭ инертны к воде, горючим средам и др. веществам. Эти свойства дают возможность использовать базальтоволокнистые экраны для сдерживания низовых пожаров совместно с другими средствами тушения.

Для подтверждения экспериментально полученных результатов о возможности использования исследуемых материалов в качестве ОГЭ были проведены испытания в полевых условиях, на территории смешанного леса общей площадью 620 га. Они продемонстрировали пригодность экранов ОГЭ БВ и ОГЭ КБВ в условиях распространения низовых пожаров. Экраны обеспечили полное сдерживание огня по кромке, распространение огня через ОГЭ на произошло. В ходе испытаний (скорость ветра не превышала 1 м/мин) отмечено полное выгорание напочвенного покрова со стороны распространения огня, показана возможность многократного использования базальтоволокнистых материалов (ОГЭ БВ и ОГЭ КБВ), которые к концу эксперимента не потеряли своей первоначальной формы (см. рисунок).



Полевые испытания экранов ОГЭ КБВ

Для удобства эксплуатации и транспортирования была разработана мобильная рулонная конструкция огнезащитных экранов, оснащенная вехами для вертикальной установки и чехлом для переноски. Вес брутто одного экрана длиной около 50 м составляет от 12 до 16 кг, в зависимости от плотности используемого материала. Легкость конструкции позволяет осуществлять его транспортирование одним человеком в места распространения огня с отсутствием воды и в труднодоступные места, не имеющие транспортных путей, в том числе при десантировании с вертолетов и самолетов.

Актуальность использования базальтоволоконистых экранов возрастает при большой (3...5 м/мин) скорости распространения огня (беглый низовой пожар). Конструкция огнезащитного экрана не требует много времени на сборку и другие подготовительные операции.

Особенности и небольшой вес мобильной конструкции позволяют использовать огнезащитные экраны в сложных ландшафтных условиях. Возможно его многократное применение, так как материал экрана сохраняет свои свойства после эксплуатации.

Для повышения эффективности использования ОГЭ была разработана конструкция, предусматривающая возможность образования полосы отчуждения (имитация минерализованной полосы) за счет стелющейся по земле части защитного экрана, со стороны наступающего огня. В зависимости от ширины полотна ОГЭ ширина полосы отчуждения может варьироваться от 15 до 30 см. Например, при ширине полотна 120 см вертикальная часть ОГЭ будет составлять 100 см, стелющаяся по земле полоса полотна – 20 см. Таким образом, предлагаемая конструкция объединяет два разных метода локализации низовых пожаров: минерализацию и экранирование.

Стоимость одного комплекта мобильной рулонной конструкции ОГЭ БВ, при заявленной длине 50 м и ширине полотна 120 см, составляет около 9,5 тыс. р., однако она может варьироваться в зависимости от технических характеристик ОГЭ.

В заключение отметим, что преимущества новых материалов, используемых в качестве огнезащитных экранов, определяются свойствами, присущими базальтовым волокнам. Это дало возможность создать нетоксичные негорючие материалы с высокой температурой устойчивости, которые могут использоваться как эффективный барьер между кромкой огня и не охваченной огнем территорией.

Эффективность работы базальтоволоконистых огнезащитных экранов подтверждена во время тактико-специальных учений, проводимых подразделениями МЧС Северо-Западного федерального округа на территории Ленинградской области при участии ФБУ «С.-Петербургский научно-исследовательский институт лесного хозяйства».

Огнезащитные экраны из базальтоволоконистых материалов рекомендованы Министерством внутренних дел России по С.-Петербургу и Ленинградской области, а также Комитетом по природным ресурсам Ленинградской области для внедрения в качестве средств локализации низовых и степных пожаров на территории РФ.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Гусев В.Г., Лопухова Е.Л., Дубовый В.К. Классификация и общие свойства лесных горючих материалов // Лесн. журн. 2012. № 1. С. 134–145. (Изв. высш. учеб. заведений).
2. Гусев В.Г. Физико-математические модели распространения пожаров и противопожарные барьеры в сосновых лесах. СПб.: Хромис, 2005. 199 с.
3. Дю А.В., Сысоева Н.В., Безлаковский А.И. Влияние длины базальтовых волокон на качество формования бумагоподобных композитов // Материалы 2-й Междунар. науч.-техн. конф., посвященной памяти проф. В.И. Комарова. Архангельск: ИПЦ САФУ, 2013. С. 118–123.
4. Лесные пожары. Использование грунтометов. Режим доступа: <http://lesnyerpozharu.ru/pozharnaya-bezopasnost-v-lesu/ispolzovanie-gruntometov.html>.
5. О профессии профессионально: Лесничий. Лесные пожары. Режим доступа: <http://www.fio.vrn.ru/2007/3/9.html>.
6. Официальный сайт. ОАО «Новгородский завод стекловолокна». Режим доступа: <http://www.nzsv.ru/katalog/tkani-bazal-tovye.html>.
7. Посчитали с огоньком. Летом будущего года лесных пожаров может быть больше // Российская газета (фед. вып. № 5972). 27 дек. 2012 г. Режим доступа: <http://www.rg.ru/2012/12/27/pozhary.html>.
8. Сысоева Н.В., Дю А.В., Дубовый В.К. Базальтовое волокно, как сырье для капиллярно-пористых композиционных материалов // Дизайн. Материалы. Технология. 2012. № 5 (25). С. 4–6.

9. Число лесных пожаров в 2013 г. в России уменьшилось в два раза // Российские лесные вести. 07 нояб. 2013 г. Режим доступа: <http://lesvesti.ru/news/news/6381/>.

Поступила 09.12.13

УДК 630* 161.1

Basalt Fiber Materials as a Barrier for Ground Fire Localization

A.I. Bezlakovskiy¹, Candidate of Engineering, General Director

V.K. Dubovyy², Doctor of Engineering, Professor

N.V. Sysoeva³, Candidate of Engineering, Associate Professor

A.V. Dyu³, Postgraduate Student

V.G. Gusev⁴, Doctor of Agriculture, Head of Laboratory

¹JSC «Novgorod Glass Fiber Plant», Vostochnaya, 15, Velikiy Novgorod, 173011, Russia; e-mail: antbez@mail.ru

²Saint Petersburg State Technological University of Plant Polymers, Ivana Chernykh, 4, Saint Petersburg, 198095, Russia; e-mail: dubovy2004@mail.ru

³Northern (Arctic) Federal University named after M.V. Lomonosov, Naberezhnaya Severnoy Dviny, 17, Arkhangelsk, 163002, Russia; e-mail: n.sisoeva@narfu.ru

⁴Saint-Petersburg Forestry Research Institute, Institutskiy pr., 21, Saint Petersburg, 194021, Russia; e-mail: gusev.v.g@mail.ru

Ground forest fire is the most widespread among a such cases. Their count amounts to 97-98% and their extended square to 87-89% of all recorded. The most complex and time-consuming task is fire localization by fire extinguishing. Meanwhile, time factor have a large value. Research aim is assessment of basalt fiber material usage efficiency in the capacity of fire localization facility of ground fire, another lands with forest floor such a prairie, sowing fields and also out-of-the-way places. Mobile roll construction of fire-protective barriers has been designed and provided with landmarks for upright fitments and with carrying case. For the convenience of barrier transportation soft back pack-package was provided. Principle of fire-protective basalt fiber material's performance is insulation of burning territory from unaffected surface cover with fire at the expense of fire moderation on an edge. Fire-protective barriers have high efficiency of usage in persistent ground fire which characterized with complete combustion of surface cover and forest floor with combustion temperature 1100 °C. Construction lightness provides opportunity of transportation by only one person to territory of fire spreading with lack of water source and to out-of-the-way places which have no any transporting way including helicopter and parachute landing. Transacted analyses confirm that all construction elements designed by authors of fire-protective barriers are incombustible, nontoxic, biostable, waterproof, with high fire resistance and durability. Barrier can be used repeatedly if his completeness not damaged. Quality assessment of basalt fiber materials was provided with using of standardized technique in compliance with specification. Barrier performance efficiency has been certificated at time of tactical exercises which were conducting by sub-unit of the Ministry of extraordinary situations on territory of the Leningrad Region. Fire-protective barriers based on basalt

fiber material have been recommended for implementation in the capacity of facility of ground fire and prairie fire localization on the territory of Russian Federation by the Ministry of Home Affairs of Russian in Saint-Petersburg and the Leningrad Region.

Keywords: ground fires, fire-protective barriers, basalt fiber materials, ground fire localization.

REFERENCES

1. Gusev V.G., Lopuhova E.L., Dubovyy V.K. Klassifikatsiya i obshchie svoystva lesnykh goryuchikh materialov [Classification and the General Properties of Wood Combustible Materials]. *Lesnoy zhurnal*, 2012, no.1, pp. 134–145.

2. Gusev V.G. *Fiziko-matematicheskie modeli rasprostraneniya pozharov i protivopozharnye bar'ery v sosnovykh lesakh* [Physicomathematical Models of Fire Spreading and Fire-Prevention Barriers in Pine Woods]. St. Petersburg, 2005. 199 p.

3. Dyu A.V., Sysoeva N.V., Bezlakovskiy A.I. Vliyanie dliny bazal'tovykh volokon na kachestvo formovaniya bumagopodobnykh kompozitov [Length Effect of Basalt Fiber on Quality Formation of Papery Composite]. *Proc. 2nd Int. Sci. and Tech. Conference*. Arkhangelsk, 2013. pp.118-123.

4. *Lesnye pozhary. Ispol'zovanie gruntometov* [Forest Fires. Uses of Soil Gun]. Available at: <http://lesnyepozhary.ru/pozharnaya-bezopasnost-v-lesu/ispolzovanie-gruntometov.html>.

5. *O professii professional'no: Lesnichiy. Lesnye pozhary* [About a Profession Competently: Forester. Forest Fires]. Available at: <http://www.fio.vrn.ru/2007/3/9.html>.

6. JSC «Novgorod Glass Fiber Plant». *Tkani bazal'tovye* [Basaltic Fabric]. Available at: <http://www.nzsv.ru/katalog/tkani-bazal-tovye.html>.

7. Letom budushchego goda lesnykh pozharov mozhnet byt' bol'she [Forest Fires Can Rise in a Future Summer]. *Rossiyskaya Gazeta*, 2012, no. 5972 (In Russ.) Available at: <http://www.rg.ru/2012/12/27/pozhary.html>.

8. Sysoeva N.V., Dyu A.V., Dubovyy V.K. Bazal'tovoe volokno, kak syr'e dlya kapillyarno-poristykh kompozitsionnykh materialov [Basalt Fiber as a Raw Material for Capillary-Porous Composite Material]. *Dizayn. Materialy. Tekhnologiya*, 2012, no. 5, pp. 4–6.

9. Chislo lesnykh pozharov v 2013 godu v Rossii umen'shilos' v dva raza [Amount of Forest Fire in Russia was Half as Much in 2013] *Rossiyskie lesnye vesti*, 07.11.2013. Available at: <http://lesvesti.ru/news/news/6381/.html>.

УДК 630*232 + 630*811

**ИЗМЕНЕНИЯ В СТРОЕНИИ ДРЕВЕСИНЫ СОСНЫ И ЕЛИ
НА АНАТОМИЧЕСКОМ УРОВНЕ В ДРЕВОСТОЯХ,
ПРОЙДЕННЫХ РУБКАМИ УХОДА И КОМПЛЕКСНЫМ УХОДОМ**

© *Д.А. Данилов¹, канд. с.-х. наук*

В.Б. Скупченко², д-р биол. наук, проф.

¹ГНУ Ленинградский НИИСХ «Белогорка» Россельхозакадемии, ул. Институтская, 1, д. Белогорка, Ленинградская обл., Россия, 188388; e-mail: stown200@mail.ru

²С.-Петербургский государственный лесотехнический университет имени С.М. Кирова, Институтский просп., 5, С.-Петербург, Россия, 194021; e-mail: vlask@vs16579.spb.edu

Различные типы и режимы ухода за лесом оказывают влияние на камбиальную деятельность ствола дерева, что приводит к изменению показателей анатомического строения древесины и ее базисной плотности. В чистых и смешанных хвойных древостоях эти изменения имеют различный характер. Анализ общего прироста древесины ствола дерева и ее анатомического строения у сосны и ели показывает различный механизм формирования базисной плотности древесины после рубок ухода и внесения удобрений. В зависимости от состава древостоя влияние макропоказателей строения древесины на ее плотность может существенно отличаться. Плотность древесины у сосны и ели коррелирует с разными показателями строения древесины. С увеличением доли поздней древесины в годичном приросте у обеих пород возрастает и плотность. Наиболее тесно изменения плотности связаны с изменениями площади поперечного сечения ствола и зоны поздней древесины обеих пород. Изменения на уровне строения клеток поздней и ранней древесины сосны и ели определяют ее плотность после ухода за лесом. У ели увеличение количества клеток поздней древесины влияет на рост плотности древесины в целом как после разреживания, так и при совместном внесении удобрений, у сосны увеличение толщины клеточных стенок и их размеров в поздней древесине годичного прироста после комплексного ухода приводит к повышению плотности древесины. После разреживания насаждения плотность древесины сосны уменьшается, так как происходит увеличение зоны ранней древесины в годичном приросте. В смешанных сосново-еловых насаждениях изменения плотности древесины зависят от доли участия породы. Таким образом, количественные показатели древостоя влияют на качественные параметры – плотность древесины. С увеличением доли сосны в составе смешанного хвойного древостоя после комплексного ухода плотность древесины у ели и сосны увеличивается.

Ключевые слова: сосновые, еловые, сосново-еловые древостои, лесоводственные уходы, площадь поперечного сечения, базисная плотность древесины, ширина годичных приростов, корреляционный анализ.

Многочисленные исследования показывают, что сезонное изменение внешних факторов (освещенность, фотопериод, водный дефицит, минеральное питание, температура) оказывает влияние как на количество клеток поздней древесины, так и на толщину их клеточных стенок. Изменяется и соотно-

шение между числом, размерами и толщиной клеточной стенки клеток ксилемы [4, 5]. По мнению многих исследователей, характерной особенностью влияния удобрений на строение древесины является изменение соотношения ранней и поздней древесины [1–5, 8–10]. При этом отмечается, что если процент поздней древесины не изменяется, то сохраняется и плотность. После внесения удобрений плотность не уменьшается при сохранении доли поздней древесины.

Цель исследования – изучение воздействий уходов за лесом на происходящие количественные и качественные изменения в древесине, выявление взаимосвязей базисной плотности и анатомического строения древесины.

Объектами исследования были чистые сосновые и еловые насаждения, а также смешанные сосново-еловые древостои разных классов бонитета черничных типов леса, достигшие к настоящему времени возраста сплошной рубки. Постоянные пробные площади, заложенные в 1970–80-х гг. сотрудниками лаборатории лесоводства СПбНИИЛХа (бывший ЛенНИИЛХ) под руководством проф. С.Н. Сеннова, расположены на территории ОЛХ «Сиверский лес» в Ленинградской области. Во всех случаях выделялись контрольные, разреженные и удобренные варианты пробных площадей.

Характеристика постоянных пробных площадей (ППП)

Серия ППП-18:

секция 18-1 без ухода (контрольный участок): состав древостоя на начало опыта – 5,4С4Е10,2Б0,4Ос, в настоящее время – 5,2Е4,6С0,2Б0,2Ос;

секция 18-2 (объект комплексного ухода): состав древостоя на начало опыта – 5,4Е4,3С0,1Б0,2Ос, в настоящее время – 5Е04,7С0,1Б0,2Ос;

секция 18-3 (объект комплексного ухода): состав древостоя на начало опыта – 4,9С4,7Е0,4Ос+ед.Б, в настоящее время – 5С4,2Е7Е0,6Ос0,2Б.

После проходной рубки небольшой интенсивности (15 %) на ППП-18 вносили суперфосфат с помощью МВУ-1 в дозе 100 кг/га по действующему веществу (д. в.), а через 2 года вручную разбрасывали аммиачную селитру в дозе 150 кг/га азота по д. в.

Серия ППП-10:

секция 10-1 без ухода (контрольный участок): состав древостоя на начало опыта – 8Е1Б1Ос+С, в настоящее время – 7Е1С1Б1Ос;

секция 10-2 (объект рубки ухода): состав древостоя на начало опыта 10ЕедС,Б,Ос, в настоящее время – 10Е; двухкратная рубка в 1974 и 1983 гг.;

секция 10-3 (объект комплексного ухода): состав древостоя на начало опыта – 8Е01С1Б+Ос, в настоящее время – 10Е; двухкратная рубка в 1974 и 1983 гг. и трехкратное внесение удобрения (мочевина) в 1974, 1979, 1986 гг.

Почва: влажно-грубогумусная сильноподзолистая суглинистая на пылеватых покровных суглинках.

Серия ППП-6:

секция 6-3 без ухода (контрольный участок): состав древостоя в начале опыта – 10С ед.Б, в настоящее время – 10С;

секция 6-2 (объект рубки ухода): состав древостоя на начало опыта 10С ед.Б, в настоящее время – 10С; двукратная рубка в 1971 и 1981 гг.;

секция 6-5 (объект комплексного ухода): состав древостоя на начало опыта 10С ед.Б, в настоящее время – 10С; рубка в 1971 г. и трехкратное внесение удобрений (мочевина) в 1972, 1977, 1982 гг.;

секция 6-6 (объект комплексного ухода): состав древостоя на начало опыта – 10С+ед. Б, в настоящее время – 10С; двукратная рубка в 1971 и 1981 гг. и двукратное внесение удобрения (мочевина) в 1972, 1982 гг.

Почва: грубогумусная сильноподзолистая железисто-иллювиальная песчаная на флювиогляциальных песчаных отложениях.

Методика исследования

На опытных объектах с помощью приростного бурава Преслера было отобрано на уровне груди по 6–8 кернов из представленных в насаждениях ступеней толщины стволов деревьев. Образцы исследовали на микрофотометрическом анализаторе слоистых структур с выводом рефлектограммы на диаграммную ленту самописца. Параметры рефлектограмм измеряли с помощью электронного штангельциркуля (точность измерений 0,01 мм). Размеры ранней и поздней древесины приводили к масштабу кернов. Подсчет количества клеток ранней и поздней древесины осуществляли с помощью бинокулярного микроскопа МБС-9. Базисную плотность измеряли способом максимальной влажности на образцах древесины из каждой ступени толщины, отобранных на опытных объектах по всем секциям. Полученный материал обрабатывали методами математической статистики на 95 %-м доверительном уровне по критерию Стьюдента, применяли корреляционный анализ [7].

Результаты и обсуждение

Изменение количества клеток ранней и поздней древесины, а также толщина клеточных оболочек служат наглядным примером воздействия ухода на древостой. Вариация этих показателей влияет на плотность древесины. При этом могут быть следующие варианты в изменчивости размеров клеток и толщины их оболочек [9]:

1) при равных размерах клеток варьируют толщина их оболочек и размер полостей;

2) при равной толщине клеточных стенок варьируют размеры клеток и их полостей;

3) одновременно варьируют размер клеток и толщина их оболочек.

Вследствие этого разные комбинации параметров клеток древесины могут давать одинаковую плотность. С учетом этого проведен анализ отобранных образцов древесины сосны и ели, позволяющий делать выводы о влиянии рубок ухода и удобрений на количественные и качественные показатели древесины этих пород.

В чистом сосновом древостое на секции с рубками ухода (6-2) произошло увеличение средней ширины годичного кольца (рис. 1, а), количество

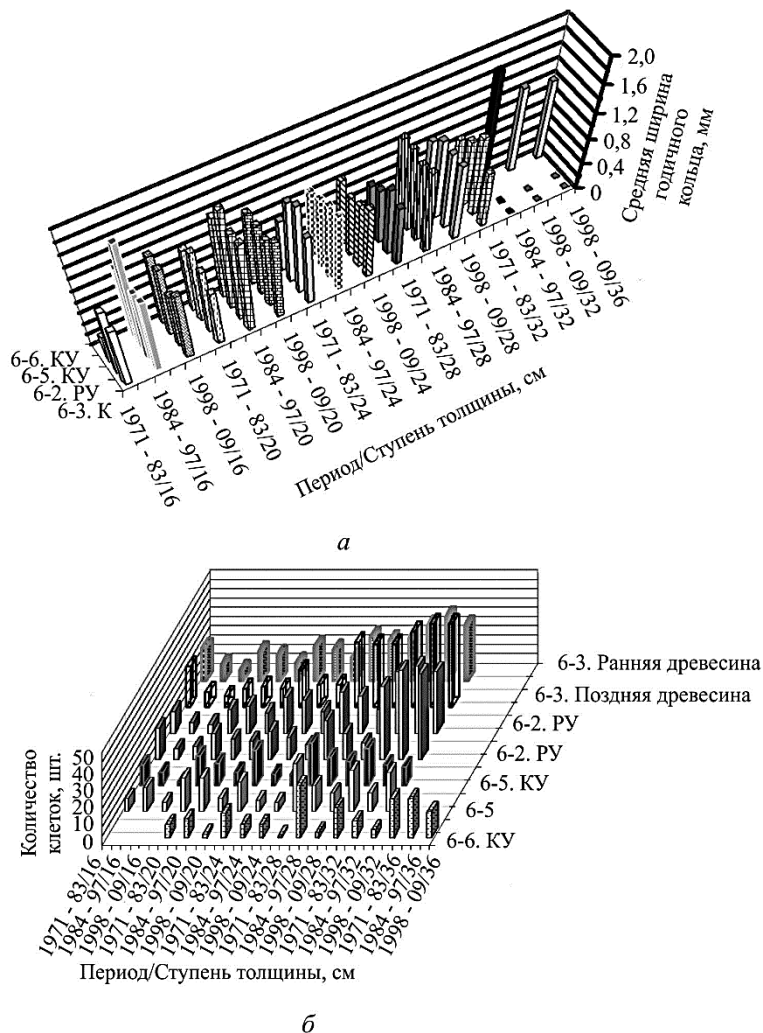


Рис. 1. Изменение средней ширины годичного кольца по ступеням толщины (а) и количества клеток ранней и поздней (б) древесины сосны на серии ППП-6 за период с 1971 г. по 2009 г. (КУ – комплексный уход, РУ – рубки ухода, К – контроль)

тангенциальных слоев клеток ранней древесины в годичном кольце увеличилось, поздней – уменьшилось (рис. 1, б). Это привело к уменьшению базисной плотности древесины, если судить о древостое в целом. На секциях с комплексным уходом 6-5 и 6-6 произошло снижение средней ширины годичного кольца и количества слоев клеток ранней древесины (рис. 1, б), что сопровождалось формированием более плотной (по сравнению с контролем) древесины.

Деревья разных ступеней толщины по-разному прореагировали на разреживание и внесение удобрения. В ступенях 16...20 см количество слоев клеток поздней древесины уменьшилось незначительно, в ступенях 24...36 см произошло их значительное уменьшение по сравнению с контролем и меньшими ступенями на секциях 6-5 и 6-6. Однако базисная плотность древесины на секции 6-6 выше, чем на 6-5, что можно связать с разным режимом ухода. На секции 6-5 древостой один раз разрежен и трижды внесено удобрение, на секции 6-6 древостой разрежен дважды и один раз удобрен. Поздняя древесина сформировалась из разных по строению клеток и эта разница заметна в сравнении с контролем. На секции 6-6 при меньшем количестве клетки имели большую толщину стенки и полостей, чем на секции 6-5 и контроле. Следовательно, можно предположить, что данный режим ухода позволяет получить более плотную древесину.

В сосняке зависимость базисной плотности от ширины годичного слоя небольшая на контроле и несколько возрастает после рубки ухода (табл. 1). На секции с комплексным уходом (6-6) корреляция плотности древесины и ширины годичного слоя также увеличилась, по-видимому, вследствие более сильного режима разреживания, на секции 6-5 зависимость незначительная и обратная. Вероятно, при данном режиме ухода базисная плотность больше зависит от толщины стенок клеток поздней древесины, поскольку корреляция доли поздней древесины с количеством поздних клеток также обратная и практически не прослеживается ($R = -0,1$). Это подтверждает, что режим ухода на секции 6-6 позволяет получить более плотную древесину.

В результате исследования базисной плотности хвойных древостоев стало очевидно, что этот важный показатель качества древесины зависит не только от какого-либо одного параметра строения древесины. Особенно это явно выражено для секций с уходами. Анализ литературных источников также подтверждает это наблюдение [1–5, 6–10]. Многие исследователи, изучавшие плотность древесины после воздействия лесохозяйственных мероприятий, в конечном итоге приходили к выводу, что ее изменения наиболее тесно коррелируют с несколькими показателями строения древесины. В связи с этим возник вопрос об отборе факторов, при учете которых будет просматриваться тесная взаимосвязь с базисной плотностью.

Используя аппарат коэффициента множественной корреляции, удалось выявить показатели строения древесины, оказывающие существенное влияние на ее плотность. Вычисленные множественные коэффициенты корреляции связи плотности древесины с изучаемыми показателями позволяют сделать вывод об их комплексном влиянии (табл. 1). Также просматривается влияние вида ухода. На контроле связь базисной плотности с шириной годичного слоя, площадью поперечного сечения и долей поздней древесины значительная и описывает половину зависимости. На объекте рубок ухода данная взаимосвязь описывает только треть уровня зависимости, что можно объяснить повышенной долей ранней древесины на этой секции.

Таблица 1

Множественные коэффициенты корреляции средней базисной плотности древесины сосны с ее структурными показателями*
на серии ПШП-6 за период с 1971 г. по 2009 г.

Ступень толщины ствола, см	Секция 6-3. К		Секция 6-2. РУ		Секция 6-5. КУ		Секция 6-6. КУ	
	Базисная плотность древесины, кг/м ³	Ширина годового слоя древесины, мм	Базисная плотность древесины, кг/м ³	Ширина годового слоя древесины, мм	Базисная плотность древесины, кг/м ³	Ширина годового слоя древесины, мм	Базисная плотность древесины, кг/м ³	Ширина годового слоя древесины, мм
16	502,3	1,12	519,4	1,26	568,4	0,49	—	—
20	542,6	1,32	539,2	1,33	471,6	1,71	700,3	1,47
24	524,1	1,41	513,1	1,41	674,5	1,41	649,9	1,16
28	542,1	1,14	509,3	1,17	504,9	1,05	717,3	1,04
32	526,8	1,11	522,1	1,35	539,8	1,34	547,1	1,11
36	—	—	—	—	—	—	558,5	1,14
Коэффициент корреляции	0,25		0,31		-0,15		0,31	
Ступень толщины ствола, см	Площадь, мм ² , поперечного сечения							
16	9 111,64	18 322,74	23 756,38	50 891,00	5341,75	10 378,52	—	общая
20	13 001,11	25 385,62	17 773,22	36 614,24	18 831,85	37 544,23	31 796,24	61 602,75
24	17 954,12	33 135,21	18 662,55	37 180,26	18 831,85	37 544,23	24 546,12	45 502,22
28	19 145,93	36 567,91	12 736,15	25 236,67	17 385,91	34 019,60	16 021,33	33 075,03
32	23 225,80	46 365,06	9 652,54	19 209,91	25 630,58	49 811,72	17 890,13	33 135,21
36	—	—	—	—	—	—	17 890,13	33 135,21
Коэффициент корреляции**	0,45	0,42	0,12	0,15	-0,10	-0,10	0,42	0,52
Коэффициент корреляции***	-0,12	-0,20	0,05	0,02	0,79	0,81	0,94	0,94
Множествен- ный коэффи- циент корреляции****	0,52	0,49	0,32	0,34	0,15	0,16	0,49	0,74

*Здесь и далее, в табл. 2–4, средняя ширина годовичного слоя, общая площадь поперечного сечения древесины ствола, площадь поперечного сечения поздней древесины.

**Здесь и далее, в табл. 2, связь средней базисной плотности древесины с долей поздней древесины ствола и общей площадью поперечного сечения прироста древесины.

***Здесь и далее, в табл. 2, связь средней ширины годовичного слоя с долей поздней древесины ствола и общей площадью поперечного сечения прироста древесины.

****Здесь и далее, в табл. 2, связь базисной плотности древесины со средней шириной годовичного слоя, долей поздней древесины ствола и общей площадью сечения прироста древесины.

На объекте комплексного ухода (секция 6-5) корреляционная связь между этими показателями незначительная и, как отмечалось ранее, повышение плотности здесь происходит за счет увеличения количества клеток поздней древесины. На секции 6-6 связь между рассматриваемыми показателями значимая и наиболее тесная ($R = 0,49; 074$), показатель плотности древесины здесь самый высокий. Высокая степень корреляции ширины годичного кольца и доли поздней древесины особенно заметна на объектах комплексного ухода в сосняках, т. е. комплексный уход способствует повышению качества сосновой древесины за счет увеличения содержания в ней клеток поздней древесины.

Изменения, происходящие в строении древесины в чистом ельнике под влиянием ухода, отличаются от тех, что наблюдаются в сосняках. Эти изменения носят более равномерный характер (рис. 2). Соотношение ранней и поздней древесины в годичном кольце у ели сохраняется относительно стабильным (рис. 2, б). Изменения плотности древесины связаны с увеличением числа образуемых клеток. На секциях с рубками ухода и комплексным уходом формируется более плотная древесина, чем на контроле.

Зависимость плотности древесины от ширины годичного слоя у деревьев ельника значимо обратная на контроле и в варианте комплексного ухода, на секции с рубками ухода – умеренная обратная (табл. 2). В отличие от сосняка

Рис. 2. Изменение средней ширины годичного кольца по ступеням толщины (а) и изменение количества клеток ранней и поздней (б) древесины ели на серии ППП-10 за период с 1974 г. по 2009 г. (см. обозначения на рис. 1)

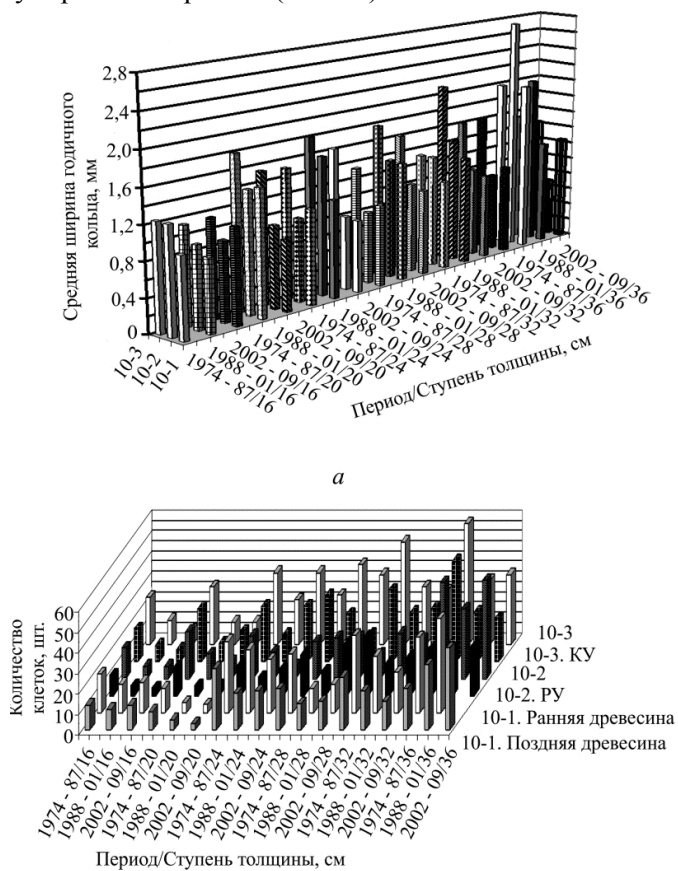


Таблица 2

Множественные коэффициенты корреляции средней базисной плотности древесных ели с ее структурными показателями на серии ПШ-10 за период с 1974 г. по 2009 г.

Ступень толщины ствола, см	Секция 10-1. К		Секция 10-2. РУ		Секция 10-3. КУ	
	Базисная плотность древесины, кг/м ³	Ширина годичного слоя древесины, мм	Базисная плотность древесины, кг/м ³	Ширина годичного слоя древесины, мм	Базисная плотность древесины, кг/м ³	Ширина годичного слоя древесины, мм
16	438,9	1,04	442,3	1,60	505,0	1,13
20	427,6	1,24	469,8	1,26	458,0	1,58
24	439,8	1,10	417,8	1,38	413,7	1,60
28	423,6	1,69	490,5	1,31	480,7	1,52
32	459,0	1,30	461,2	1,31	454,2	1,72
36	425,8	1,55	447,7	2,20	434,4	1,34
Коэффициент корреляции	-0,50		-0,29		-0,54	
Ступень толщины ствола, см	Площадь, мм ² , поперечного сечения					
	общая	поздней древесины ствола	общая	поздней древесины ствола	общая	поздней древесины ствола
16	17 627,99	8 446,86	31 086,70	14 802,85	18 353,92	10 199,39
20	26 874,66	12 651,52	27 134,65	14 209,06	542 757,90	290 476,20
24	32 017,50	14 113,01	36 295,65	15 353,12	38 864,48	20 067,69
28	49 839,31	20 686,53	43 479,35	18 965,09	49 995,60	25 736,82
32	52 060,71	23 405,26	63 184,91	29 667,41	52 266,96	26 287,91
36	68 761,96	33 428,05	86 292,47	37 460,00	70 744,07	32 682,54
Коэффициент корреляции	-0,10		-0,001		-0,04	
Коэффициент корреляции	0,79		0,75		0,26	
Множественный коэффициент корреляции	0,95		0,66		0,55	
			0,75		0,38	
			0,74		0,71	
			0,04		-0,03	
			0,26		0,26	
			0,55		0,54	

между данными показателями у ели также просматривается обратная зависимость по всем секциям. В удобренном древостое увеличение плотности древесины происходит за счет роста числа более толстостенных клеток в зоне поздней древесины. На секции с рубками ухода эта зависимость проявилась слабее. В неразрезанном ельнике от совместного влияния этих показателей на плотность древесины прослеживается более тесная множественная корреляционная связь, чем в сосняке. Эта зависимость характерна и для разреженного ельника, но она сильно ослаблена в варианте комплексного ухода. В отличие от сосняка в удобренном ельнике ширина годичного кольца слабо коррелирует с долей поздней древесины.

Соответственно, увеличивается и вариабельность соотношения между шириной годичного кольца и долей поздней древесины. У деревьев в сосняке видна обратная картина по отношению к ельнику. Для хвойных пород в варианте комплексного ухода наблюдается увеличение плотности древесины, но происходит это по-разному: у сосны в большей мере за счет увеличения толщины клеточных стенок, у ели в результате увеличения числа клеток поздней древесины. Это различие, проявляющееся на уровне структурных изменений в древесине, обусловлено разницей в биологии и стратегии роста сосны и ели. Сосна, как конкурентная порода, демонстрирует более жесткую детерминированность как внешней, так и внутренней структуры, проявляющейся на уровне древостоя (популяции) и отдельного дерева; ель, как толерантная порода, проявляет большую гибкость или пластичность своих структурных элементов.

В смешанном сосново-еловом древостое реакция ели на комплексный уход отличается от чистого ельника тем, что при увеличении средней ширины годичного кольца увеличивается количество тангенциальных слоев клеток поздней древесины в еще большей мере (рис. 3, 4). Плотность древесины ели по всем ступеням толщины на секциях с комплексным уходом выше, чем в чистом ельнике (табл. 3). Это вызвано, очевидно, более мелким размером полостей клеток поздней древесины при большем количестве тангенциальных слоев в приросте годичного кольца.

Конкурентные отношения между сосной и елью, проявляющиеся на ценотическом уровне и выражающиеся в различной степени дифференциации деревьев обеих пород, на анатомическом уровне сопровождаются качественными изменениями древесины. Плотность древесины ели здесь выше, чем в чистом ельнике. При большем долевым участии ели в составе древостоя она имеет меньшую базисную плотность, чем при меньшем участии. На уровне структуры древесины это проявляется, по-видимому, в том, что в поздней древесине преобладают клетки с большими полостями, чем на секции, где ели меньше в составе. Иначе говоря, поздняя древесина здесь характеризуется большей пористостью. Изменение в строении клеток ели есть проявление ее пластичности в стратегии роста на клеточном уровне структуры древесины в смешанном древостое. Сосна формирует позднюю древесину за счет утолщения стенок ограниченного количества клеток, ель – за счет увеличения

активности деления камбиальных инициалей и количества клеток, в чем и проявляется гибкость ее стратегии роста. На объектах комплексного ухода теснота связи ширины годичного кольца и базисной плотности древесины зависит от долевого участия ели в составе сосново-елового древостоя. Связь ширины годичного слоя и базисной плотности древесины ели на секции 18-2, где ель преобладала в составе, обратная и более тесная, чем в чистом ельнике.

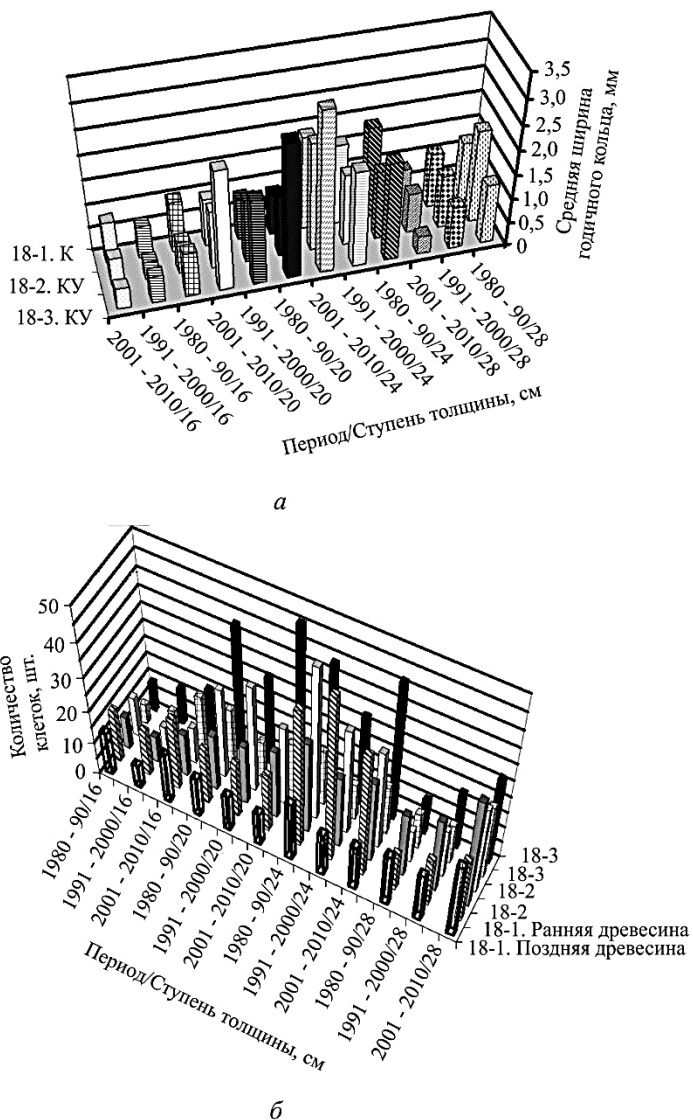


Рис. 3. Изменение средней ширины годичного кольца по ступеням толщины (а) и изменение количества клеток ранней и поздней (б) древесины ели на серии ППП-18 за период с 1980 г. по 2010 г. (см. обозначения на рис. 1)

Таблица 3

Множественные коэффициенты корреляции средней базисной плотности древесины ели с ее структурными показателями*
на серии ШПП-18 за период с 1980 г. по 2010 г.

Ступень толщины ствола, см	Секция 18-1		Секция 18-2		Секция 18-3	
	Ширина годового слоя древесины, мм	Базисная плотность древесины, кг/м ³	Ширина годового слоя древесины, мм	Базисная плотность древесины, кг/м ³	Ширина годового слоя древесины, мм	Базисная плотность древесины, кг/м ³
16	1,10	486,7	0,34	513,3	0,69	429,0
20	1,20	498,4	1,33	498,3	0,79	571,5
24	1,81	478,0	1,73	447,0	1,25	614,6
28	1,32	478,0	1,86	506,6	1,46	501,3
32	–	–	1,93	506,6	1,58	517,9
Коэффициент корреляции	–0,60		–0,50		0,34	
Ступень толщины ствола, см	Площадь, мм ² , поперечного сечения					
	общая	последней древесины ствола	общая	последней древесины ствола	общая	последней древесины ствола
16	17 007,74	4 850,61	11 062,48	3 815,45	12 288,91	4 809,86
20	16 463,80	3 309,22	29 269,29	6 790,48	17 651,90	48 525,1
24	46 847,11	86 760,86	45 737,87	11 173,76	45 651,91	15 129,04
28	49 600,50	12 800,85	69 201,63	18 878,21	50 044,40	15 333,61
32	–	–	–	–	56 255,02	16 021,43
Коэффициент корреляции**	–0,83		–0,23		0,32	
Коэффициент корреляции***	0,72		0,91		0,99	
Множествен- ный коэффи- циент корреляции****	0,83		0,90		0,37	
					0,72	

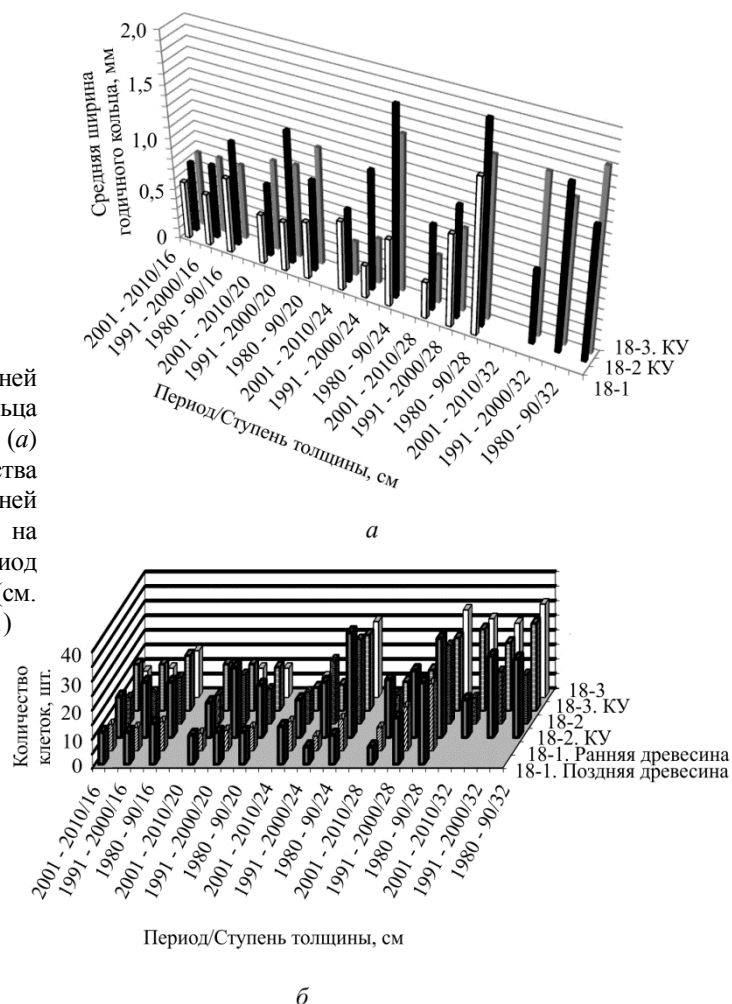
*См. табл. 1.

**Здесь и далее, в табл. 4, связь средней базисной плотности древесины с площадью поперечного сечения последней древесины ствола и общей площадью поперечного сечения древесины ствола.

*** » связь средней ширины годового слоя с площадью поперечного сечения последней древесины ствола и общей площадью поперечного сечения древесины ствола.

**** » связь средней базисной плотности древесины со средней шириной годового слоя, площадью поперечного сечения последней древесины ствола и общей площадью поперечного сечения древесины ствола.

Рис. 4. Изменение средней ширины годичного кольца по ступеням толщины (а) и изменение количества клеток ранней и поздней (б) древесины сосны на серии ППП-18 за период с 1980 г. по 2010 г. (см. обозначения на рис. 1)



На секции 18-3, где доля ели меньше, данная зависимость положительная и умеренная. Увеличение плотности древесины ели на секции 18-3 по сравнению с секцией, где она преобладает, может служить показателем специфики конкурентных межвидовых взаимоотношений в древостое. Оказываясь в подчиненном положении и в состоянии невозможности реализовать дополнительные ресурсы в приросте, ель на уровне камбиальной активности трансформирует нереализованный дополнительный прирост в повышение плотности древесины, т. е. дополнительный прирост здесь реализуется не столько в увеличении объема древесины за счет изменения числа клеток, сколько в увеличении ее массы в результате усиления роста оболочек клеток. Представленные данные (табл. 3) показывают тесную взаимосвязь между шириной годичного кольца ели, долей поздней древесины и площадью поперечного сечения ствола дерева на контроле. Совокупность этих показателей определяет плотность древесины на секциях, не затронутых уходами ($R = 0,83; 0,99$). После комплексного ухода в смешанном насаждении с преобладанием ели в составе (секция 18-2) эта зависимость сохраняется.

Таким образом, в смешанном сосново-еловом древостое реакция ели на комплексный уход зависит от ее долевого участия в составе древостоя или степени подчиненности сосне как доминирующей конкурентной породе. Если ели в составе меньше, чем сосны, то происходит более заметное повышение плотности ее древесины, что можно рассматривать как ростовую реакцию на конкурентное давление со стороны сосны. Но связь между показателями радиального прироста и плотностью древесины здесь проявляется слабее, чем на контроле и в варианте с преобладанием ели в составе.

В сосновой части смешанного древостоя после комплексного ухода увеличилась средняя ширина годовичного кольца. При этом возросло и количество клеток поздней древесины, но базисная плотность древесины сосны не повысилась (рис. 4, табл. 4). Связано это с активным нарастанием клеток ранней древесины, что и наблюдалось в процессе всего опыта. Конкурируя с елью за дополнительные ресурсы питания, сосна реализует таким путем присущую ей стратегию роста. Внесенное удобрение не сглаживает конкурентных отношений между обеими популяциями, а скорее обостряет их. Сосна, как конкурентная порода, перехватывает у ели дополнительные ресурсы питания, и для этого ей необходимо развивать транспортную систему, что сопровождается активным формированием клеток ранней древесины путем активизации процесса пролиферации камбиальных инициальных клеток ксилемы. Количество клеток ранней древесины в годовичном приросте больше на секции 18-2, где сосны меньше в составе, а клеток поздней древесины хоть и больше по сравнению с контролем, но они, вероятно, имеют более крупные полости и тонкие клеточные оболочки. По этой причине обнаружена меньшая базисная плотность древесины сосны по всем ступеням толщины и по секции в целом.

На секции 18-3, где сосна преобладает в составе, показатель плотности древесины меньше, чем на контроле (секция 18-1), но выше, чем на 18-2. Количество клеток ранней и, вероятно, тонкостенных клеток поздней древесины здесь также увеличено по сравнению с контролем.

Характер изменений в анатомическом строении древесины ели и сосны в смешанном насаждении отличен от чистых древостоев. В некоторой степени это можно объяснить и другим режимом ухода за смешанным древостоем: малой интенсивностью рубки, предварительным внесением фосфорного удобрения и только затем азотного. Отмечается сходная тенденция при внесении фосфорных и азотных удобрений (N150 кг д. в., P100 кг д. в.), описываемая в работах других исследователей, в изменениях анатомии древесины сосновых древостоев таежной зоны на фоне увеличения прироста древесины [6, 10, 11]. Теснота связи плотности древесины с показателями средней ширины годовичного слоя имеет существенный уровень только на секции 18-2, где в составе первоначально преобладала ель, но к концу опыта сосна сравнялась с елью в составе древостоя (табл. 4).

Таблица 4

Множественные коэффициенты корреляции средней базисной плотности древесных сосны с ее структурными показателями на серии ППП-18 за период с 1980 г. по 2010 г.

Ступень толщины ствола, см	Секция 18-1. К		Секция 18-2. РУ		Секция 18-3. КУ	
	Ширина годичного слоя древесины, мм	Базисная плотность древесины, кг/м ³	Ширина годичного слоя древесины, мм	Базисная плотность древесины, кг/м ³	Ширина годичного слоя древесины, мм	Базисная плотность древесины, кг/м ³
16	0,75	557,1	1,52	564,8	1,20	507,4
20	0,74	525,0	1,22	514,4	0,79	519,4
24	0,65	527,2	1,32	506,4	0,92	542,1
28	1,17	529,9	1,41	478,4	1,12	555,4
32	1,11	534,8	1,42	516,0	1,66	504,0
Коэффициент корреляции	-0,10		0,46		-0,18	
Ступень толщины ствола, см	Площадь, мм ² , поперечного сечения					
	общая	поздней древесины ствола	общая	поздней древесины ствола	общая	поздней древесины ствола
16	12 998,47	5 979,30	16 533,19	7 843,35	14 036,82	6 611,34
20	16 463,80	7 841,71	26 989,41	11 915,83	23 724,60	1 050,53
24	17 524,55	6 589,23	33 544,97	13 548,81	23 999,37	9 009,64
28	36 438,35	14 294,77	41 522,78	19 810,52	34 789,01	12 980,15
32	—	—	—	—	59 080,00	23 632,00
Коэффициент корреляции	-0,39	-0,37	-0,98	-0,95	-0,17	-0,14
Коэффициент корреляции	0,94	0,96	-0,32	-0,19	0,77	0,91
Множественный коэффициент корреляции	0,87	0,98	0,89	0,99	0,20	0,20

Плотность древесины сосны на секции 18-2 меньше, чем на секции 18-3, но корреляция выше; на секции 18-3 теснота связи ширины годичного слоя и плотности древесины небольшая ($R = 0,18$). На секции 18-2 лучше развита ранняя древесина, на 18-3 – поздняя. Стоит отметить, что связь плотности древесины с площадью сечения поздней древесины ствола на секции 18-2 значимая ($R = -0,95$). На контроле связь с шириной годичного кольца практически минимальна.

Плотность древесины сосны на контроле зависит не только от доли поздней древесины ($R = -0,37$), но и от комплекса структурных показателей анатомического строения древесины (табл. 4). При рассмотрении полученных результатов установлена тесная корреляционная связь базисной плотности древесины на контроле с площадью поперечного сечения ксилемы ствола дерева, площадью сечения поздней древесины ствола, а также средней шириной годичного слоя, как и на других контрольных пробных площадях хвойных насаждений. После комплексного ухода взаимосвязь остается высокой на секции 18-2, а на 18-3, где преобладает сосна, теснота связи с этими показателями незначительная. Как отмечалось выше, плотность древесины зависит не только от соотношения доли ранней и поздней древесины, но и от изменений, происходящих на уровне строения размера клеточной оболочки в результате комплексного ухода.

Необходимо отметить, что при исследовании корреляции базисной плотности с шириной годичного кольца, площадью поперечного сечения ксилемы ствола дерева, площадью сечения поздней древесины ствола в зависимости от породы, состава древостоя и вида воздействия уходов взаимосвязь проявляется по-разному.

У сосны в чистом древостое множественная корреляция с этими показателями объясняет изменения базисной плотности древесины на контрольной секции на уровне 51 %, на секции с рубками ухода – только 37 %. Это указывает на то, что в строении древесины годичных колец преобладают клетки ранней древесины, которые оказывают влияние на базисную плотность сосновой древесины. На секции с комплексным уходом 6-6 корреляция плотности древесины с площадью сечения поздней древесины ствола и общей площадью поперечного сечения древесины ствола близка к уровню функциональной зависимости от этих показателей. Это служит проявлением реакции древостоя на увеличившийся объемный прирост, вследствие дополнительного питания в виде удобрений и, как следствие, необходимости развивать транспортную систему и механические функции ствола. Секция 6-5 показала слабую связь с этими показателями, что указывает на изменение плотности древесины, по-видимому, на уровне изменений, происходящих в строении клеток поздней древесины.

В смешанном сосново-еловом древостое базисная плотность древесины на контроле и секции с равным количеством сосны и ели в составе зависит в большей мере от этих же показателей. Секция 18-3 с преобладанием сосны показала незначительную зависимость плотности древесины от них. Взаимо-

связи в смешанном древостое находятся под конкурентным давлением еловой части, и плотность древесины сосны при ее преобладании в составе тесно зависит от прироста по площади сечения древесины.

У ели в чистом древостое базисная плотность древесины находится в тесной взаимосвязи с шириной годичного кольца и долей поздней древесины как на контроле, так и на комплексном уходе. На секции с рубками ухода более тесная взаимосвязь с показателем площади поперечного сечения стволов. В смешанном древостое у ели прослеживается аналогичная степень взаимосвязи на секциях с комплексным уходом. На контроле базисная плотность находится практически в функциональной зависимости от общей площади поперечного сечения древесины ствола и площади сечения поздней древесины ствола. Проявление таких зависимостей для ели служит показателем более равномерных реакций в росте древостоя, происходящих после уходов. Сосна более активно проявляет свою активную стратегию роста, и ее плотность может изменяться в зависимости от разных показателей строения древесины. Таким образом, изменения плотности древесины сосны и ели могут зависеть как от системного действия нескольких структурных показателей строения древесины, так и от одного из них.

Выводы

Степень ухода и состав древостоя на уровне строения ценоза по-разному оказывают влияние на характер и взаимосвязь базисной плотности с показателями строения древесины. После рубок ухода в сосновом древостое плотность древесины понизилась, а в еловом возросла относительно контрольных секций без рубок.

Комплексный уход в хвойных древостоях увеличивает среднюю ширину годичного кольца с одновременным ростом показателей плотности древесины. Зависимость плотности древесины от количества тангенциальных слоев клеток в зоне поздней древесины имеет положительную тенденцию. В исследуемых чистых древостоях эта зависимость выражена более ярко, чем в смешанных.

Рассчитанные множественные коэффициенты корреляции плотности древесины со средней шириной годичного кольца, площадью сечения поздней древесины ствола и общей площадью поперечного сечения древесины ствола (по абсолютной полноте) показывают, что теснота взаимосвязей у нее с этими показателями высокая.

В смешанном древостое взаимосвязь базисной плотности древесины с макроструктурными показателями – распределением деревьев по ступеням толщины, проявляется в большей мере там, где доля сосны была меньше.

Стратегии роста хвойных пород, в зависимости от степени ухода и напряженности межвидовой конкуренции, по-разному влияют на базисную плотность древесины, что необходимо учитывать при целевом выращивании хвойных древостоев, назначая режим ухода за лесом.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Антонов А.М., Коновалов Д.Ю., Чалых Д.Е., Корчагов С.А. О взаимосвязи влияния топографии анатомических элементов на показатели плотности и прочности древесины // Изв. СПбГЛТА. 2010. № 190. С. 25–34.
2. Бабич Н.А., Мелехов В.И., Антонов А.М., Коновалов Д.Ю., Корчагов С.А., Чалых Д.Е. Влияние изменчивости анатомических элементов на плотность и прочность древесины сосны в культурах // Современные проблемы теории и практики лесного хозяйства: сб. статей Всерос. науч.-практ. конф. Йошкар-Ола: МарГУ, 2008. С. 188–192.
3. Бахвалов Ю.М. Влияние минеральных удобрений на анатомическое строение древесины ели // Материалы годичной сессии по итогам работ за 1977 г. Архангельск: АИЛиЛХ, 1978. С. 55–57.
4. Ваганов Е.А., Круглов В.Б., Васильев В.Г. Дендрохронология: учеб. пособ. Красноярск: СФУ, 2008. 120 с.
5. Ваганов Е.А., Шашкин А.В. Рост и структура годичных колец хвойных. Новосибирск: Наука, 2000. 232 с.
6. Гелес И.С., Шубин В.И. Влияние удобрений на рост сосновых молодняков, свойства древесины сосны и получаемых из нее целлюлоз // Отходы окорки и некоторые направления их комплексного использования. Петрозаводск: Ин-т леса Кар. филиал АН СССР, 1984. С. 127–144.
7. Дворецкий М.Л. Пособие по вариационной статистике. М.: Лесн. пром-ть, 1971. 103 с.
8. Корчагов С.А. Повышение качественной продуктивности насаждений на лесоводственной основе: автореф. дисс. ... канд. с.-х. наук. Архангельск, 2010. 42 с.
9. Полубояринов О.И. Плотность древесины. М.: Лесн. пром-сть, 1976. 59 с.
10. Степаненко И.И. Лесоводственные основы целевого выращивания сосновых насаждений в подзоне южной тайги европейской части России: автореф. дисс. ... д-ра с.-х. наук. Архангельск, 2009. 44 с.
11. Tuula Jyske. The effects of thinning and fertilisation on wood and tracheid properties of Norway spruce (*Picea abies*) – the results of long-term experiments. Department of Forest Resource Management, Faculty of Agriculture and Forestry University of Helsinki, Academic dissertation, 2008. 59 p.

Поступила 11.03.14

УДК 630*232 + 630*811

Changes in the Structure of Pine and Spruce on the Anatomical Level in the Stands Passed Cutting and Complex Care

D.A. Danilov¹, Candidate of Agriculture

V.B. Skupchenko², Doctor of Biology, Professor

¹Leningrad State Scientific Research Institute of Agriculture "Belogorka" in Russian Agricultural Academy, Institutskaya, 1, vil. Belogorka, Leningrad Region, 188388, Russia, e-mail: stown200@mail.ru

²Saint Petersburg State Forest Technical University named after S.M. Kirov, Institutskiy per, 5, Saint Petersburg, 194021, Russia; e-mail: vlask@vs16579.spb.edu

The different types and treatments of keeping for forest influence cambial activity of the tree trunk, which leads to changes in the anatomical structure of the wood and its basic density.

In pure and mixed coniferous stands these changes are diverse. The analysis of the total increment of timber tree trunk and its anatomical structure of pine and spruce shows a different mechanism of formation of basic wood density after cutting and fertilization. Depending on the composition of stands, influence of macrostructures indicators and a wood structure on the value of wood density can vary considerably. The wood density of pine and spruce correlates with the different indices of the wood structure. Increasing the share of latewood in the annotinous growth of both species enhances the density of the wood. Most closely changes of wood density are interconnected with the joint changes in cross-sectional area of the trunk and latewood zone for the both species. Changes in the structure of cells late and early wood determine the wood density after care for forest of pine and spruce. The increase in the amount of cells of latewood spruce determines the rising of the wood density in general, after exhausting, and at joint fertilization. The increase in the thickness of cell wall and their size in the latewood pine of annotinous increment after comprehensive care leads to the growth of the wood density. After planting exhausting the wood density of pine decreases as a result of the increase in the area of early wood in annotinous growth. In the mixed pine-spruce stands changes of wood density depends on the share of the breed. The quantitative indicators of the stand affect the quality parameters - wood density. Increasing the share of pine in the composition of mixed coniferous forest stands after a comprehensive care wood density of spruce and pine increases.

Keywords: pine, spruce, pine and spruce stands, silvicultural treatments, the cross-section area, basic wood density, the width of annotinous growth, correlation analysis.

REFERENCES

1. Antonov A.M., Kononov D.Yu., Chalykh D.E., Korchagov S.A. O vzaimosvyazi vliyaniya topografii anatomicheskikh elementov na pokazateli plotnosti i prochnosti drevesiny [On the Interconnection Between the Influence of the Topography of Anatomical Elements on the Index of the Density and Strength of the Timber]. *ALTI Vestnik instituta*, 2009, pp. 59–62.
2. Babich N.A., Melekhov V.I., Antonov A.M., Kononov D.Yu., Korchagov S.A., Chalykh D.E. Vliyaniye izmenchivosti anatomicheskikh elementov na plotnost' i prochnost' drevesiny sosny v kul'turakh [Impact of Variability of the Anatomical Elements on Density and Strength of Pine Wood in Cultures]. *Sovremennyye problemy teorii i praktiki lesnogo khozyaystva: vserossiyskaya nauchno-prakticheskaya konferentsiya. Sb. statey* [Modern Problems of the Theory and Practice of Forestry: All-Russian Scientific and Practical Conference, Collected Papers]. Yoshkar-Ola, 2008, pp. 188–192.
3. Bakhvalov Yu. M. Vliyaniye mineral'nykh udobreniy na anatomicheskoe stroeniye drevesiny eli [Influence of Fertilizers on the Anatomical Structure of Spruce Wood] *Mat. godichnoy sessii po itogam rabot za 1977 g.* [Proc. of the Annual Session on the Results for 1977]. Arkhangelsk, 1978, pp. 55–57.
4. Vaganov E.A., Kruglov V.B., Vasil'ev V.G. *Dendrokronologiya* [Dendrochronology]. Krasnoyarsk, 2008. 120 p.
5. Vaganov E.A. Shashkin A.V. *Rost i struktura godichnykh kolets khvoynykh* [Growth and Structure of Coniferous Tree Annual Rings]. Novosibirsk, 2000. 232 p.

6. Geles I.S. Shubin V.I. Vliyanie udobreniy na rost sosnovykh molodnyakov, svoystva drevesiny sosny i poluchaemykh iz nee tsellyuloz. [Effect of Fertilizers on the Growth of Young Pine Stands, Pine Wood Properties and Pulp Derived from it]. *Otkhody okorki i nekotorye napravleniya ikh kompleksnogo ispol'zovaniya* [Wastes of Debarking and Some Assignments of their Multiple Use]. Petrozavodsk, 1984, pp. 127–144.

7. Dvoretzkiy M.L. *Posobie po variatsionnoy statistike* [Textbook on the Variation Statistics]. Moscow, 1971. 103 p.

8. Korchagov S.A. *Povyshenie kachestvennoy produktivnosti nasazhdeniy na lesovodstvennoy osnove*: avtoref. diss. ...kand. s.-kh. nauk. [Improving Quality Productivity of Plantations Based on Silviculture: Cand. Agric. Sci. Diss. Abs.]. Arkhangelsk, 2009.

9. Poluboyarinov O.I. *Plotnost' drevesiny* [Wood Density]. Moscow, 1976. 259 p.

10. Stepanenko I.I. *Lesovodstvennyye osnovy tselevogo vyrashchivaniya sosnovykh nasazhdeniy v podzone yuzhnoy taygi evropeyskoy chasti Rossii*: avtoref. diss. ...d-ra s.- kh. nauk [Silvicultural Bases of Objective Cultivation of Pine Plantations in the Southern Taiga Subzone of the European Part of Russia: Doctor Agric. Sci. Diss. Abs.]. Arkhangelsk, 2009. 44 p.

11. Tuula Jyske. *The effects of thinning and fertilisation on wood and tracheid properties of Norway spruce (Picea abies) - the results of long-term experiments*. Academic dissertation. Department of Forest Resource Management, Faculty of Agriculture and Forestry, University of Helsinki, Helsinki, Finland, 2008. 59 p.

УДК 630*114.123

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЕ ОПРЕДЕЛЕНИЕ ВОДОПРОНИЦАЕМОСТИ ЛЕСНОЙ ПОЧВЫ В ЗАВИСИМОСТИ ОТ ЕЕ ПЛОТНОСТИ

© *В.Ю. Лисов, асп.*

В.Н. Язов, ст. преп.

С.-Петербургский государственный лесотехнический университет имени С.М. Кирова, Институтский пер., 5, С.-Петербург, Россия, 194021; e-mail: lisov-vladimir@yandex.ru

Одним из путей повышения эффективности лесосечных машин является обеспечение наибольшей приспособленности тракторов к конкретным условиям эксплуатации. Основные факторы, влияющие на производительность операций в конкретных природно-производственных условиях, – проходимость трактора и работоспособность трелевочных волоков. При разработке лесосек с низкой несущей способностью влияние проходимости лесосечных машин особенно велико. В результате воздействия лесных машин почва на лесосеке значительно уплотняется, вследствие чего уменьшается объем пор и изменяется воздушно-водный режим, что также ухудшает физиологическое функционирование корневых систем растений, оказывает отрицательное влияние на водный баланс. Одной из важнейших характеристик водных свойств почвы является водопроницаемость. Нарушение гидрологического режима лесосеки приводит к заболачиванию вырубков, что влияет на проходимость лесозаготовительных машин. Цель исследования – определить, как изменяется водопроницаемость лесной почвы в зависимости от ее плотности. Исследования по определению водопроницаемости лесной почвы проводились в октябре – ноябре 2012 г. в лабораторных условиях. Для лабораторных испытаний были взяты образцы почвы с лесосеки, находящейся в квартале № 95 Морозовского лесничества (Всеволожский район Ленинградской области). В ходе эксперимента были определены коэффициенты фильтрации при разной плотности лесной почвы. На основании полученных данных были сделаны следующие выводы: коэффициент фильтрации является характерной для данного почвенного объекта величиной; с увеличением плотности почвы время фильтрации воды возрастает и водопроницаемость почвы уменьшается в десятки и сотни раз; для описания процесса можно использовать степенную функцию. Величина достоверности аппроксимации близка к единице, что свидетельствует о хорошей сходимости степенной модели с полученными экспериментальными данными. Практическая значимость работы состоит в том, что на основании ее результатов можно прогнозировать несущую способность почвогрунтов и планировать календарный график освоения лесосеки.

Ключевые слова: водопроницаемость почвы, коэффициент фильтрации почвы, проходимость, несущая способность почв.

Введение

Актуальной проблемой для лесозаготовителей является выбор лесосечных машин по условию проходимости, под которой понимается количество возможных проходов трактора по волоку [2].

При эксплуатации лесозаготовительной техники, тяговых расчетах, определении проходимости и др. принято рассматривать воздействие машин на почвенно-грунтовые условия без разделения на грунты и почвы. Физико-механические свойства почвы с этой точки зрения исследованы недостаточно. Лучше изучены грунты, поэтому представляет интерес сравнить почву и грунт, установить их общие свойства и различия для того, чтобы оценить возможность использования, применительно к почвам, теоретических зависимостей и показателей физико-механических свойств грунтов.

Лесная почва – это сложная многослойная система, состоящая из нескольких органических и одного или нескольких минеральных слоев, с которыми одновременно взаимодействуют движители лесных машин.

Механизм воздействия лесозаготовительной техники на лесную почву [1] значительно сложнее, чем транспортных и сельскохозяйственных машин. Это объясняется как спецификой воздействия лесозаготовительных машин на лесную почву, так и сложностью условий эксплуатации. Лесная почва [4] в отличие от почвы сельскохозяйственных угодий в своей структуре имеет развитую корневую систему деревьев.

Основной характеристикой почвогрунтов, определяющей их проходимость машинами, является несущая способность. Предел несущей способности почвогрунта определяет допустимое удельное давление на почвогрунт, при котором пластичные деформации почвогрунта сменяются его разрушением. В этих условиях разрушенный почвогрунт не обеспечивает необходимую силу тяги из-за недостаточного сцепления с ним движителя машины. Происходит буксование колес или гусениц, вследствие чего машина постепенно зарывается в почвогрунт. Несущая способность зависит от его структуры, степени уплотнения и влажности [6].

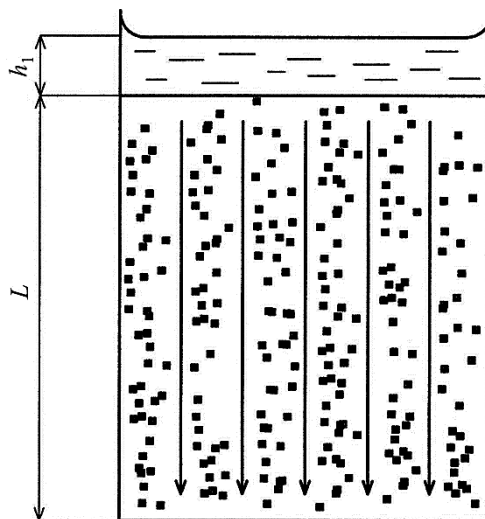
В результате воздействия лесозаготовительных машин [3] почва на лесосеке значительно уплотняется, вследствие чего уменьшается объем пор и сильно меняется воздушно-водный режим. Все это ухудшает физиологическое функционирование корневой системы растений, оказывает отрицательное влияние на водный баланс.

Одной из важнейших характеристик водных свойств почвы является водопроницаемость, под которой понимают ее способность впитывать и пропускать через себя воду. Этот процесс складывается из поглощения воды почвой, прохождения ее от слоя к слою в ненасыщенной почве и фильтрации воды сквозь толщу почвы [7].

Впитывание воды почвой, еще не насыщенной до состояния влагоемкости, в первой и второй фазах происходит под влиянием сорбционных и менисковых сил, а также градиента напора. Под фильтрацией понимают прохождение воды сквозь водонасыщенные слои почвы под влиянием градиента гидравлического давления (напора) I . Впитывание характеризуют коэффициентом впитывания, фильтрацию почв – коэффициентом фильтрации K_f [5].

В природных условиях разделить процесс водопроницаемости на отдельные фазы почти невозможно. Когда поверхностные горизонты, получившие воду в первую очередь, уже насытились и начинают ее фильтровать, нижележащие горизонты только начинают впитывать воду.

Рис. 1. Линейная фильтрация воды в вертикально расположенном почвенном монолите: h_1 – уровень периода воды; L – высота образца почвы



Фильтрация воды в почве происходит в вертикальном направлении, с поверхности почвы в глубинные слои (рис. 1).

Цель исследования – определить, как изменяется водопроницаемость лесной почвы в зависимости от ее плотности.

Методы исследования

Исследования по определению водопроницаемости лесной почвы проводили в октябре–ноябре 2012 г. в лабораторных условиях. Для испытаний были взяты 6 образцов почвы с лесосеки, находящейся в квартале № 95 Морозовского лесничества (Всеволожский район Ленинградской области). С каждым образцом проводили четыре опыта.

После анализа образцов почвы было установлено:

почва армирована корневой системой растений;

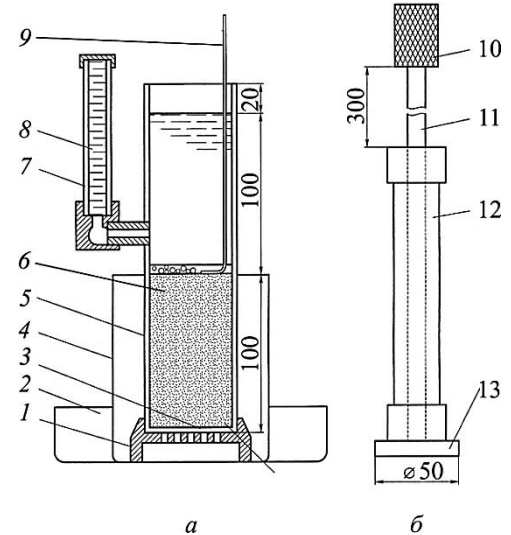
доля крупных корней (диаметр 2...5 мм) составляет 14 %, доля мелких корней (до 2 мм) – 30 %. Остальная масса приходится на дерново-подзолистую среднесуглинистую почву.

Образцы почвы помещали в сушильный шкаф и высушивали до постоянной массы при температуре 105 °С.

Для определения коэффициента фильтрации почвы использовали: прибор СоюзДорНИИ (рис. 2), секундомер, термометр, линейку, технические весы, стакан, поддон.

Прибор для определения коэффициента фильтрации состоит из фильтрационной трубки, состоящей из прямого цилиндра (внутренний диаметр 50,5 мм, высота 220,0 мм), съемного перфорированного дна с отверстиями диаметром 3,0 мм и латунной сетки с размерами ячейки 0,25 мм; пьезометра с делениями от 0 до 50 мм; подставки для трубки с прорезями в боковых стенках и отверстиями в днище; стакана (диаметр 100 мм, высота 125,4 мм) для создания градиента напора, равного единице; поддона (диаметр 330,0 мм, высота 25,0 мм).

Рис. 2. Схема прибора СоюзДорНИИ для определения коэффициента фильтрации: *a* – фильтрационная трубка; *б* – трамбовка; 1 – подставка; 2 – поддон; 3 – сетка; 4 – стакан; 5 – цилиндр; 6 – образец почвы; 7 – пьезометр; 8 – шкала; 9 – линейка; 10 – ручка; 11 – штанга; 12 – гиря; 13 – наковальня



Водопроницаемость почв в сильной степени зависит от температуры воды, так как с ее изменением изменяется и вязкость воды, с чем связана и подвижность [8]. Принято водопроницаемость приводить к одной температуре, поэтому в коэффициент фильтрации (K_{ϕ} , м/сут) вносят поправку на температуру, приводя ее к 10 °С по формуле Хазена:

$$K_{\phi} = \frac{L}{t_{\text{фильтр}}} \varphi \left(\frac{S}{h_0} \right) 864 \tau,$$

где L – высота образца почвы в цилиндре, см;
 $t_{\text{фильтр}}$ – время понижения уровня воды в пьезометре, с;
 φ – функция, принимаемая из табл. 1;
 S – падение уровня воды в пьезометре, мм;
 h_0 – первоначальный напор воды в приборе;
 864 – коэффициент перевода (см/с в м/сут);
 τ – температурная поправка, $\tau = 0,7 + 0,03T$;
 T – температура воды, °С.

Перед испытанием почву и воду, предназначенные для определения коэффициента фильтрации, выдерживают в лаборатории до выравнивания их температуры с температурой воздуха; высушивают почву до влажности $W_n = 0$ и просеивают на сите с отверстиями 5 мм; засыпают сухую почву в цилиндр, уплотняют ее трамбовкой до риски, расположенной на высоте $L = 100$ мм; определяют массу почвы m_n и ее плотность в цилиндре по формуле $\rho = \frac{4m_n}{\pi D_{\text{цил}}^2}$;

на поверхность почвы укладывают слой гравия (фракции 2...5 мм) толщиной 5...10 мм для предотвращения размыва почвы; цилиндр с почвой помещают в стакан, который наполняют водой до верха, а затем переставляют стакан с цилиндром в поддон, при этом происходит капиллярное насыщение образца почвы водой; замеряют температуру воды в стакане.

Наливают воду в цилиндр до верхней риски, расположенной на высоте 200 мм, и записывают время, за которое понизится уровень воды в пьезометре от 0 до 50 мм. Испытания повторяют 4 раза, рассчитывают среднеарифметическое значение $t_{\text{фильтр}}$.

Для уменьшения времени испытания можно в два раза увеличить напор. В этом случае градиент напора $I = 2$. Для этого цилиндр извлекают из стакана и ставят непосредственно в поддон.

Первоначальный напор воды в приборе, т. е. разность уровней воды в трубке и стакане, $h_0 = 200 - 100 = 100$ мм при $I = 1$; $h_0 = 200 - 0 = 200$ мм при $I = 2$.

Зависимость падения уровня воды от первоначального напора $\varphi(S/h_0)$ принимают по табл. 1.

Таблица 1

S/h_0	$\varphi(S/h_0)$	S/h_0	$\varphi(S/h_0)$	S/h_0	$\varphi(S/h_0)$	S/h_0	$\varphi(S/h_0)$
0,01	0,010	0,25	0,288	0,50	0,693	0,75	1,386
0,05	0,051	0,30	0,357	0,55	0,799	0,80	1,609
0,10	0,105	0,35	0,431	0,60	0,916	0,85	1,897
0,15	0,163	0,40	0,510	0,65	1,050	0,90	2,303
0,20	0,223	0,45	0,598	0,70	1,204	0,95	2,996

Результаты исследования

Результаты эксперимента приведены в табл. 2. Зависимость коэффициента фильтрации лесной почвы от ее плотности изображена на рис. 3. Для определения вида аппроксимирующего выражения и достоверности аппроксимации R^2 используют программу Excel. Как видно из графика, полученные экспериментальные данные описываются степенной функцией вида $K_{\phi} = 0,0142\rho^{-23,784}$.

Таблица 2

Показатель	Значение показателя для образца почвы					
	1	2	3	4	5	6
$W_{\text{п}}, \%$	0	0	0	0	0	0
$m_{\text{п}}, \text{г}$	154	160	166	168	178	186
$L, \text{см}$	10	10	10	10	10	10
$\rho, \text{г/см}^3$	0,77	0,80	0,83	0,84	0,89	0,93
$h_0, \text{см}$	10	10	20	20	20	20
$S, \text{см}$	5	5	5	5	5	5
$T, \text{°C}$	17	17	17	20	20	17
τ	1,21	1,21	1,21	1,30	1,30	1,21
S/h_0	0,50	0,50	0,25	0,25	0,25	0,25
$\varphi(S/h_0)$	0,693	0,693	0,288	0,288	0,288	0,288
Переводной коэффициент	864	864	864	864	864	864
$t_{\phi}, \text{с}$	587	1 609	1 770	2 200	13 540	17 025
	590	1 617	1 786	2 215	13 610	17 102
	608	1 623	1 815	2 225	13 650	17 121
	615	1 631	1 829	2 240	13 680	17 152
$t_{\phi, \text{ср}}, \text{с}$	600	1 620	1 800	2 220	13 620	17 100
$K_{\phi}, \text{м/сут}$	8,20	3,00	1,10	0,86	0,14	0,12

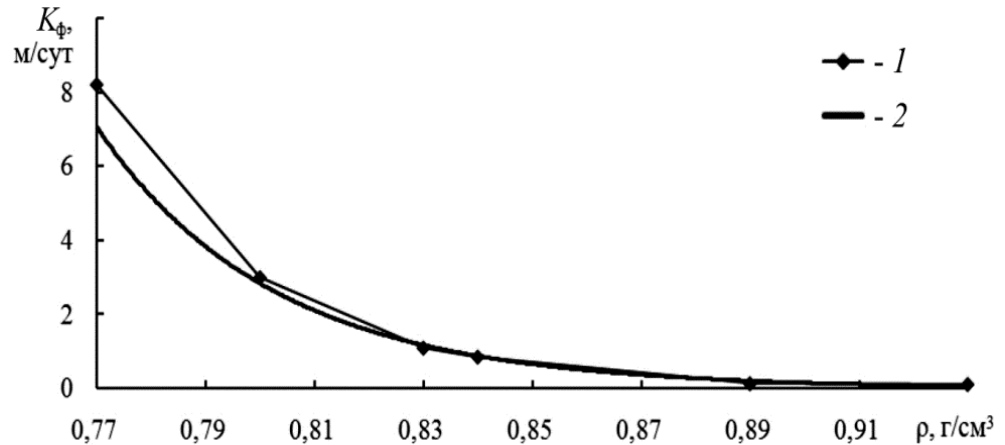


Рис. 3. Экспериментальный (1) и аппроксимирующий (2) графики зависимости коэффициента фильтрации лесной почвы от ее плотности

Достоверность аппроксимации для данного выражения $R^2 = 0,9689$, что свидетельствует о хорошей сходимости степенной модели с полученными экспериментальными данными.

На основании полученных экспериментальных данных были сделаны следующие выводы.

1. Коэффициент фильтрации является характерной для данного почвенного объекта величиной и зависит от плотности почвы.

2. При увеличении плотности почвы увеличивается время фильтрации воды, ее водопроницаемость уменьшается в десятки и сотни раз.

3. Полученные экспериментальные данные описываются степенной функцией. Достоверность аппроксимации близка к единице, что свидетельствует о хорошей сходимости степенной модели с данными, полученными во время проведения экспериментальных исследований.

На основании результатов работы можно прогнозировать несущую способность почвогрунтов и планировать освоение лесосеки.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Анисимов Г.М., Григорьев И.В., Жукова А.И. Экологическая эффективность трелевочных тракторов. СПб.: Изд-во СПб ГЛТА, 2006. 352 с.
2. Анисимов Г.М., Кочнев А.М. Лесотранспортные машины: учеб. пособие / Под ред. Г.М. Анисимова. СПб.: ИД «Лань», 2009. 448 с.
3. Беккер М.Г. Введение в теорию систем местность–машина. М.: Машиностроение, 1973. 520 с.
4. Вялов С.С. Реологические основы механики грунтов. М.: Высш. шк., 1978. 447 с.
5. Козлова А.А. Учебная практика по физике почв: учеб. пособие. Иркутск: Изд-во Иркут. гос. ун-та, 2009. 81 с.

6. Невзоров А.Л. Инженерная геология и механика грунтов: учеб. пособие. 2-е изд., испр. и доп. Архангельск: Изд-во ЛГТУ, 1998. 116 с.

7. Роде А.А. Основы учения о почвенной влаге. Л.: Гидрометеоздат, 1965. 663 с.

8. Тюрин Н.А., Бессараб Г.А., Язов В.Н. Дорожно-строительные материалы и машины: учеб. для вузов. М.: ИЦ «Академия», 2009. 304 с.

Поступила 10.10.13

УДК 630*114.123

Experimental Definition of the Water Permeability of Forest Soils According to its Density

V.Yu. Lisov, Postgraduate Student

V.N. Yazov, Senior Lecturer

Saint Petersburg State Forest Technical University named after S.M. Kirov, Institutskiy per, 5, Saint Petersburg, 194021, Russia; e-mail: lisov-vladimir@yandex.ru.

One of the way to increase the efficiency of stump-to-roadside equipment is to provide the highest fitness of tractors to specific operating conditions. The main factors affecting on the performance of the operations in specific environmental and production conditions are throughput and efficiency of the tractor skidding trails. Upon harvesting with low bearing capacity the impact of stump-to-roadside equipment is particularly high. As a result, by the impact of forest machines on soil, it is significantly compacted. Due to soil compaction decreases pore volume, which varies greatly due to the air-water regime, which also degrades the physiological functioning of the root systems of plants, has a negative impact on the water balance. One of the most important characteristic of water permeability properties of the soil is. Disruption of the hydrological regime in the felling area leads to waterlogging cuttings that affects permeability of harvesting machines. The purpose of the study - to determine how changes the forest soil permeability, depending on its density. Studies to determine the permeability of forest soils were conducted in October - November 2012 in the laboratory. For laboratory testing of soil samples were taken from the cutting area, located in quarter number 95 of the Morozov forestry in the Vsevolozhsky district of the Leningrad Region. The study of forest soil permeability coefficients were determined at different filtering soil density. Based on the experimental data the following conclusions were collected: filtration coefficient is a characteristic value of the soil object; with increasing soil density increases period of the water filtration; with increasing soil density its permeability is reduced by tens or hundreds times; obtained experimental data are described by a power function. The magnitude of authenticity approximation is close to unity, indicating a good convergence of power-mode model with those obtained during the experimental research data. The practical significance of the work consists that on the basis of its results can predict the bearing capacity of soil and plan the development of felling area reclaiming.

Keywords: water permeability of soil, coefficient of soil seepage, passability, soil bearing capacity.

REFERENCES

1. Anisimov G.M., Grigor'ev I.V., Zhukova A.I. *Ekologicheskaya effektivnost' trelevochnykh traktorov* [Ecological Efficiency of Logging Tractor]. Saint Petersburg, 2006. 352 p.
 2. Anisimov G.M., Kochnev A.M. *Lesotransportnye mashiny* [Timber-Hauling Machine]. Saint Petersburg, 2009. 448 p.
 3. Bekker M.G. *Vvedenie v teoriyu sistem mestnost'-mashina* [Introduction to Terrain-Vehicle Systems]. Moscow, 1973. 520 p.
 4. Vyalov S.S. *Reologicheskie osnovy mekhaniki gruntov* [Rheological Fundamentals of Soil Mechanics]. Moscow, 1979. 447 p.
 5. Kozlova A.A. *Uchebnaya praktika po fizike pochv* [In-Service Education Program on soil physics]. Irkutsk, 2009. 81 p.
 6. Nevzorov A.L. *Inzhenernaya geologiya i mekhanika gruntov* [Engineering Geology and Soil Mechanics]. Arkhangelsk, 1998. 116 p.
 7. Rode A.A. *Osnovy ucheniya o pochvennoy vlage* [Fundamentals of Soil Moisture]. Leningrad, 1965. 663 p.
 8. Tyurin N.A., Bessarab G.A., Yazov V.N. *Dorozhno-stroitel'nye materialy i mashiny* [Road-Building Materials and Machines]. Moscow, 2009. 304 p.
-
-



УДК 630*2(075.8)+630*8765

РАЗРАБОТКА И ИССЛЕДОВАНИЕ СИСТЕМ УПРАВЛЕНИЯ РЕЖИМАМИ РУБОК УХОДА ЗА ЛЕСОМ*

© *В.С. Петровский, д-р техн. наук, проф.*

В.В. Малышев, канд. с.-х. наук, доц.

Воронежская государственная лесотехническая академия, ул. Тимирязева, 8, г. Воронеж, Россия, 394087; e-mail: appvglta@bk.ru

В процессе формирования лесных насаждений основная роль принадлежит рубкам ухода за лесом, которые позволяют получить насаждения заданного качества, повысить продуктивность и устойчивость лесных насаждений. Предложена целевая функция повышения продуктивности сосновых древостоев, максимизирующая выход стволовой древесины с 1 га за год лесовыращивания со снижением возраста технической спелости насаждений. Оптимизация периодичности и интенсивности рубок ухода за лесом позволит на практике проводить своевременные рубки, не допуская перегущенности насаждений, и формировать древостой с оптимальной площадью питания каждого дерева. Управление рубками ухода должно осуществляться с выполнением принципа системности, когда каждое разреживание рассматривается в комплексной взаимосвязи с последующими рубками ухода, как неотъемлемой составляющей части всего инерционного распределенного по времени процесса. Получены математические модели хода роста древостоев с рубками ухода и контрольных древостоев без рубок и их реакций на уходы. Представлены параметры динамики хода роста нормальных одновозрастных неразреживаемых древостоев сосны обыкновенной без рубок, различных классов бонитета. Разработаны алгоритм и программа оптимизации возрастов и интенсивностей изреживаний. Проведены исследования показателей эффективности компьютерной поддержки управления режимами рубок ухода за лесом, получены численные оценки критериев оптимальности разреживаний для лесовыращивания сосновых древостоев. Определены оптимальная интенсивность и периодичность изреживаний, а также оптимальные площади питания отдельных деревьев, густоты древостоев в целом в зависимости от класса бонитета и возраста. Показана общепринятая закономерность при проведении рубок ухода: интенсивность изреживаний при проведении осветлений и прочисток является максимальной, далее, в возрасте прореживаний, происходит снижение этого показателя, максимально снижается интенсивность изреживаний к возрасту проведения проходных рубок, когда производится уход за приростом. Показана научно-практическая основа реализации многокритериального управления режимами рубок ухода за лесом.

* Работа выполнена при поддержке гранта Минобрнауки РФ, соглашение № 14.В37.21.0660 от 17.08.2012 г.

Ключевые слова: закономерности хода роста древостоев, рубки ухода, математическое моделирование, режимы и критерии разреживаний, программное обеспечение, возраст технической спелости насаждений, эффективность оптимизации разреживаний, продуктивность древостоев, многокритериальное управление.

Изучение закономерностей, математическое описание динамики хода роста леса – фундаментальные основы теоретического осмысления рубок ухода и их практического воплощения. Недостаточная разработка основ математической теории лесовыращивания обусловлена сложностью изменений во времени и пространстве показателей древостоев под влиянием разреживаний. Некоторые авторы выдвигают критерии рубок ухода: сумма площадей сечений деревьев и запас, густота и сомкнутость древостоев, полнота в долях единицы и площади питания деревьев [3]. Но все эти варианты критериев управления рубками ухода за лесом не имеют целевых функций в виде математических уравнений с численными константами ограничений на искомые переменные разреживаний древостоев [5, 6]. Но к этим критериям следует добавить минимизацию повреждения деревьев, остающихся после рубок ухода [2, 5]. Поэтому давно стоит комплексная проблема практического обоснования оптимизации периодичности и интенсивности разреживаний при каждой вырубке излишних загущенных деревьев в древостоях разных бонитетов [3, 6].

В общих подходах к решению этой проблемы в России и в других странах имеются достаточно условные расплывчатые рекомендации по снижению густоты деревьев при каждом разреживании с вырубкой в допустимых пределах 15...35 % запаса стволовой древесины с уменьшением полноты до 0,8 [3].

Для научного и практического решения проблемы многокритериального управления лесовыращиванием хвойных древостоев необходимо по каждому бонитету заложить целый ряд пробных площадей и, начиная с 10 лет, в течение более 100 лет проводить измерения таксационных и других показателей хода роста древостоев с разными вариантами разреживаний по ранее составленному плану активных экспериментов. Через более чем 100 лет получить экспериментальную систему математических моделей целевых функций и численно решить проблемные задачи многокритериальной оптимизации режимов рубок ухода.

Необходимо объединить упомянутые критерии и разработать единую целевую функцию многокритериального управления режимами рубок ухода за лесом, которая при решении задач оптимизации (разреживания) обеспечивает каждому критерию расположение в своей зоне экстремума (max, min) [5].

Исходя из вышеизложенного, целевой функцией управления режимами рубок ухода за лесом является комплексная целевая функция получения наибольшего выхода качественной стволовой древесины с 1 га за 1 год лесовыращивания со снижением возраста технической спелости древостоев по заданному целевому диаметру деревьев [5]:

$$V = \frac{V_{T_c} + \sum_{p=i}^n \Delta \tilde{V}_p}{T_c} \rightarrow \max, \quad (1)$$

где V – общий объем стволовой древесины в однородном выделе данной породы от сплошной рубки и всех рубок ухода с 1 га за 1 год лесовыращивания, м³/га·год;

V_{T_c} – объем стволовой древесины от сплошной рубки в возрасте технической спелости, м³/га;

$p = 1, 2, \dots, n$;

n – количество рубок ухода;

$\sum_{p=i}^n \Delta \tilde{V}_p$ – объем стволовой древесины от всех рубок ухода в течение 1 го-

да за весь период лесовыращивания T_c , м³/га;

T_c – возраст технической спелости древостоя по заданному целевому диаметру деревьев на высоте груди, лет.

Для вычисления объемов стволов использовали их известную математическую модель [4]:

$$d = 2x = D_{0,5} \left[a_0 + a_1 \left(\frac{\ell}{H} \right) + a_2 \left(\frac{\ell}{H} \right)^2 + a_3 \left(\frac{\ell}{H} \right)^3 + a_4 \left(\frac{\ell}{H} \right)^4 \right],$$

где d – диаметр, см;

$D_{0,5}$ – срединный диаметр ствола, м;

a_0, \dots, a_4 – коэффициенты, имеющие свои значения для каждой породы;

ℓ – текущее значение длины от комлевого сечения;

H – высота (длина) ствола, м.

По этой модели получена формула объема ствола:

$$V_{\text{ств}} = \frac{\pi}{4} D_{0,5}^2 H F,$$

где F – видовое число древесной породы, для сосны $F = 1,004$.

Чтобы не измерять $D_{0,5}$, необходимо выполнить переход к технологическому диаметру на высоте груди $D_{1,3}$:

$$D_{0,5} = \frac{D_{1,3}}{\left[a_0 + a_1 \left(\frac{\ell}{H} \right) + a_2 \left(\frac{\ell}{H} \right)^2 + a_3 \left(\frac{\ell}{H} \right)^3 + a_4 \left(\frac{\ell}{H} \right)^4 \right]}.$$

Первую рубку ухода необходимо проводить с учетом класса бонитета B , имеющегося запаса стволовой древесины V_1 , количества деревьев на 1 га N_1 , средней высоты H_1 и среднего диаметра на высоте груди $D_{1,3}$. Эти параметры отображают историю хода роста насаждений до первой рубки ухода и поэтому не могут быть изменены. Однако существует некоторый набор входных параметров первой рубки ухода, которые можно изменять оптимально, чтобы начать эффективное управление многокритериальным процессом лесовыращивания.

Изменяемые входные параметры:

1. Технологический состав лесосечного оборудования ТСО₁, включающий в себя информацию о типах используемых лесосечных механизмов. Выбор этого параметра ограничен требованиями минимизации повреждений, остающихся после механизированной выборочной рубки деревьев.

2. Возраст начала проведения рубок ухода T_1 . Значение этого параметра существенно влияет на эффективность всей системы рубок ухода, так как известно, что чем раньше начинать разреживание леса, тем больше будет отдача от этого лесоводственного мероприятия [3]. Но для древостоя в раннем возрасте трудно механизировать первую рубку ухода из-за мелких деревьев загущенного насаждения.

3. Выбираемый запас ΔV_1 характеризует объем стволовой древесины деревьев, удаляемых при первой рубке ухода.

4. Количество удаляемых с 1 га деревьев ΔN_1 .

Неизменяемые входные параметры: B , V_p , N_p , H_p , D_p . Для очередной рубки ухода они зависят от того, какие показатели режимов разреживаний были реализованы на предыдущих рубках.

Необходимо учитывать, что если время проведения первой рубки ухода T_1 является просто входным изменяемым параметром, то для остальных рубок возраст их проведения и интенсивность разреживаний являются оптимальными входными параметрами. Связано это с тем, что возраст очередной рубки должен определяться временем восстановления запаса и сомкнутости ранее разреживаемого древостоя. Если же пренебречь этим принципом, то это приведет к одному из двух негативных явлений: слишком ранняя очередная рубка ухода невозможна после предыдущей рубки древостоя значительно снизит его продуктивность, увеличит отпад и может привести даже к распаду насаждения; запоздалая очередная рубка ухода приведет к полной или частичной потере того положительного лесоводственного потенциала, который был заложен предыдущими рубками ухода и ходом роста древостоя [6].

Процесс управления разреживанием должен осуществляться с выполнением принципа системности, когда каждое разреживание рассматривается в комплексной взаимосвязи с остальными операциями рубок как неотъемлемая составляющая всего весьма инерционного распределенного по времени процесса.

Основы разработки математического обеспечения управления режимами рубок ухода

Реакцию насаждений на рубки ухода при построении математических моделей динамики хода роста древостоев можно учесть. Сделать это возможно, анализируя восстановление полноты насаждений после разреживания. Прирост насаждения, пройденного правильными рубками ухода, исходя из природы снижения полноты, можно считать неизменным. При этом отпад заметно снижается и в идеальном случае практически равен нулю, что дает возможность через некоторое время насаждению восстановиться по запасу после каждой рубки до исходной полноты.

Имея в наличии зависимости [5]

$$Z_t^{\text{общ}} = Z_t^{\text{общ}} T, H ; Z_t^{\text{раст}} = Z_t^{\text{раст}} T, H , \quad (2)$$

можно построить динамические модели изменения запасов стволовой древесины как для контрольного, так и для разреживаемого древостоев, т. е. запас контрольного неразреживаемого древостоя в возрасте $(T + 1)$

$$V_{T+1} = V_T + Z_t^{\text{раст}} ,$$

а запас разреживаемого древостоя в этом же возрасте

$$\tilde{V}_{T+1} = \tilde{V}_T + Z_t^{\text{общ}} - \tilde{V}_T \frac{K_0}{100} , \quad (3)$$

где $Z_t^{\text{общ}}$ – общий текущий прирост стволовой древесины, м³/га;

T – текущий возраст насаждения, лет;

H – средняя высота деревьев в однородном выделе, м;

$Z_t^{\text{раст}}$ – текущий на очередной год прирост растущей части стволовой древесины, м³/га;

V_T и \tilde{V}_T – соответственно запасы контрольного и разреживаемого насаждений, в возрасте T , м³/га;

K_0 – среднегодовой процент опада после проведения рубок ухода.

Математические модели динамики изменения запасов стволовой древесины контрольного неразреживаемого одновозрастного нормального древостоя сосны

Проведенные нами исследования и анализ таблиц хода роста нормальных сосновых древостоев Центрально-Черноземного региона ЦЧР [1] показали, что динамику изменения запаса стволовой древесины одновозрастных насаждений сосны V_T на 1 га можно с достаточно высокой точностью описать математическими моделями в виде обыкновенных линейных дифференциальных уравнений второго порядка с правой частью:

$$M_1 M_2 \frac{d^2 V_T}{dT^2} + M_1 + M_2 \frac{dV_T}{dT} + V_T = V_{III} , \quad (4)$$

где V_{III} – запас стволовой древесины в возрасте спелости и в начале перестойного возраста $T_{СП}$ неразреживаемых древостоев, м³/га.

Сумма общего и частного решения этого дифференциального уравнения, характеризующая затяжной на ряд десятилетий инерционный второго порядка переходный процесс хода роста запаса стволовой древесины до возраста спелости, в установившемся режиме спелости и в начале перестойности древостоев, имеет следующий вид:

$$V_T T = V_{III} \left[1 - \frac{M_1}{M_1 - M_2} e^{-\frac{T}{M_1}} + \frac{M_2}{M_1 - M_2} e^{-\frac{T}{M_2}} \right] , \quad (5)$$

где T – текущий возраст древостоя, лет;

M_1 – постоянная времени, как мера инерционности постепенного увеличения запаса древесины на 1 га в молодом возрасте древостоя, лет;

M_2 – постоянная времени, как мера инерционности постепенного замедления роста объема стволовой древесины в конце приспевающего, в спелом и в начале перестойного возраста, лет.
Эти параметры приведены в табл. 1.

Таблица 1

**Параметры динамики хода роста нормальных
одновозрастных неразреживаемых сосновых древостоев в ЦЧР**

Бонитет	$T_{СП}$, лет	$V_{ПД}$, м ³ /га	M_1 , лет	M_2 , лет
Ia	140	895	28,8	29,3
I	140	716	30,1	28,6
II	140	570	29,9	29,9
III	140	442	30,9	30,4
IV	130	326	29,4	29,1

*Математические модели динамики изменения запасов стволовой древесины
разреживаемого древостоя сосны*

Если рубка ухода проведена аккуратно и не вызвала значительных повреждений остающихся после рубки деревьев, прирост остается прежним, отпад уменьшается и полнота постепенно восстанавливается.

Исходя из вышеизложенного, запас разреживаемого древостоя (\tilde{V}_T , м³/га) в возрасте T представляется возможным определять по уравнению

$$\tilde{V}_T = \tilde{V}_{T_0} + \sum_{t=T_0}^{T_1} Z_t^{\text{раст}} + \sum_{t=T_0}^{T_C} (Z_t^{\text{общ}} - \tilde{V}_t K_0) - \sum_{p=1}^n \Delta \tilde{V}_p, \quad (6)$$

где \tilde{V}_{T_0} – запас древостоя до проведения выборочных рубок ухода в некотором начальном периоде T_0 , м³/га;

T_1 – возраст проведения первой рубки, лет;

T_C – возраст технической спелости древостоя, лет, который зависит от величины целевого диаметра деревьев;

\tilde{V}_t – текущее значение запаса разреживаемого древостоя на момент p -й рубки ухода, м³/га;

$K_0 = 0,1 \dots 0,2$ %;

n – количество рубок ухода, проведенных за период от T_0 до T_C ;

$\Delta \tilde{V}_p$ – часть запаса, удаляемая при p -й рубке ухода и равная объему промежуточного пользования, м³/га.

На основании рекомендаций лесоводов представляется обоснованным, в зависимости от возраста лесонасаждения, устанавливать допустимый диапазон процента манипулирования уменьшением запаса P_p в следующих пределах [3, 6]:

$$15 \% \leq P_p \leq 35 \%. \quad (7)$$

Тогда объем промежуточного пользования древесиной от разреживаний по p -й рубке ухода $\Delta\tilde{V}_p$ следует вычислять по формуле

$$\Delta\tilde{V}_p = \tilde{V}_t \frac{\Pi_p}{100}. \quad (8)$$

Основы разработки программного обеспечения управления разреживаниями

Использовался численный метод имитационного алгоритма равномерного перебора вариантов возраста и интенсивности разреживаний с оценкой эффективности каждого варианта по модели (6) с учетом ограничений (7). Это дало возможность разработать специальное программное обеспечение управления лесовыращиванием, которое решает задачи оптимизации режимов рубок ухода за лесом.

После проведения исследований эффективности оптимизации режимов рубок ухода получены численные оценки критериев оптимальности разреживаний для лесовыращивания сосновых древостоев Ia, I, II бонитетов ЦЧР с целевым диаметром технической спелости 36 см. При этом главным критерием оптимальности была наибольшая возможная продуктивность древостоев с 1 га за 1 год. Максимизация этого критерия дала возможность найти действительно оптимальные интенсивности и возраст изреживаний, а также оптимальные площади питания отдельных деревьев и оптимальные площади сечения древостоев на высоте груди, густоты древостоев в зависимости от бонитета и возраста (табл. 2).

Таблица 2

Оптимальные режимы рубок ухода в сосновых лесонасаждениях I бонитета в ЦЧР (целевой диаметр технической спелости 36 см)

Рубка	Возраст, лет	Интенсивность изреживания	Диаметр на высоте груди, см	Количество деревьев на 1 га, шт.	Вырубемый запас, м ³ /га	Площадь питания деревьев, м ²
Осветление	10,0	0,338	3,5	7737	11,4	1,29
Прочистка	20,0	0,312	8,3	4276	32,9	2,34
Прореживание	36,5	0,268	16,2	2005	65,4	5,00
Проходная	58,0	0,212	26,2	1082	85,0	9,24
Сплошная	$T_C = 81,0$	1,000	36,2	632	524,0	15,82
<i>Всего</i>	–	–	–	–	718,0	–
Контрольный (неразреживаемый) древостой	81,0	–	30,5	610	546,0	16,30
	$T_C = 103,0$	–	36,2	453	635,0	22,00

Снижение возраста технической спелости древостоев при рубках ухода за лесом составило $103 - 81 = 22$ года, или 21 %.

Повышение продуктивности древостоев: $718 - 635 = 83$ м³/га, или 11,5 %.

Продуктивность:

$$\text{при рубках ухода: } \frac{V}{T_C} = \frac{718}{81,0} = 8,86 \text{ м}^3/(\text{га}\cdot\text{год});$$

$$\text{в контроле: } \frac{V}{T_C} = \frac{635}{103} = 6,16 \text{ м}^3/(\text{га}\cdot\text{год});$$

$$\text{разница: } 8,86 - 6,16 = 2,7 \text{ м}^3/(\text{га}\cdot\text{год}).$$

В результате проведенных исследований установлены следующие закономерности:

1. Максимизация выхода стволовой древесины с 1 га за 1 год лесовыращивания обеспечивает снижение возраста технической спелости древостоев по заданному целевому диаметру деревьев, оптимальную увеличивающуюся возрастную площадь питания деревьев, оптимизацию увеличивающейся по возрасту площади сечения деревьев древостоя на высоте груди.

2. Оптимизация режимов (возраст и интенсивность разреживаний) рубок ухода за лесом может быть решена на ЭВМ для обеспечения возрастной оптимизации других критериев рубок ухода. В этом и состоит научно-практическая основа реализации многокритериального управления режимами четырех рубок ухода за лесом.

3. Установлено, что самая высокая интенсивность разреживаний относится к осветлению, но этот уровень снижается для прочистки, еще меньше для прореживаний, самый низкий уровень интенсивности разреживаний относится к проходным рубкам, что соответствует данным ряда исследований [3, 6].

4. Определено влияние бонитета на возраст достижения технической спелости сосновых древостоев ЦЧР. Для целевого диаметра 36 см возраст технической спелости насаждения Ia бонитета – 73 года, I бонитета – 81 год, II бонитета – 98 лет.

5. При возрасте технической спелости количество живых деревьев в контрольных древостоях меньше, чем в разреживаемых, что объясняется большим количеством оставшихся засохших деревьев, которые занимают много пространства в постоянно загущенных насаждениях.

6. Многокритериальная оптимизация управления режимами рубок ухода сосны Ia, I, II бонитетов в ЦЧР для заданного диаметра 36 см дает возможность на 16...29 % снизить возраст технической спелости древостоев, повысить их продуктивность на 2...3 м³/га·год.

Полученные результаты исследований могут использоваться при управлении разреживанием лесных культур сосны и в сосняках естественного происхождения ЦЧР.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Лозовой А.Д. Лесная вспомогательная книжка: лесотаксационный справочник работнику лесного хозяйства ЦЧР России. 3-е изд. Воронеж: М-во образования РФ, администрация Воронежской обл., Воронеж. гос. лесотехн. акад., 2004. 390 с.
2. Малышев В.В., Петровский В.С., Попов В.К. Математическое моделирование и оптимизация выращивания лесных культур сосны. Воронеж: Воронеж. гос. ун-т, 2004. 211 с.
3. Мелехов И.С. Лесоводство: учеб. для вузов. М.: Агропромиздат, 1989. 302 с.
4. Петровский В.С. Автоматическая оптимизация раскроя древесных стволов. М.: Лесн. пром-сть, 1970. 183 с.
5. Петровский В.С., Малышев В.В., Мурзинов Ю.В. Автоматизированное проектирование режимов и выбора машин для проведения рубок ухода за лесом. М.: ФЛИНТА. Наука, 2012. 216 с.
6. Сеннов С.Н. Уход за лесом (экологические основы). М.: Лесн. пром-сть, 1984. 128 с.

Поступила 18.02.14

УДК 630*2(075.8)+630*8765

**Development and Research of Management Systems
for Thinning Operations Modes for the Forest**

V.S. Petrovsky, Doctor of Engineering, Professor

V.V. Malyshev, Candidate of Agriculture, Associate Professor

Voronezh State Forestry Engineering Academy, Timiryazeva, 8, Voronezh, 394087, Russia; e-mail: appvglta@bk.ru

In the process of forest plantations formation the main role belongs to the thinning operations for the forest, which provides planting with intended quality, increases the productivity and stability of forest plantations. It is proposed the target function of increasing the productivity of pine stands that maximizes the yield of stem wood from 1 hectare per year tree planting with the lowering of the age of technical ripeness of plantations. Optimization of the frequency and intensity of thinning operations for the forest will allow to conduct the forehanded cutting, not admit the over-dense plantations and shape stands with optimal growing space of each tree. Management of thinning operations should be carried out with the implementation of the principle of consistency when each exhausting is considered in complex interconnection with the further thinning operation, as an integral part of all inertial time-phased process. Mathematical models of the progress of forest growth with thinning operation and control of forest stands, without cutting and their reactions to the goings have been received. The dynamics parameters of growth course of normal even-aged stands of Scots pine without cuttings, various growth classes are introduced. Algorithm and program of optimization ages and intensity of the felling have been developed. Studies of the efficiency indexes of management computer support of thinning operation regimes have been carried out, numeric evaluations of optimality criteria of pine stands exhausting and forest growing have been resumed. The optimal intensity and frequency of harvesting, and optimal growing space of individual trees, trees density, depending on growth class and age have been defined. A common regularity during thinning operations has been shown: the intensity

of thinning-out at admitting light and liberation is the maximum, then by thinning this indicator is decreased, and maximally is reduced the intensity of thinning-out to the age of accretion cutting, when you are caring for growth. The scientific and practical basis for implementation of multi-objective management of thinning operations modes for the forest has been illustrated.

Keywords: regularity of forests growth, thinning operations, mathematical modeling, modes and criteria of thinning, software, technical final age of plantations, the efficiency of thinning optimization, the productivity of forests, multiobjective management.

REFERENCES

1. Lozovoy A.D. *Lesnaya vspomogatel'naya knizhka: lesotaksatsionnyy spravochnik* [Forest Auxiliary Book: Forest Inventory Guide]. Voronezh, 2004, vol. 3. 390 p.
 2. Malyshev V.V., Petrovskiy V.S., Popov V.K. *Matematicheskoe modelirovanie i optimizatsiya vyrashchivaniya lesnykh kul'tur sosny* [Mathematical Simulation and Optimization of Cultivation of Forest Pine Croppers]. Voronezh, 2004. 211 p.
 3. Melekhov I.S. *Lesovodstvo* [Forestry]. Moscow, 1989. 302 p.
 4. Petrovskiy V.S. *Avtomaticheskaya optimizatsiya raskroya drevesnykh stvolov* [Self-Optimization of the Tree Trunks Sawing]. Moscow, 1970. 183 p.
 5. Petrovskiy V.S., Malyshev V.V., Murzinov J.V. *Avtomatizirovannoe proektirovanie rezhimov i vybora mashin dlya provedeniya rubok ukhoda za lesom* [Automated Design of Modes and Selection of Machines for Thinning Operations for the Forest]. Moscow, 2012. 216 p.
 6. Sennov S.N. *Ukhod za lesom* [Forest Care]. Moscow, 1984. 128 p.
-

УДК 629.33: 593.3

ПОСТАНОВКА ЗАДАЧ ИССЛЕДОВАНИЯ ПОДАЧИ СЖАТОГО ВОЗДУХА НА ФРИКЦИОННЫЕ ПОВЕРХНОСТИ ТОРМОЗНОГО МЕХАНИЗМА С УЧЕТОМ ЭФФЕКТА СОПЛА ЛАВАЛЯ

© Д.Г. Мясищев, д-р техн. наук, проф.

А.С. Ващуткин, канд. техн. наук, ст. преп.

А.М. Швецов, асп.

Северный (Арктический) федеральный университет имени М.В. Ломоносова, наб. Северной Двины, 17, г. Архангельск, 163002; e-mail: d.myasishchev@narfu.ru

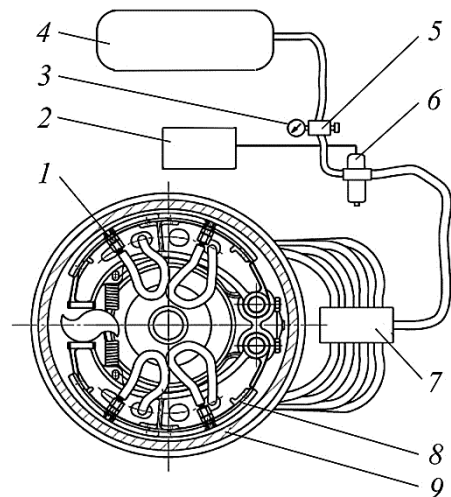
Для охлаждения тормозных механизмов барабанного типа лесотранспортных машин и выноса продуктов износа из зоны трения рекомендовано подавать сжатый воздух на фрикционные поверхности механизма. Установлено, что для повышения коэффициентов эффективности и стабильности тормозного механизма необходимо подавать сжатый воздух в зону трения перед процессом торможения, т. е. перед тем, как тормозные колодки соприкоснутся с тормозным барабаном. В этом случае, в процессе торможения будут участвовать более очищенные фрикционные поверхности. При проведении эксперимента на компьютеризированном однорамном тормозном стенде (экран «люкс» 28", 15T / 2* 11кВт /44803, модель 7515–M 11FP NORD+102561 фирмы «Muller-BEN», сер. № 330) установлено, что подача сжатого воздуха перед процессом торможения повышает тормозную силу на экспериментальном колесе автомобиля ЗИЛ ММЗ-554 на 14 %. Требовалось теоретически обосновать полученный результат и предложить математическую модель процесса истечения сжатого воздуха по фрикционным поверхностям. Авторы обратили внимание на то, что газ на фрикционных поверхностях тормозного механизма ведет себя как газ, истекающий из сопла Лавалья. Поэтому в статье процесс истечения воздуха по поверхностям тормозного механизма рассматривается как процесс истечения газа через сопло. Сопло состоит из пары усеченных конусов, сопряженных узкими концами. Известно, что при дозвуковой скорости движения газа сопло сужается, при сверхзвуковой – расширяется; при движении газа со скоростью, равной скорости звука, площадь поперечного сечения сопла достигает экстремума, т. е. оно имеет самое узкое сечение, называемое критическим. Согласно полученным данным, были сделаны следующие выводы: сжатый воздух, который поступает из подводящих штуцеров на фрикционные поверхности тормозного механизма в процессе их срабатывания, гипотетически ведет себя как газ, который протекает через сопло Лавалья; охлаждение фрикционных поверхностей тормозного механизма в процессе торможения, вынос продуктов износа из зоны трения, влаги и грязи, а также баланс сил, нормальных к фрикционным поверхностям, можно рассматривать физические явления, которые характерны для газа, проходящего через сопло Лавалья и омывающего (в нашем случае) фрикционные поверхности; для анализа протекания данного физического процесса требуется выполнить его качественное математическое описание и провести ряд точных экспериментов.

Ключевые слова: сопло Лавалья, локальная плотность газа, локальное давление газа, локальная скорость газа, локальная скорость звука газа, тормозной механизм, зазор.

Задачей данного исследования является разработка описания процесса истечения сжатого воздуха через зазор между фрикционными поверхностями автомобильного колодочного или иного тормозного механизма в процессе торможения с учетом предполагаемого эффекта сопла Лавала.

В работе [1] сказано, что для повышения эффективности барабанно-колодочных тормозных механизмов требуется принудительно их охлаждать и очищать, т. е. подавать сжатый воздух на их фрикционные поверхности. При этом сжатый воздух целесообразно подавать в зону контакта фрикционных поверхностей тормозного механизма перед соприкосновением колодок с барабаном во время процесса торможения. Данный тормозной механизм показан на рис. 1.

Рис. 1. Принципиальная схема подвода сжатого воздуха к тормозному механизму: 1 – штуцер; 2 – тормозной кран управления автомобиля; 3 – манометр; 4 – ресивер; 5 – редуктор; 6 – электромагнитный клапан; 7 – тройник; 8 – колодка; 9 – тормозной барабан



Зазор между тормозным барабаном и тормозными колодками меняется в процессе торможения от максимального до минимального значения. Минимальный зазор соответствует зазору, при котором колодки соприкасаются с тормозным барабаном. Его величина зависит от неровностей поверхностей фрикционных пар, степени их износа и шероховатости. Усредненный максимальный зазор определяется зазором между барабаном и колодками, когда последние находятся в расторможенном состоянии после процесса торможения.

Осуществление подачи сжатого воздуха на фрикционные поверхности тормозного механизма, перед соприкосновением тормозных колодок с тормозным барабаном в процессе торможения, можно описать следующим образом [2]. В начальный момент торможения сжатый воздух под давлением выходит из штуцеров тормозных колодок в зазор между фрикционными поверхностями тормозных механизмов. При продолжении процесса торможения тормозные колодки соприкасаются с поверхностью барабана, и сжатый воздух выходит через минимальный зазор, который, как было сказано выше, обеспечивается неровностями поверхностей фрикционных пар, степенью их

износа и шероховатостью. В дальнейшем колодки отходят от поверхности тормозного барабана, но воздух продолжает поступать через появившийся зазор, а из него в атмосферу. По истечении времени подача сжатого воздуха прекращается.

Анализ этого процесса показал, что подача сжатого воздуха и его истечение через зазор между фрикционными поверхностями тормозного механизма в процессе торможения аналогичен истечению газа через сопло Лавала [3]. При этом самым узким сечением «виртуального» сопла Лавала является минимальный зазор, который наблюдается при соприкосновении тормозных колодок с тормозным барабаном. Выходным сечением сопла служит зазор, который обеспечивается при отжатии тормозных колодок от поверхности тормозного барабана. Данный зазор может определяться различными конструктивными формами фрикционных поверхностей тормозных колодок и тормозного барабана.

При проведении эксперимента на компьютеризированном однорамном тормозном стенде (экран «люкс» 28", 15Т / 2* 11кВт / 44803, мод. 7515–М 11FP NORD+102561, фирмы «Muller-BEN», сер. № 330) получены следующие входные параметры сопла и характеристики сжатого воздуха: диаметры подводящих отверстий штуцеров $d_o = 5,9$ мм, давление сжатого воздуха на входе в штуцера $P_b = 0,6$ МПа. Они определяются размерами штуцеров (их диаметрами и продольным профилем), установленных в контртело тормозных колодок, и регулировкой пневмопривода. При этом все подводящие отверстия идеализировано могут быть приведены к некоторому одному входному соплу.

Рассмотрим физическую суть прохождения сжатого воздуха через сопло Лавала*.

Сопло представляет собой канал, суженный в середине. В простейшем случае (рис. 2) такое сопло может состоять из пары усеченных конусов, сопряженных узкими концами.

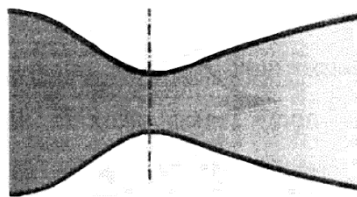


Рис. 2. Сопло Лавала

Феномен ускорения газа до сверхзвуковых скоростей в сопле Лавала был обнаружен в конце XIX в. экспериментальным путем. Позже это явление нашло теоретическое объяснение в рамках газовой динамики [3].

* Техническое приспособление было предложено в 1890 г. изобретателем Густафом де Лавалем для паровых турбин. В настоящее время широко используется на некоторых типах паровых турбин и является важной частью современных ракетных авиационных двигателей.

При анализе течения газа в сопле Лавалья принимаются следующие допущения: газ считается идеальным; газовый поток является изоэнтропным и адиабатическим; газовое течение является стационарным и одномерным; массовый расход газа одинаков во всех поперечных сечениях потока; влияние всех внешних сил и полей пренебрежимо мало; ось симметрии сопла является пространственной координатой x .

Отношение локальной скорости v к локальной скорости звука C обозначается числом Маха, которое также понимается местным, т. е. зависимым от координаты x [3]:

$$M = v / C. \quad (1)$$

Из уравнения состояния идеального газа [3] имеем

$$dp / d\rho = C^2, \quad (2)$$

где p – локальное давление, МПа;

ρ – локальная плотность, г/см³.

С учетом этого, а также с учетом стационарности и одномерности потока, уравнение Эйлера принимает следующий вид:

$$v \frac{dv}{dx} = -\frac{1}{\rho} \frac{dp}{dx} = -\frac{1}{\rho} \frac{dp}{d\rho} \frac{d\rho}{dx} = -\frac{C^2}{\rho} \frac{d\rho}{dx}. \quad (3)$$

Преобразуем формулу (3) с учетом (1):

$$\frac{1}{\rho} \frac{d\rho}{dx} = -M^2 \frac{1}{v} \frac{dv}{dx} \quad \text{или} \quad \frac{1}{\rho} \frac{d\rho}{dx} / \frac{1}{v} \frac{dv}{dx} = -M^2. \quad (4)$$

Правые части уравнений (4) $\frac{1}{\rho} \frac{d\rho}{dx}$ и $\frac{1}{v} \frac{dv}{dx}$ характеризуют относительную степень изменяемости по координате x соответственно плотности и скорости газа. Причем уравнения (4) показывают, что соотношение между этими величинами равно квадрату числа Маха (знак минус означает противоположную направленность изменений: при возрастании скорости плотность убывает). Таким образом, на дозвуковых скоростях ($M < 1$) плотность меняется в меньшей степени, чем скорость, а на сверхзвуковых ($M > 1$) – наоборот.

Поскольку массовый расход газа постоянен, то

$$\rho v A = \text{const} \quad \text{или} \quad \ln \rho + \ln v + \ln A = \ln(\text{const}), \quad (5)$$

где A – площадь местного сечения сопла, мм².

Дифференцируя обе части уравнения (5) по x , получаем

$$\frac{1}{\rho} \frac{d\rho}{dx} + \frac{1}{v} \frac{dv}{dx} + \frac{1}{A} \frac{dA}{dx} = 0. \quad (6)$$

После подстановки из уравнений (4) в уравнение (6) имеем:

$$\frac{dA}{dx} = \frac{A}{v} \frac{dv}{dx} (M^2 - 1). \quad (7)$$

При увеличении скорости газа в сопле знак выражения $\frac{A}{v} \frac{dv}{dx}$ положителен, следовательно, знак производной $\frac{dA}{dx}$ определяется знаком выражения $M^2 - 1$.

При этом известно:

1. При дозвуковой скорости движения газа ($v < C$ и $M < 1$) производная $dA/dx < 0$, т. е. сопло сужается.

2. При сверхзвуковой скорости движения газа ($v > C$ и $M > 1$) производная $dA/dx > 0$, т. е. сопло расширяется.

3. При движении газа со скоростью, равной скорости звука ($v = C$ и $M = 1$), производная $dA/dx = 0$ – площадь поперечного сечения сопла, достигает экстремума, т. е. оно имеет самое узкое сечение, называемое критическим.

Газ, перемещаясь по соплу, расширяется, его температура и давление падают, скорость возрастает. Внутренняя энергия газа при этом преобразуется в кинетическую энергию его направленного движения, т. е. происходит ускорение потока. Газ, проходя через сопло на значительной скорости, не успевает передать его стенкам заметное количество своей тепловой энергии, что позволяет считать процесс адиабатическим.

Выводы

1. Сжатый воздух, который поступает из подводных штуцеров на фрикционные поверхности тормозного механизма в процессе их срабатывания, гипотетически ведет себя как газ, который протекает через сопло Лавалья.

2. Для экспериментального образца колеса при оптимальных значениях $d_o = 5,9$ мм, $P_b = 0,6$ МПа получены предварительные параметры моделирования сопла: $v = 364,27$ м/с; $C = 301,97$ м/с; $M = 1,2$. Площадь поперечного сечения виртуального сопла – $0,0034$ м². Это дает право утверждать, что имеет место сопло Лавалья.

3. Для анализа протекания данного физического процесса потребуется выполнить его качественное математическое описание и провести ряд точных экспериментов на опытном колесе.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Вашуткин А.С., Мясников Д.Г. Анализ функционирования барабанных тормозных механизмов автолесовозов и пути улучшения их показателей // Лесн. журн. 2010. № 3. С. 61–68. (Изв. высш. учеб. заведений).

2. Вашуткин А.С. Улучшение эксплуатационных свойств тормозной системы лесотранспортных машин: дис. ... канд. техн. наук. Архангельск, 2012. 139 с.

3. Ландау Л.Д., Лифшиц Е.М. Теоретическая физика. В 10 т. Т. 6. Гидродинамика: учеб. пособие для физ. специальностей ун-тов. 4-е изд., стер. М.: Наука, 1973. 1988. 733 с.

Поступила 06.03.14

УДК 629.33: 593.3

Problem Statement of Air-Feed Research on Frictional Surfaces of the Brake Assembly Taking into Account Effect of the Laval Nozzle

D.G. Myasishchev, Doctor of Engineering, Professor

A.S. Vashutkin, Candidate of Engineering, Senior Lecturer

A.M. Shvetsov, Postgraduate Student

Northern (Arctic) Federal University named after M.V. Lomonosov, Naberezhnaya Severnoy Dviny, 17, Arkhangelsk, 163002, Russia; e-mail: d.myasishchev@narfu.ru

For cooling of drum type brake assemblies of the timber-hauling machines, carryover of wear debris from a friction zone it was recommended to fan the compressed air on device's frictional surfaces. It has been established that for increase of efficiency factor and stability coefficient of the brake assembly, the compressed air is required to be fan to a friction zone before braking process i.e. before brake shoes to adjoin to a brake drum. In this case, braking process will be with more "pure" frictional surfaces. It is experimentally established that air feed before braking process led to increase of braking force on an experimental wheel for 14 %. It was required to prove theoretically this result and to make mathematical model of process of the expiration of the compressed air on frictional surfaces. Authors paid attention that the gas expiration on frictional surfaces of the brake assembly behaves as the gas expiring from the Laval nozzle. Therefore in article process of air effluxion on surfaces of the brake assembly as process the gas expiration through the Laval nozzle is considered. The nozzle consists of frustum of cone couple interfaced by the narrow ends. Thus it is known that: at a subsonic speed of gas movement – the nozzle is narrowed; at a supersonic speed of gas movement – the nozzle extends; at gas movement of equal acoustic speed – the area of a nozzle cross section reaches an extremum that is it has the narrowest section called the critical. According to this, the following conclusions were drawn: the compressed air which arrives on frictional surfaces of the brake assembly in the course of their operation from bringing unions, hypothetically behaves as gas which proceeds through the Laval nozzle; frictional surfaces cooling of the brake assembly in the course of braking, carryover of wear debris from a zone of friction, moisture and dirt, and also the balance of forces normal to frictional surfaces, probably, to consider according to the physical phenomenon which are characteristic for the gas passing through the Laval nozzle and washing, in our case, frictional surfaces; for the analysis of course of this physical process it is required to execute its qualitative mathematical description and to carry out a number of the exact, difficult experiments proving its existence.

Keywords: the Laval nozzle, local gas density, local gas pressure, local gas speed, local acoustic speed of gas, brake assembly, gap.

REFERENCES

1. Vashutkin A.S., Myasishchev D.G. Analiz funktsionirovaniya barabannykh tormoznykh mekhanizmov avtolesovozov i puti uluchsheniya ikh pokazateley [Analysis of Drum Brakes Functioning of Log Trucks and Ways of Improving their Performance]. *Lesnoy zhurnal*, 2010, no. 3, pp. 61–68.
2. Vashutkin A.S. *Uluchshenie ekspluatatsionnykh svoystv tormoznoy sistemy lesotransportnykh mashin*: dis. ... kand. tekhn. nauk [Running Ability Improvement of Brake System of Timber-Hauling Machines: Cand. Tech. Sci. Diss.]. Arkhangelsk, 2012. 139 p.
3. Landau L.D., Lifshits E.M. *Teoreticheskaya fizika. T.6: Gidrodinamika* [Theoretical Physics. Vol.6: Hydrodynamics]. Moscow, 1973. 733 p.

УДК 630*31

КОМПЛЕКСНАЯ ОЦЕНКА ДОСТУПНОСТИ ЛЕСНЫХ РЕСУРСОВ С УЧЕТОМ РАЗВИТИЯ ЛЕСНОЙ ТРАНСПОРТНОЙ ИНФРАСТРУКТУРЫ НА ТЕРРИТОРИИ СЕВЕРО-ЗАПАДНОГО ФЕДЕРАЛЬНОГО ОКРУГА

© *Т.В. Якушева, асс.*

С.-Петербургский государственный лесотехнический университет им. С.М. Кирова, Институтский пер., 5, С.-Петербург, Россия, 194021; e-mail: ytvles@mail.ru; public@ftacademy.ru

В Северо-Западном федеральном округе сложился крупнейший в России лесопромышленный комплекс. Из девяти регионов этого округа в четырех (Архангельская и Вологодская области, республики Коми и Карелия) лесозаготовка является одной из главных бюджетообразующих отраслей. На них приходится порядка 60 % лесов европейской части страны и 12 % всех лесов России. По состоянию на 01.10.2012 г. почти половина этой площади передана в аренду, действовало 6217 договоров аренды по заготовке древесины. Важно отметить ежегодное недоосвоение расчетной лесосеки. Уровень заготовки древесины на арендуемых лесных участках в 2011 г. по округу не превышал 56 % от объема установленного договорами аренды. Степень использования расчетной лесосеки для заготовки древесины в спелых и перестойных насаждениях неравномерна. На уровень освоения лесосечного фонда оказывают влияние обеспеченность территории субъектов Российской Федерации дорожной сетью, концентрация эксплуатационного фонда, породная и возрастная структура лесов. При определении расчетной лесосеки, зачастую, не учитывается сезонная доступность планируемых к освоению участков лесного фонда, разделение лесов на так называемые «зимний» и «летний» лесосечный фонд предопределяет неравномерность годовой загрузки предприятий. Объектами исследования явились нормативно-правовые документы в области лесных отношений, лесные планы субъектов Северо-Западного федерального округа. Отдельно были изучены аспекты обеспечения рационального использования лесных ресурсов, выявление площадей и запасов эксплуатационных лесов на территории региона, используемых для заготовки древесины, недревесных лесных ресурсов, рекреационный потенциал, а также выявление плотности лесных (лесовозных) дорог в лесном фонде. Рассмотрение вопросов доступности лесных ресурсов по субъектам округа показало, что протяженность лесохозяйственных и лесовозных дорог составляет 234 672 км, плотность дорог на 1000 га лесного фонда – 2,1 км, что является недостаточным и предполагает количественное и качественное развитие лесной транспортной инфраструктуры в целях интенсивного развития лесной отрасли Северо-Запада.

Ключевые слова: заготовка древесины, использование лесов, лесные планы, расчетная лесосека, транспортная инфраструктура.

Лесной сектор, играющий важную роль в экономике страны, имеет существенное значение для социально-экономического развития более чем 40 субъектов Российской Федерации (РФ), в которых продукция лесной промышленности оставляет 10...50 % от общего объема промышленной продук-

ции регионов [2]. На предприятиях и в организациях лесопромышленного комплекса занято более 1 млн работающих [5].

Из девяти регионов Северо-Западного федерального округа (СЗФО) в четырех (Архангельская и Вологодская области, республики Коми и Карелия) лесозаготовка является одной из главных бюджетобразующих отраслей. На СЗФО приходится порядка 60 % лесов европейской части страны и 12 % всех лесов России. Общая площадь земель лесного фонда СЗФО составляет 112,8 млн га.

По данным Рослесхоза объем заготовки древесины в России по итогам 2011 г. составил 197,0 млн м³, что на 21,0 млн м³ больше, чем в 2010 г. При этом уровень использования лесов не превышал одну треть расчетной лесосеки. В аренду передано около 216,0 млн га лесной территории, что составляет 19 % от общей площади земель лесного фонда, в том числе в целях заготовки древесины – 167 млн га. На этих участках заготовлено 142,0 млн м³ древесины, или 72 % от общего объема заготовок, что превышает показатели 2008 и 2010 гг. соответственно на 19,5 и 48,0 млн м³. В целом уровень заготовки древесины на арендуемых лесных участках в 2011 г. не превышал 56 % от объема установленного договорами аренды. В 2010 г. данный показатель составлял 58, в 2009 г. – 46, в 2008 г. – 53 % [1].

По сведениям Департамента лесного хозяйства [1], в 2012 г. СЗФО, обладая 12 % запасов лесных ресурсов страны, являлся абсолютным лидером по объемам лесопользования и заготовки древесины, объемам производимой товарной продукции из нее, экспорту, валютной выручке. Установленный объем расчетной лесосеки – 58,0 млн м³, освоение расчетной лесосеки по состоянию на 01.01.2012 г. – 74 %.

Почти половина крупнейших лесопромышленных компаний осуществляют свою деятельность на территории СЗФО. По состоянию на 01.10.2012 г. действует 6217 договоров аренды по заготовке древесины. В аренду передана почти половина всей площади лесного фонда, расположенного на территории округа. Безусловный приоритет (84,5 %) принадлежит предоставлению лесных участков в аренду для заготовки древесины крупным вертикально интегрированным компаниям. Средняя площадь одного арендованного для заготовки древесины участка 220 тыс. га. При этом количество арендаторов и площадь, переданная в аренду, имеют устойчивую тенденцию к росту. На территории СЗФО осуществляется 38 приоритетных инвестиционных проектов [4] в области освоения лесов с общим объемом инвестиций 109,9 млрд р. и общим объемом потребляемого сырья 20,9 млн м³.

Комплексное использование лесных ресурсов характеризуется дальнейшим развитием производств по глубокой переработке древесины. Особое внимание должно быть уделено интенсивному и эффективному ведению лесного хозяйства и лесопользования, что невозможно без развития лесной транспортной инфраструктуры.

Существуют проблемы, связанные с неразвитостью инфраструктуры. Протяженность лесохозяйственных и лесовозных дорог СЗФО составляет 234 672 км. Плотность дорог на 1000 га в лесном фонде округа – 2,1 км, в РФ – 1,5 км [3]. По экспертным оценкам, для ведения лесного хозяйства и успешной деятельности лесопромышленного комплекса плотность лесных лесовозных дорог должна быть 10,0...12,0 км на 1000 га лесных земель, предельное расстояние вывозки древесины по лесным дорогам – 30...50 км. При больших расстояниях вывозка древесины становится экономически невыгодной.

Общая проблема для лесов Северо-Западного региона – отсутствие сбыта осины и ольхи при устойчивом спросе на древесину хвойных пород и березу. Низкокачественный невостребованный лес остается на делянках, так как его вывоз не окупается.

Одна из актуальных проблем – утилизация образующихся отходов и низкокачественной древесины. Правильно переработанные древесные отходы способны обеспечить теплоэлектроэнергией значительное количество потребителей. Например, сжигание 5 т древесных отходов позволяет сберечь 1 т мазута или 1000 м³ газа.

По оценкам экспертов в СЗФО при лесозаготовках, лесопилении и деревообработке образуется около 16,3 млн м³ древесных отходов. Потенциал Северо-Запада при использовании имеющихся на сегодня древесных отходов составляет как минимум 4,1 млн т условного топлива. Согласно применяемым сегодня технологиям производства лесной продукции, отходы лесозаготовок составляют 20, лесопиления – 35...55, производства деревянных изделий, мебели и др. – 50 % от объема продукции, отходы при производстве фанеры – 60, древесные отходы ЦБП – 20 % от объема поставляемого сырья.

Таким образом, степень использования расчетной лесосеки для заготовки древесины в спелых и перестойных насаждениях крайне неравномерная. На нее оказывают влияние обеспеченность территории субъектов РФ дорожной сетью, концентрация эксплуатационного фонда, породная и возрастная структура лесов.

В лесах СЗФО идет накопление спелых и перестойных насаждений преимущественно лиственных пород, а также хвойных насаждений низких классов бонитета. Сдерживающим фактором освоения лесных ресурсов является низкая плотность лесных дорог в России.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Аналитический обзор «Перспективы развития лесной отрасли, динамика развития». Режим доступа: <http://minpromtorg.gov.ru/find>.
2. Концепция развития лесного хозяйства РФ до 2010 г.: утв. распоряжением Правительства РФ № 1305-р от 28.09.2007 г.
3. Лесные планы субъектов СЗФО 2008-2010 гг.: М.: Рослесхоз, 2011. 1387 с.

4. Постановление Правительства РФ «О приоритетных инвестиционных проектах в области освоения лесов» № 419 от 30.06.2007 г. (в ред. постановления Правительства РФ № 450 от 08.06.2011 г.). М., 2007. 5 с.

5. Стратегия развития лесного комплекса на период до 2020 г.: утв. приказом Минпромторга и Минсельхоза России № 248/482 от 30.10.2008 г.

Поступила 18.02.13

УДК 630*31

Integrated Assessment of the Availability of Forest Resources Considering the Development of Forest Transport Infrastructure in the North-West Federal District

T.V. Yakusheva, Assistant

Saint Petersburg State Forest Technical University named after S.M. Kirov, Institutskiy per, 5, Saint Petersburg, 194021, Russia; e-mail: ytvles@mail.ru; public@ftacademy.ru

In the Northwest federal district there was a largest timber processing complex in Russia. Out of nine regions of the Northwest federal district in four – in the Arkhangelsk and Vologda Regions, in the Komi Republic and the Republic of Karelia – lumbering is one of the main budget forming branches. About 60% of the woods of the European part of the country and 12% of all woods of Russia are the share of the Northwest federal district. As of 01.10.2012 nearly a half of all area of forest fund of the Northwest federal district is leased, 6217 leasing contracts on wood preparation worked. It is important to note an annual less-reclaiming of a predicted cutting area. Level of wood preparation on the rented timberland in 2011 on the district didn't exceed 56% of volume established by lease contracts. The efficiency of predicted cutting area for wood preparation in ripe and overmature plantings is uneven. Supportability of the territory of subjects of the Russian Federation with a road network, concentration of performance stock, species and age structure of the woods has impact on level of cutting fund development. When determining a predicted cutting area, often, seasonal availability of sites of forest fund planned to development isn't considered, woods division into so-called "winter" and "summer" cutting fund predetermines unevenness of annual loading of the enterprises. Object of research were standard and legal documents in the field of the forest relations, forest plans of subjects of the Northwest federal district. Aspects of ensuring rational use of forest resources, identification of the areas and stocks of the operational woods in the territory of the region, used for wood preparation, not wood forest resources, the recreational potential, and also identification of density of forest (lumber) roads in forest fund in the Northwest federal district were particularly studied. Consideration of questions of forest resources availability on subjects of the Northwest federal district showed that the extent of forestry-based and lumber roads is 234672 km. Roads density in forest fund on 1000 hectares makes 2,1 km that is an insufficient indicator and assumes quantitative and high-quality development of forest transport infrastructure for the purpose of intensive development of forest branch of the Northwest.

Keywords: logging, forest exploitation, forest plans, predicted cutting area, transport infrastructure.

REFERENCES

1. *Analiticheskiy obzor «Perspektivy razvitiya lesnoy otralsi, dinamika razvitiya* [Analytic Review. Future Considerations of Forestry, Dynamics of Development]. Available at: <http://minpromtorg.gov.ru/find>.

2. *Conception of Forestry Development in Russian Federation until 2010*. Approved by the Order of the Government of the Russian Federation of 28.09.2007 no. 1305-r. (in Russian).

3. *Lesnye plany sub"ektov SZFO v 2008-2010 gg* [Forest Plans of Subjects of the Northwest Federal District in 2008-2010]. Moscow, 2011. 1387 p.

4. *On priority investment project in forest reclaiming: Order of the Government of the Russian Federation of 30.06.2007 no. 419* (as in force on 08.06.2011 no. 450). (in Russian).

5. *Strategy of forest complex until 2020*. Approved by the Order of the Ministry of Industry and Trade and the Ministry of Agriculture of Russia of 30.10.2008 no. 248/482. (in Russian).



МЕХАНИЧЕСКАЯ ОБРАБОТКА ДРЕВЕСИНЫ
И ДРЕВЕСИНОВЕДЕНИЕ

УДК 694.093.6:413.82

**ПЛОСКАЯ ДЕФОРМАЦИЯ ПРИ ИЗГИБЕ
КРУГЛОГО ЦИЛИНДРИЧЕСКИ АНИЗОТРОПНОГО
НЕОДНОРОДНОГО ТЕЛА**

© *В.И. Мелехов¹, д-р техн. наук, проф.*

В.Н. Глухих², д-р техн. наук, проф.

В.Е. Бызов³, канд. техн. наук, доц.

¹Северный (Арктический) федеральный университет имени М.В. Ломоносова, наб. Северной Двины, 17, г. Архангельск, Россия, 163002; e-mail: lti@narfu.ru

²С.-Петербургский государственный лесотехнический университет имени С.М. Кирова, Институтский пер., 5, С.-Петербург, Россия, 194021; e-mail: public@ftacademy.ru

³С.-Петербургский государственный архитектурно-строительный университет, 2-я Красноармейская улица, 4, С.-Петербург, Россия, 190005; e-mail: marana@inbox.ru

Приведен вывод расчетных формул прочностных и деформативных показателей при изгибе конструкционных пиломатериалов с кольцевой макроструктурой с учетом неоднородности древесины в пределах годовичных слоев. Древесина в стволе растущего дерева имеет кольцевую структуру годовичных слоев. В каждом годовичном слое присутствуют слои ранней и поздней древесины. Поздняя древесина плотнее, тяжелее и тверже ранней, от количества поздней древесины зависят цвет, плотность и прочность древесины в целом. Также кольцевая структура древесины способствует повышению ее прочности. В конструкционных пиломатериалах, из которых изготавливают элементы несущих строительных конструкций, целесообразно сохранять максимальное количество непрерывных годовичных слоев. Это возможно при использовании конструктивных пиломатериалов больших сечений с присутствием сердцевины. Целью работы является решение задачи расчета прочностных характеристик конструктивных пиломатериалов, макроструктура строения древесины которых представляет собой систему коаксиально наложенных друг на друга тонкостенных оболочек, моделирующих годовичные слои древесины. Для решения этой задачи разработана методика расчета прочностных и деформативных показателей бруса с кольцевой структурой. При проведении исследований прочностных свойств древесины чаще всего ее рассматривают как однородный материал, у которого не учитываются свойства ранней и поздней зон годовичных слоев. На самом деле древесина – неоднородный материал, ее неоднородность заключается в изменчивости свойств в радиальном направлении, что является ее природной особенностью. Наблюдается периодичность изменения свойств за счет ранней и поздней древесины годовичных слоев. Для упрощения задачи была принята одинаковая ширина обеих зон годовичного слоя. На основе этих положений была разработана методика расчетов прочностных и деформативных показателей бруса с кольцевой структурой. Рассмотрена периодичность изменения свойств с учетом ранней и поздней древесины годовичных слоев. Полученное решение позволяет

проводить исследования напряженного состояния элементов деревянных строительных конструкций с кольцевой структурой при изгибе с учетом неоднородности древесины в пределах годичных слоев.

Ключевые слова: круглый цилиндрически анизотропный брус, годичные слои, показатели прочности и деформативности.

Конструкционные пиломатериалы находят широкое применение при изготовлении элементов несущих строительных конструкций. В строительстве в основном применяют конструкционные пиломатериалы больших сечений. Макроструктура таких пиломатериалов максимально повторяет структуру ствола растущего дерева.

Строение древесины в стволе растущего дерева, благодаря кольцевому сечению годичных слоев, способствует повышению ее прочности. Очень важно, чтобы в пиломатериалах сохранилось максимальное количество непрерывных годичных слоев. Однако для уточнения количественных и качественных оценок строения древесины и прочностных характеристик представляет интерес постановка задачи исследования, рассматривающей структуру древесины на макроуровне как замкнутую систему оболочек.

Круглый сортимент, из которого получают конструкционные пиломатериалы, можно схематично представить как систему коаксиально нанизанных друг на друга тонкостенных оболочек, моделирующих годичные слои древесины. Сердцевина располагается в центральной части поперечного сечения сортимента. Конструкционные пиломатериалы больших сечений, получаемые из круглых сортиментов, в наибольшей степени сохраняют кольцевую структуру годичных слоев древесины.

При решении некоторых практических задач древесину можно рассматривать как однородный материал, у которого не учитываются свойства ранней и поздней зон годичных слоев. На самом деле древесина – неоднородный материал и ее неоднородность заключается в изменчивости свойств в радиальном направлении, что является ее природной особенностью. Наблюдается периодичность изменения свойств с учетом ранней и поздней древесины годичных слоев. В некотором приближении для упрощения задачи можно принять ширину обеих зон одинаковой.

Предполагается, что цилиндрический брус находится в условиях деформации чистого изгиба, когда напряжения зависят только от одной координаты. На внешней поверхности усилия отсутствуют, коэффициенты деформации β_{ij} зависят от координаты r .

Для решения задачи при этих условиях применяем дифференциальное уравнение, полученное С.Г. Лехницким*:

* Лехницкий С.Г. Теория упругости анизотропного тела. М.: Наука, 1977. 416 с.

$$\begin{aligned}
 & \left(\frac{\partial^2}{\partial \Theta^2} - r \frac{\partial}{\partial r} \right) \left(\frac{\beta_{11}}{r} \frac{\partial F}{\partial r} + \frac{\beta_{11}}{r^2} \frac{\partial^2 F}{\partial \Theta^2} + \beta_{12} \frac{\partial^2 F}{\partial r^2} \right) + \\
 & + r \frac{\partial^2}{\partial r^2} \left(\beta_{12} \frac{\partial F}{\partial r} + \frac{\beta_{12}}{r} \frac{\partial^2 F}{\partial \Theta^2} + \beta_{22} r \frac{\partial^2 F}{\partial r^2} \right) + \\
 & + \frac{\partial^2}{\partial r \partial \Theta} \left(r \beta_{66} \frac{\partial^2}{\partial r \partial \Theta} \left(\frac{F}{r} \right) \right) = \left(\frac{\partial^2}{\partial \Theta^2} - r \frac{\partial}{\partial r} \right) + [\mu_{zr} Ar \cos \Theta + Br \sin \Theta + C] + \\
 & + r^2 \frac{\partial^2}{\partial r^2} [\mu_{zt} (Ar \cos \Theta + Br \sin \Theta + C)] \quad (1)
 \end{aligned}$$

где Θ – угол;

β_{ij} – коэффициенты деформации, которые выражаются через модули упругости и коэффициенты Пуассона,

$$\beta_{11} = \frac{1 - \mu_{rz} \mu_{zr}}{E_r}; \quad \beta_{12} = -\frac{\mu_{rr} - \mu_{rz} \mu_{zr}}{E_r}; \quad \beta_{22} = \frac{1 - \mu_{rz} \mu_{zr}}{E_t}; \quad \beta_{66} = \frac{1}{G_r}$$

или в общем виде

$$\beta_{ij} = a_{ij} - \frac{a_{i3} a_{j3}}{a_{33}}; \quad i, j = 1, 2, 4, 5, 6, \dots;$$

a_{ij} – множители у напряжений в формулах обобщенного закона Гука;

F – функция напряжений, удовлетворяющая дифференциальному уравнению (1);

A, B, C – постоянные интегрирования.

Общее решение уравнения (1) можно искать в виде

$$F(r, \Theta) = f(r) \sin \Theta. \quad (2)$$

Решение уравнения (1) с учетом (2) приводит к неоднородному дифференциальному уравнению для нахождения функции $f(r)$:

$$\begin{aligned}
 & \frac{\partial}{\partial r^2} \left(r \beta_{22} \frac{\partial^2 f}{\partial r^2} + \beta_{12} \frac{\partial f}{\partial r} - \frac{\beta_{12}}{r} f \right) - \frac{\partial}{\partial r} \left(\beta_{12} \frac{\partial^2 f}{\partial r^2} + \frac{\beta_{11}}{r} \frac{\partial f}{\partial r} - \frac{\beta_{11}}{r^2} f \right) - \\
 & - \frac{1}{r} \left(\beta_{12} \frac{\partial^2 f}{\partial r^2} + \frac{\beta_{11}}{r} \frac{\partial f}{\partial r} - \frac{\beta_{11}}{r^2} f \right) - \frac{1}{r} \frac{\partial f}{\partial r} \left(\beta_{66} \frac{\partial f}{\partial r} - \frac{\beta_{66}}{r} f \right) = \\
 & = B \left[\frac{a_{13}}{a_{33}} - \frac{\partial^2}{\partial r^2} \left(\frac{a_{23}}{a_{33}} r^2 \right) + \frac{\partial}{\partial r} \left(\frac{a_{13}}{a_{33}} r \right) \right]. \quad (3)
 \end{aligned}$$

Решение этого уравнения может быть получено в виде степенных функций. Для случая, когда все коэффициенты упругости пропорциональны одной и той же степени r , С.Г. Лехницким из уравнения (4) получено дифференциальное уравнение для нахождения функции $f(r)$:

$$\frac{\partial^4 f}{\partial r^4} + \frac{2(1-n)}{r} \frac{\partial^3 f}{\partial r^3} + n(n-1) - \alpha \frac{1}{r^2} \frac{\partial^2 f}{\partial r^2} + (n+1)\alpha \left(\frac{1}{r^3} \frac{\partial f}{\partial r} - \frac{f}{r^4} \right) = 2B \frac{\alpha_{13} - \alpha_{23}}{\gamma_{22} \gamma_{33}}, \quad (4)$$

где

$$a_{ij} = \alpha_{ij} r^{-n}; \quad (5)$$

$$\alpha = \frac{\gamma_{11} + \gamma_{12}(n+2) + \gamma_{66}}{\gamma_{22}};$$

$$\gamma_{11} = a_{11} - \frac{a_{13} a_{13}}{a_{33}} = \frac{1}{E_r} - \frac{\frac{\mu_{zr} \mu_{zr}}{E_z E_z}}{\frac{1}{E_z}} = \frac{1}{E_r} - \frac{\mu_{zr}^2}{E_z};$$

$$\gamma_{22} = a_{22} - \frac{a_{23} a_{23}}{a_{33}} = \frac{1}{E_t} - \frac{\frac{\mu_{zt} \mu_{zt}}{E_z E_z}}{\frac{1}{E_z}} = \frac{1}{E_t} - \frac{\mu_{zt}^2}{E_z};$$

$$\gamma_{12} = a_{12} - \frac{a_{13} a_{23}}{a_{33}} = -\frac{\mu_{tr}}{E_z} - \frac{\mu_{zr} \mu_{zt}}{E_r};$$

$$\gamma_{66} = a_{66} - \frac{a_{63} a_{63}}{a_{33}} = a_{66} = \frac{1}{G_{rr}}.$$

Общий интеграл дифференциального уравнения (4) имеет следующий вид:

$$f(r) = C_1 r^\lambda + C_2 r^k + C_3 r^{1+n} + C_4 r + B \ell_n (n+2) r^{n+3}, \quad (6)$$

где

$$\begin{cases} \lambda \\ k \end{cases} = \frac{n+2}{2} \pm \sqrt{\left(\frac{n+2}{2}\right)^2 + \alpha};$$

$$\ell_n = \frac{\alpha_{13} - \alpha_{23}}{\gamma_{22} \alpha_{33} (n+3 - \alpha)}.$$

Решение уравнения (5) представлено в виде степенных функций. Решение в виде простых трансцендентных функций не представляется возможным, хотя в рассматриваемой задаче изменения коэффициентов деформации с учетом различных свойств ранней и поздней древесины можно принять в виде тригонометрических функций синуса и косинуса. Применяв разложение этих функций в ряд, можно решить задачу изгиба неоднородного анизотропного бруса постоянным моментом.

Функцию модуля упругости E_z , график которой приведен на рис. 1, можно представить в виде

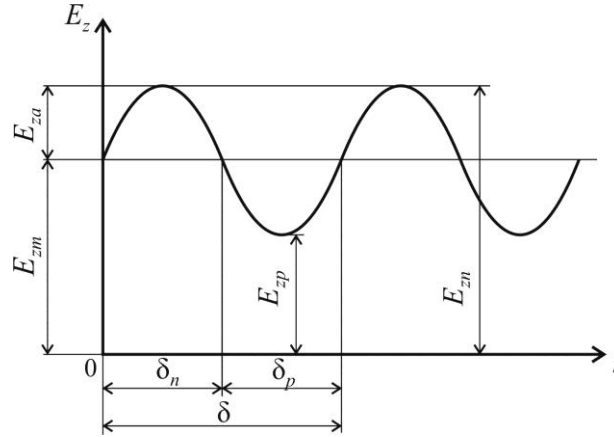


Рис. 1. Изменение модуля упругости E_z по радиусу сечения r круглого сортимента

$$E_z(r) = \frac{E_{zn} + E_{zp}}{2} + \frac{E_{zn} - E_{zp}}{2} \sin\left(\frac{\pi}{\delta} r\right), \quad (7)$$

где E_{zn} , E_{zp} – модули упругости поздней и ранней древесины вдоль волокон;
 δ – ширина годичного слоя, равная сумме ширины слоев ранней и поздней древесины, принятых в данной задаче одинаковыми.

Согласно рис. 1 преобразуем уравнение (7):

$$E_z(r) = E_{zm} + E_{za} \sin\left(\frac{\pi}{\delta} r\right), \quad (8)$$

где E_{zm} , E_{za} – среднее и амплитудное значения модуля упругости E_z .

Разложим функцию (8) в степенной ряд:

$$E_z(r) = E_{zm} + E_{za} \left[\frac{\pi}{\delta} r - \frac{\left(\frac{\pi}{\delta} r\right)^3}{3!} + \frac{\left(\frac{\pi}{\delta} r\right)^5}{5!} - \dots \right];$$

$$E_t(r) = E_{tm} + E_{ta} \left[\frac{\pi}{\delta} r - \frac{\left(\frac{\pi}{\delta} r\right)^3}{3!} + \frac{\left(\frac{\pi}{\delta} r\right)^5}{5!} - \dots \right];$$

$$E_r(r) = E_{rm} + E_{ra} \left[\frac{\pi}{\delta} r - \frac{\left(\frac{\pi}{\delta} r\right)^3}{3!} + \frac{\left(\frac{\pi}{\delta} r\right)^5}{5!} - \dots \right].$$

Аналогично для других постоянных упругости:

$$\mu_{rt}(r) = \mu_{rm} + \mu_{ra} \left[\frac{\pi}{\delta} r - \frac{\left(\frac{\pi}{\delta} r\right)^3}{3!} + \frac{\left(\frac{\pi}{\delta} r\right)^5}{5!} - \dots \right];$$

$$\mu_{zr}(r) = \mu_{zrm} + \mu_{zra} \left[\frac{\pi}{\delta} r - \frac{\left(\frac{\pi}{\delta} r\right)^3}{3!} + \frac{\left(\frac{\pi}{\delta} r\right)^5}{5!} - \dots \right];$$

$$\mu_{zt}(r) = \mu_{ztm} + \mu_{zta} \left[\frac{\pi}{\delta} r - \frac{\left(\frac{\pi}{\delta} r\right)^3}{3!} + \frac{\left(\frac{\pi}{\delta} r\right)^5}{5!} - \dots \right].$$

С учетом этих функций можно вычислить коэффициенты деформации

$$a_{11} = \alpha_{11} r^{-n} = \frac{1}{E_r} = \frac{1}{E_{rm} + E_{ra} \left[\frac{\pi}{\delta} r - \frac{\left(\frac{\pi}{\delta} r\right)^3}{3!} + \frac{\left(\frac{\pi}{\delta} r\right)^5}{5!} - \dots \right]};$$

$$a_{33} = \alpha_{33} r^{-n} = \frac{1}{E_z} = \frac{1}{E_{zm} + E_{za} \left[\frac{\pi}{\delta} r - \frac{\left(\frac{\pi}{\delta} r\right)^3}{3!} + \frac{\left(\frac{\pi}{\delta} r\right)^5}{5!} - \dots \right]};$$

а также их значения при соответствующих степенях r и множителях α_{ij} по (5).

В соответствии с уравнением (4) получены четыре дифференциальных уравнения (при $n = 0, 1, 3, 5$) и их общие решения вида (6), позволяющие определить компоненты напряжений при каждом n из известных дифференциальных соотношений:

$$\sigma_r = \frac{1}{r} \frac{\partial F}{\partial r} + \frac{1}{r^2} \frac{\partial^2 F}{\partial \Theta^2} = \sum_0^n \lambda_n C_{1n} r^{\lambda_n - 2} +$$

$$+ k_n C_{2n} r^{k_n - 2} + (1+n) C_{3n} r^{n-1} + C_{4n} \frac{1}{r} + B \ell_n (n+2)(n+3) r^{n+1} \sin \Theta +$$

$$+ \left[-C_{1n} r^{\lambda_n - 2} - C_{2n} r^{k_n - 2} - C_{3n} r^{n-1} - C_{4n} \frac{1}{r} - B \ell_n (n+2) r^{n+1} \right] \sin \Theta \quad ;$$

$$\sigma_t = \frac{\partial^2 F}{\partial r^2} = \sum_0^n \lambda_n (\lambda_n - 1) C_{1n} r^{\lambda_n - 2} + k_n (k_n - 1) C_{2n} r^{k_n - 2} +$$

$$+ (n+1) n C_{3n} r^{n-1} + B \ell_n (n+2)(n+3)(n+2) r^{n+1} \sin \Theta;$$

$$\begin{aligned} \sigma_z = \mu_{zr} \sigma_r + \mu_{zt} \sigma_t = \mu_{zrm} + \mu_{zra} & \left[\frac{\pi}{\delta} r - \frac{\left(\frac{\pi}{\delta} r\right)^3}{3!} + \frac{\left(\frac{\pi}{\delta} r\right)^5}{5!} - \dots \right] \sigma_r + \\ & + \mu_{zrm} + \mu_{zra} \left[\frac{\pi}{\delta} r - \frac{\left(\frac{\pi}{\delta} r\right)^3}{3!} + \frac{\left(\frac{\pi}{\delta} r\right)^5}{5!} - \dots \right] \sigma_t; \\ \tau_{rt} = -\frac{1}{r} \frac{\partial^2 F}{\partial r \partial \Theta} + \frac{1}{r^2} \frac{\partial^2 F}{\partial \Theta^2} = \sum_0^n & \left[C_{1n} r^{\lambda_n - 2} - C_{2n} r^{k_n - 2} - C_{3n} r^{n-1} - C_{4n} \frac{1}{r} - \right. \\ & - B \ell_n \cdot (n+2) r^{n+1} \sin \Theta - \sum_0^n \left[\lambda_n C_{1n} r^{\lambda_n - 2} + k_n C_{2n} r^{k_n - 2} + \right. \\ & \left. \left. + (1+n) C_{3n} r^{n-1} + C_{4n} \frac{1}{r} + B \ell_n (n+2)(n+3) r^{n+1} \cos \Theta. \right. \right. \end{aligned}$$

В центре сечения круглого сортимента располагается сердцевинная трубка (рис. 2). Принимаем диаметр сердцевинной трубки равным $2a$.

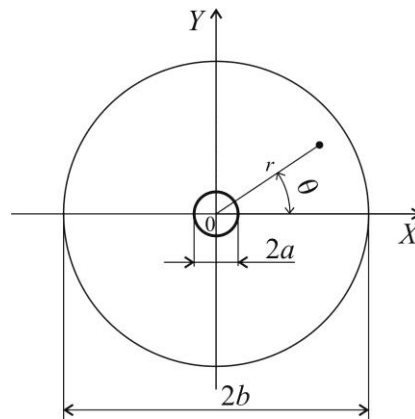


Рис. 2. Схема поперечного сечения круглого сортимента

Тогда имеем начальные и граничные условия для определения постоянных интегрирования:

$$\begin{aligned} r = a; \tau_{rt} = 0; \sigma_r = 0; \\ r = b; \tau_{rt} = 0; \sigma_r = 0. \end{aligned}$$

Постоянная интегрирования В из уравнения (6) определяется из условия на торце:

$$M = \sum_0^n \int_0^{2\pi} \int_a^b \sigma_z^{(n)} \sin \Theta r^2 dr d\Theta,$$

где суммируются интегралы для функций с показателями степени $n = 0, 1, 3, 5$.

Полученное решение позволит проводить исследования напряженного состояния элементов с кольцевой структурой при изгибе с учетом неоднородности древесины в пределах годичных слоев.

Поступила 17.09.13

УДК 694.093.6:413.82

Plane Strain when Bending Round Cylindrical Anisotropic Heterogeneous Orthotropic Timber

V.I. Melekhov¹, Doctor of Engineering, Professor

V.N. Glukhikh², Doctor of Engineering, Professor

V.E. Byzov³, Candidate of Engineering, Associate Professor

¹Northern (Arctic) Federal University named after M.V. Lomonosov, Naberezhnaya Severnoy Dviny, 17, Arkhangelsk, 163002, Russia, e-mail: lti@narfu.ru

²Saint Petersburg State Forest Technical University named after S.M. Kirov, Institutskiy per, 5, Saint Petersburg, 194021, Russia, e-mail: public@ftacademy.ru

³Saint-Petersburg State University of Architecture and Civil Engineering, 2-d Krasnoarmeiskaya, 4, Saint Peterburg, 190005, Russia, e-mail: mapana@inbox.ru

It is presented the output from the calculation formulas of strength and deformation indicators by bending of constructing plank timber with ring macrostructure considering the heterogeneity of wood within the annual rings. Wood in the trunk of a growing tree is a circular structure of the annual rings. In each annual ring are autumn-wood and summer-wood. Autumn-wood is denser, heavier and harder than summer-wood. From the amount of the autumn-wood depend color, density and durability of wood. The ring structure of wood contributes to the enhancement of its strength. In constructing plank timber, from which elements of building bearing structure are made, is advisably to retain the maximum of whole annual rings. It is possible when using of constructing plank timber with large sections with the presence of the boon. The purpose of the work is the solution of the problem of calculating the strength characteristics of constructing plank timber with wood macrostructure of which represents a system of coaxially beaded thin-walled shells to each other, simulated the annual rings of wood. To solve this problem is obtained the method of calculation of strength and deformation indicators of logs with an annular structure. By the carrying out of the researches of wood strength properties it is often considered as a homogeneous material, which does not take into account properties of autumn-wood and summer-wood annual rings. Actually wood is non-uniform material and heterogeneity of its apparent in variability

of the properties in the radial direction, which is its natural feature. Frequency of changes in the properties based on the autumn-wood and summer-wood of annual rings is observed. To simplify the task was adopted the same width of both the annual ring zones. On the basis of these provisions were developed methods for calculating the strength and deformation indicators of logs with an annular structure. The periodicity of changing properties based on the autumn-wood and summer-wood of annual rings is considered. The solution will enable studies of stressed state of the building structure elements with annular structure by bending considering the heterogeneity of wood within the annual rings.

Keywords: round anisotropic cylindrical log, annual ring, strength and deformability indicators.

УДК 674.684.05

ВЛИЯНИЕ СОДЕРЖАНИЯ КАНИФОЛИ В МАСЛАХ НА ЭКСПЛУАТАЦИОННЫЕ СВОЙСТВА ПОКРЫТИЙ ДРЕВЕСИНЫ

© *Л.А. Яремчук, канд. техн. наук, доц.*

Национальный лесотехнический университет Украины, ул. Чупрынки, 103, г. Львов, Украина, 79057; e-mail: tf_nltu@ukr.net

При отделке изделий из древесины важной задачей является правильный выбор лакокрасочных материалов. Современный рынок лакокрасочной продукции предлагает потребителям широкий ассортимент материалов. В современных условиях предъявляются не только высокие требования к физико-механическим и декоративным показателям продукции, но также к ее экологической безопасности. К предлагаемым предприятиями Украины и зарубежья экологически безопасным лакокрасочным материалам (водорастворимым и с минимальным содержанием органического растворителя) прибавились масляные композиции. Однако они долго сохнут (более 24 ч) и создают защитную пленку пониженной твердости. Для сокращения времени пленкообразования масляных лакокрасочных материалов и увеличения твердости защитно-декоративных покрытий на их основе необходимо модифицировать композиции. Наиболее распространенными модификаторами для масляных материалов являются сиккативы, которые сокращают время пленкообразования, но твердость покрытия повышают незначительно. Предложено вводить в масляные композиции модификатор на основе канифоли. Определено количественное содержание модификаторов в масляных материалах для отделки древесины. Исследовано влияние содержания модификаторов на сокращение времени высыхания и повышение твердости масляных композиций. По результатам экспериментальных исследований установлено, что при введении канифоли и сиккатива сокращается время пленкообразования и увеличивается твердость защитно-декоративного покрытия древесины. В качестве модификатора канифоль улучшает качественные показатели лакокрасочных материалов на основе масел.

Ключевые слова: древесина, масло, модификация, канифоль, сиккатив, твердость, сушка.

При производстве мебели, столярных изделий, деревянных домов и других изделий из древесины от защитно-декоративных покрытий зависит качество и долговечность продукции. Качество, в свою очередь, зависит от вида лакокрасочного материала (ЛКМ), его происхождения и производителя. На сегодняшний день украинские производители изделий из древесины в основном используют импортные органорастворимые ЛКМ, которые выделяют в окружающую среду вредные летучие органические соединения.

Однако европейские производители деревообрабатывающей продукции в качестве отделочных материалов стали активно использовать ЛКМ на основе высыхающих масел фирм «Bona», «Akzo Nobel», «Notle», «Polimen» и др. Это экологически безопасные, стойкие к негативному атмосферному влия-

нию, а также хорошо пропитывающие древесину материалы создаются на основе таллового, тунгового, периллового масел.

На сегодняшний день отделочные композиции на основе высыхающих масел исследованы мало. Украина имеет достаточно возобновляемых сырьевых ресурсов для изготовления ЛКМ на основе высыхающих масел. Поэтому проведение исследований для решения задачи качественной и экологически безопасной отделки древесины и древесных материалов на основе отечественного масла из возобновляемого сырья является актуальной проблемой.

Натуральные масла можно отнести к группе экологически безопасных отделочных материалов, однако по ряду причин их применяют довольно редко: длительность сушки покрытий, заниженная твердость защитно-декоративной пленки и значительное впитывание материала в подложку.

В состав растительных масел входят жирные кислоты, которые имеют парное число атомов углерода. Они могут быть насыщенными и ненасыщенными. Последние имеют одну (олеиновая), две (линолевая), три (линоленовая) двойные связи в молекуле. Присутствие ненасыщенных кислот дает возможность маслам отверждаться на воздухе в результате окисления и полимеризации с созданием пространственной структуры молекул. В зависимости от того или иного типа кислот могут меняться свойства масел, а именно: способность к химическим превращениям, в результате которых образуется твердая пленка [3, 5].

Среди известных высыхающих масел наибольшее распространение получили тунговое, талловое и льняное масла.

Для отделки изделий, особенно мебели, в Украине наибольшее предпочтение отдается льняному маслу и материалам на его основе. Однако при всех преимуществах этого масла как отделочного ЛКМ, оно имеет ряд недостатков – длительность пленкообразования (высыхания) и низкая твердость покрытия. Улучшить качественные характеристики масел можно введением в их состав модификаторов – сиккативов, воска, канифоли. Исследование влияния канифоли как модификатора для льняного масла является целью данной работы.

Задачи исследования

С учетом анализа показателей физико-механических свойств защитно-декоративных покрытий, приведенных в литературных источниках, и с учетом вида модификатора масляной композиции установлена необходимость экспериментального исследования, в ходе которого планировалось получить основные показатели физико-механических свойств отделочных пленок в зависимости от вида пленкообразователя, модификаторов, их содержания и температуры сушки покрытия. Так как твердость является одним из важнейших показателей, характеризующих защитные свойства покрытия, то для достижения поставленных задач необходимо изучить влияние

модификаторов на твердость пленки. Кроме того, твердость характеризует степень отверждения покрытия и является функцией времени, израсходованного на высушивание лакокрасочного материала.

В ходе эксперимента были определены время высыхания защитно-декоративных пленок на разных породах древесины и твердость покрытий в зависимости от количества введенного модификатора.

Используемые материалы:

образцы древесины сосны, бука, дуба (размер 40×30×8 мм, шероховатость 16 мкм, относительная влажность 8...12 %);

олифа льняная (ГОСТ 7931–76);

олифа конопляная сырая (ГОСТ 8989–73);

канифоль сосново-живичная (ГОСТ 19113–84);

сиккативы: олово (ДСТУ EN 611-2:2004) и хлорид марганца $MnCl_2$ (chloridetetrahydrate CAS No: 13446-34-9).

Время высыхания пленки определяли по стабилизации веса нанесенного на поверхность образца покрытия.

Для этого на испытуемый образец наносили масляную композицию, после чего его взвешивали, определяли массу покрытия и помещали в сушильную камеру или вытяжной шкаф. Высохшие покрытия взвешивали до стабилизации массы.

Для определения твердости покрытия по ГОСТ 5233–67 использовали маятниковый твердомер М-3.

Твердость H выражали в условных единицах (у. е.) от 0,1 до 1,0 (1,0 – твердость эталона) и вычисляли по формуле

$$H = \tau/\tau_1, \quad (1)$$

где τ , τ_1 – продолжительность колебаний маятника на покрытии и на стеклянной пластинке (эталон – стеклянное число = 441 ± 5), с;

Результаты и их обсуждение

При проведении предварительных экспериментов было установлено, что время высыхания полимеризованных масел (олиф) составляет более 24 ч. Для ускорения процесса полимеризации масла необходимо модифицировать. В качестве модификаторов были выбраны сиккативы и сосново-живичная канифоль. После предварительных экспериментов было определено количество модификатора:

сиккатив – 1...3 %;

канифоль – 2...6 массовых частей (м. ч).

Результаты эксперимента при температуре 50 °С представлены в табл. 1.

Таблица 1

**Зависимость времени высыхания покрытий на дубовых образцах
от содержания модификаторов в льняной олифе**

Содержание модификатора		Время высыхания, мин, покрытия на образце			
Канифоль, м. ч.	Сиккатив, %	1	2	3	4
2	1	184	192	178	195
	2	174	175	183	168
	3	139	121	123	134
4	1	161	154	170	165
	2	154	160	150	154
	3	127	139	141	129
6	1	222	218	225	217
	2	198	205	205	210
	3	178	182	188	192

Данные табл. 1 показывают, что образцы с покрытием на основе модифицированного льняного масла быстрее высыхают при минимальном содержании канифоли и максимальном содержании сиккатива. Увеличение содержания канифоли до 6 м. ч. не сокращает время высыхания пленки покрытия при температуре 50 °С, близкой к температуре плавления канифоли 55...60 °С.

Следует отметить, что увеличение сиккатива в масляной композиции до 3% также негативно влияет на время высыхания пленки, как и при содержании канифоли более 4 м. ч.

На основании экспериментов можно сделать вывод, что для снижения времени высыхания пленки содержание канифоли в льняном масле не должно превышать 2 м. ч.

Для проведения исследований с конопляным маслом его предварительно полимеризовали при температуре 300 °С без доступа воздуха. После полимеризации в полученную олифу добавляли 1 % сиккатива и 2 м. ч канифоли. Отверждение покрытия из модифицированной сиккативом и канифолью конопляной олифы происходило при температуре 20, 50 и 80 °С при расходе отделочного материала 80, 100 и 120 г/м² на подложках из разной древесины.

Результаты высыхания защитно-декоративного покрытия на основе конопляной олифы, представленные в табл. 2, свидетельствуют, что существенное сокращение времени высыхания покрытия из модифицированной конопляной олифы наблюдается при температуре сушки не выше 50...80 °С и расходе материала 80...100 г/м² [1, 2].

Для определения твердости образцы покрытия на основе модифицированных масел наносили на стеклянную подложку. Расход отделочного материала 80, 100, 120 г/м². Так как льняное масло наиболее распространено для отделки древесины, его модификация может представлять интерес для

Таблица 2

**Зависимость времени высыхания покрытий на различных образцах
от температуры сушки и расхода модифицированной конопляной олифы**

Температура, °С	Расход, г/м ²	Время высыхания покрытого образца, мин		
		Дуб	Бук	Сосна
20	80	1520	1513	
	100	1542	1525	1465
	120	1564	1538	1485
50	80	65	66	32
	100	75	71	36
	120	89	80	39
80	80	71	73	37
	100	78	81	43
	120	92	86	49

производителей мебельной и деревообрабатывающей продукции. Поэтому на модифицированном льняном масле были исследованы разные виды сиккативов для установления их влияния на твердость покрытия.

В качестве модификаторов использовали сиккативы, которые вводили в масляные композиции в количестве 2 %. Предварительно масла были модифицированы канифолью. Защитно-декоративные покрытия сушили при температуре (50±5) °С в сушильном шкафу и определяли их твердость маятниковым твердомером М-3. Результаты исследований представлены в табл. 3.

Таблица 3

Зависимость твердости покрытий от расхода модифицированных масел

Композиция	Расход, г/м ²	Условная твердость образцов, у. о.			Среднее значение твердости, у. о.	Твердость покрытия, у. о.
		1	2	3		
Льняная олифа	80	72	72	74	72,7	0,1648
	100	52	52	52	52,0	0,1179
	120	38	39	39	38,7	0,0877
Льняная олифа + MnCl ₂	80	101	105	105	103,7	0,2351
	100	101	103	104	102,7	0,2328
	120	94	94	96	94,7	0,2147
Льняная олифа + олово	80	189	191	187	189,0	0,4286
	100	181	179	182	180,7	0,4097
	120	156	162	164	160,7	0,3643
Льняная олифа + N64	80	124	124	119	122,3	0,2774
	100	113	115	116	114,7	0,2600
	120	104	104	102	103,3	0,2343
Конопляная олифа + N64	80	105	104	107	105,3	0,2389
	100	101	104	99	101,3	0,2298
	97	97	98	164	119,7	0,2714

Примечание. Стеклоное число – (441±5) с.

Результаты эксперимента показали, что при использовании металлического олова в качестве сиккатива для льняного масла твердость полученной пленки значительно повышается.

Однако следует отметить, что при введении того же сиккатива в не модифицированное канифолью масло после высыхания покрытия образуется мягкая пленка, т. е. модифицирование льняного масла повышает показатели физико-механических свойств защитно-декоративной пленки древесины [4].

Выводы

Экспериментальные исследования, проведенные в целях повышения эксплуатационных характеристик защитно-декоративных покрытий на основе масляных ЛКМ, показали, что наиболее эффективным для сокращения времени высыхания пленки и повышения ее твердости является совместное применение таких модификаторов, как канифоль и металлическое олово.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. ГОСТ 19007–73. Материалы лакокрасочные. Метод определения времени и степени высыхания. М.: Изд-во стандартов, 2003. 6 с.
2. ГОСТ 7931–76. Олифа натуральная. Технические условия. М.: Изд-во стандартов, 1989. 8 с.
3. *Карякина М.И., Попцов В.Е.* Технология полимерных покрытий. М.: Химия, 1983. 336 с.
4. *Ливщиц Р.М., Домбровский Л.А.* Заменители растительных масел в лакокрасочной промышленности. М.: Химия, 1987. 160 с.
5. *Орлова О.В., Фомичева Т.Н.* Технология лаков и красок. М.: Химия, 1990. 384 с.

Поступила 09.12.13

УДК 674.684.05

The Effect of Rosin Content on the Running Ability of Oil-Based Coating Materials

L.A. Yaremchuk, Candidate of Engineering, Associate Professor
Ukrainian National Forestry University, Chuprynki, 103, Lvov, 79057, Ukraine,
e-mail: tf_nltu@ukr.net

The right selection of paint-and-lacquer materials is an important task for manufacturers in the process of wood finishing. Modern market of paint-and-lacquer products has a wide assortment of materials. Present conditions of quality products demand not only top-notch physical, mechanical and decorative properties, but also ecological or environmentally-friendly properties. Recently, in addition to the water-soluble and with minimum percentage organic solvent paint-and-lacquer materials, local and foreign companies began to offer oil composite materials. It is known that their drying is time consuming (over 24 hours) and their protective film has reduced hardness. In order to reduce the film-forming time in oil paint-and-lacquer materials and increase the hardness of protective-decorative coatings, it is

needed to create modified oil-based composite materials. The most prevailing modifiers for oil paint-and-lacquer materials are desiccants. Desiccants reduce the film-forming time, but don't significantly improve the hardness of a coating. A rosin-based modifier is proposed to be incorporated into oil composites with the purpose of coating hardness improvement. Quantitative content of modifiers in oil materials for wood finishing has been determined. The study of impacts of modifier content on reduction in drying time and increase of hardness of oil composite materials is proposed. The results of experimental study of impacts of modifiers on the drying of oil composite coatings show that incorporation of a rosin and a desiccant leads to shorter film-forming time and increase the hardness of protective and decorative wood coating. A rosin, as a modifier improves qualitative indicators of oil-based paint-and-lacquer materials.

Keywords: wood, oil, modification, rosin, desiccant, hardness, drying.

REFERENCES

1. *GOST 19007-73 Materialy lakokrasochnye. Metod opredeleniya vremeni i stepeni vysykhaniya* [State Standard 19007-73. Paintwork Materials. Method of Determining of the Time and the Degree of Drying].
 2. *GOST 7931-76 Olifa natural'naya. Tekhnicheskie usloviya* [State Standard 7931-76. Natural Drying Oil. Technical Conditions].
 3. Karyakina M.I., Poptsov V.E. *Tekhnologiya polimernykh pokrytiy* [Technology of Polymeric Coatings]. Moscow, 1983. 336 p.
 4. Livshchits R.M., Dombrovskiy L.A. *Zameniteli rastitel'nykh masel v lakokrasochnoy promyshlennosti* [Substitutes of Vegetable Oils in the Paint and Varnish Industry]. Moscow, 1987. 160 p.
 5. Orlova O.V., Fomicheva T.N. *Tekhnologiya lakov i krasok* [Technology of Varnishes and Paints]. Moscow, 1990. 384 p.
-

УДК 621.311

**ЭНЕРГЕТИЧЕСКИЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ ПОТОЧНОЙ ЛИНИИ
ПРОИЗВОДСТВА ПИЛОПРОДУКЦИИ**

© С.П. Агеев, д-р техн. наук, доц.

Северный (Арктический) федеральный университет имени М.В. Ломоносова,
наб. Северной Двины, 17, г. Архангельск, 163002; e-mail: doctor.mart11@mail.ru

Известно, что характер потребления электроэнергии производством в целом определяется характером ее потребления отдельными механизмами. Процесс получения пиломатериалов в лесопильном цехе осуществляется на отдельных поточных линиях, поэтому потребление энергии цехом в целом определяется как сумма расходов электроэнергии отдельными линиями. В целях снижения потребления и повышения эффективности использования электроэнергии прежде всего необходимо обеспечить работу поточных линий в энергетически эффективных режимах. Эта задача может быть решена с помощью анализа зависимости потребления энергии линией от различных факторов, изменяющихся в процессе получения пиломатериалов. Целью настоящей статьи явилось построение энергетических характеристик поточной линии пиломатериалов как энергетических характеристик группы механизмов, входящих в состав линии и связанных между собой единым технологическим процессом. Работа поточных линий связана с воздействием на них различных случайных факторов, поэтому энергетические характеристики имеют неоднозначный характер зависимости от технологических факторов и должны быть получены как корреляционные связи. Для их построения поточная линия представлена в виде многофазовой системы массового обслуживания, для которой использован метод имитационного моделирования протекания технологического и энергетического процессов. На основании исследований разработана имитационная модель технологического процесса лесопиления с учетом случайных факторов. Для технологического потока лесопиления получены энергетические характеристики как корреляционные связи, позволяющие оценить основные параметры энергопотребления в зависимости от производительности потока. Наличие энергетических характеристик позволит более качественно подходить к вопросу планирования удельных расходов энергии по каждому типоразмеру сортиментов и производству в целом. Установлено, что энергетические характеристики основных показателей электропотребления поточной линии носят нелинейный характер. Показано, что процесс моделирования и получения энергетических характеристик можно упростить, если учесть, что в общем энергопотреблении поточной линии более 92 % приходится на долю энергоемких механизмов: одного окорочного станка, двух лесопильных рам и двух обрезающих станков. Поэтому анализ энергопотребления поточной линии, определение наиболее рациональных режимов ее работы со сравнительно высокой степенью точности удобно и целесообразно проводить по упрощенным энергетическим характеристикам, не искажая при этом реально существующие закономерности этого потребления, и по значительно меньшему числу исходных данных.

Ключевые слова: поточная линия производства пилопродукции, производительность, потребляемая мощность, удельный расход электроэнергии, система массового обслуживания, имитационная модель.

Вопросы рационального использования энергетических ресурсов приобретают в настоящее время все большее значение. Лесопиление является основным в механической обработке древесины и представляет собой сложный энергоемкий процесс. Иногда энергозатраты на производство пилопродукции необоснованно завышены и могут существенно отличаться от нормативных, что во многом определяется несогласованностью энергетических свойств оборудования с технологическими операциями. Следует отметить, что большая часть (до 82...86 %) пиломатериалов вырабатывается с применением лесопильных рам, существенно меньшая – с использованием фрезерно-пильных агрегатов, круглопильных и ленточнопильных станков.

Проблема повышения энергоэффективности лесопильного производства может быть решена при комплексном рассмотрении и оптимизации технологической и энергетической составляющих процесса. Следует отметить, что такие исследования практически не выполнялись, поэтому целенаправленное научно обоснованное изучение этой проблемы является актуальным.

Как известно, характер потребления электроэнергии производством в целом определяется характером ее потребления отдельными механизмами. Так как получение пиломатериалов в лесопильном цехе осуществляется на отдельных поточных линиях, поэтому потребление энергии цехом в целом определяется как сумма расходов электроэнергии отдельными линиями. В связи с этим для снижения потребления и повышения эффективности использования электроэнергии прежде всего необходимо обеспечить работу поточных линий в энергетически эффективных режимах. Эта задача может быть решена на основе анализа зависимостей потребления энергии линией от различных факторов, изменяющихся в процессе получения пиломатериалов [8].

Основными зависимостями, необходимыми для выполнения указанного анализа, являются энергетические характеристики. К ним относятся зависимости потребляемой всеми механизмами поточной линии среднечасовой мощности P_0 , и удельного расхода энергии d_0 от производительности A_0 поточной линии по объему распиленного сырья. Так как работа поточных линий связана с воздействием на них различных случайных факторов, то указанные характеристики не могут носить однозначный характер и должны быть получены как корреляционные связи.

Научная новизна предлагаемой методики состоит в том, что для получения корреляционных связей поточная линия представляется как система массового обслуживания (СМО), для которой разработана имитационная модель процесса лесопиления с учетом случайных факторов.

Наиболее энергоемкими потребителями поточной линии являются лесопильные рамы (ЛР), поэтому именно они определяют характер энергопотребления. Ранее аналитическим путем были получены нормовые энергетические характеристики ЛР [6, 7]. Там же было показано, что их производительность A_0 подвергается изменениям как под влиянием колебаний нагрузки (пе-

ременный объем бревен), так и продолжительности вспомогательного времени.

Поточная линия, кроме ЛР, включает в себя и другие станки, производительность которых также меняется от цикла к циклу [2, 5]. Поэтому зависимость энергетических показателей линии от ее производительности не может носить однозначный характер и должна рассматриваться как стохастическая. В связи с этим нормовые энергетические характеристики $P_0(A_0)$ и $d_0(A_0)$ поточной линии должны выводиться как корреляционные связи.

Метод получения энергетических характеристик поточной линии пиломатериалов заключается в том, что они рассматриваются как энергетические характеристики группы механизмов, входящих в линию и связанных между собой единым технологическим процессом. Эти характеристики могут быть построены одним из следующих способов:

по экспериментальным данным, полученным в реальных условиях лесопильного производства;

с помощью имитационного моделирования режима электропотребления поточной линии.

В условиях лесопильного производства получение энергетических характеристик поточной линии представляет собой сравнительно длительный и трудоемкий процесс, поскольку для этого требуются экспериментальные данные о потребляемой энергии и времени холостых ходов отдельно по каждому из технологических механизмов линии. Для этого необходимы установка большого числа измерительных приборов, которые в условиях лесопильного производства обычно отсутствуют, соответствующий персонал и значительное время.

В настоящей работе принят второй способ. Это обусловлено следующими условиями. В лесопильном производстве изучаемые связи отдельных технологических процессов, а также процессов управления довольно сложны, носят стохастический характер, и выявить их при помощи обычных математических методов практически невозможно [12].

Рассмотрение технологической схемы лесопильного производства показывает, что оно по своей структуре может быть представлено как СМО [10]. На вход такой системы поступает поток пиловочного сырья, а на выходе образуется поток пиломатериалов. При этом отдельные технологические операции процесса образуют фазы СМО, что позволяет рассматривать лесопильное производство как многофазную СМО (рис. 1): первая фаза обслуживания – окорка бревен, входящий поток требований которой является потоком Эрланга; вторая фаза – распиловка бревен на лесопильных рамах 1-го ряда, входящий и выходящий потоки этой фазы также аппроксимируются потоками Эрланга; третья фаза – распиловка брусьев на лесопильных рамах 2-го ряда; четвертая фаза – обрезка досок.

Разработка имитационной модели функционирования технологического процесса лесопиления выполнена в несколько этапов [11]. Первым этапом



Рис. 1. Сетевая модель поточной линии производства пиломатериалов (λ_{1-5} – интенсивность входящего потока требований на соответствующих участках; m – допустимое количество требований, находящихся в очереди на обслуживании (обработке); μ_{1-5} – интенсивность обработки требований)

является составление содержательного описания процесса, которое концентрирует сведения о физической природе и количественных характеристиках отдельных операций, о характере и степени взаимодействия между ними, вторым – построение формализованной схемы функционирования процесса, третьим – преобразование формализованного описания технологического процесса в его имитационную модель.

Содержательное описание технологического процесса. Аналитическое описание работы поточной линии производства пиломатериалов как СМО сложной структуры представляется труднорешаемой задачей. В связи с этим весь процесс целесообразно моделировать, регистрируя прохождение каждого требования (бревно, брус, доска) на всех стадиях обработки.

В формализованной схеме описания технологического процесса отмечены характеристики процесса (УРЭ за эффективное и операционное время интервала выпуска продукции), установлены параметры режима работы основного энергоёмкого оборудования (скорости подачи, коэффициенты энергоёмкости), определены исходные данные (параметры и законы распределения случайных величин, постав распиловки). При этом последовательно регистрировалось прохождение во времени через поточную линию каждого требования, а также определялось энергопотребление на всех участках лесопильного потока. В условиях лесопильного производства на протекание операций технологического процесса оказывают влияние случайные факторы. Для их математического описания использованы следующие вероятностные схемы: случайные величины и случайные процессы [1, 3, 4, 9].

Имитационная модель представляет собой систему соотношений, определяющих зависимость характеристик процесса от его параметров и времени.

В качестве входных переменных приняты:

вектор-функция суммарных объемов обрабатываемого материала

$$\bar{Z} = (Z_{бр}; Z_{бс}; Z_{д}),$$

где $Z_{бр}$, $Z_{бс}$, $Z_{д}$ – соответственно суммарные объемы бревен, брусьев и досок, м^3 ;

вектор-функция скоростей подачи

$$\bar{u} = (u_1; u_2; u_3; u_4),$$

где u_1 , u_2 , u_3 , u_4 – соответственно скорости подачи окорочного станка, лесопильных рам 1- и 2-го рядов, обрезных станков, м/с;

вектор-функция суммарных продолжительностей межторцовых разрывов

$$\bar{T}_в = (T_{в1}; T_{в2}; T_{в3}; T_{в4});$$

среднечасовая производительность $A_o(t)$ поточной линии по объему распиленного сырья за суммарное операционное время T_o ;

общий объем электроэнергии $W_o(t)$ на технологические операции за время T_o .

Математическую модель технологического процесса лесопиления представим в виде соотношения

$$d_o(t) = f_1(t, \bar{Z}, \bar{u}, \bar{T}_в, A_o, W_o).$$

Получение модели такого вида, когда выходная характеристика технологического процесса является явной функцией его входных переменных и времени, оказывается трудоемким процессом, а модель весьма громоздкой. Поэтому для решения поставленной задачи технологический процесс лесопиления разделен на ряд отдельных операций (окорка (ок), распиловка бревен (рас 1) и брусьев (рас 2), обрезка (обр) досок).

Характеристики и параметры операций связаны следующими соотношениями:

$$\begin{aligned} \tau_{ок} &= L/u_1; \tau_{рас1} = L/u_2; \tau_{рас2} = L/u_3; \tau_{обр} = L/u_4; \\ A_{\text{э}1} &= V_{бр}/\tau_{ок}; A_{\text{э}2} = V_{бр}/\tau_{рас1}; A_{\text{э}3} = V_{бс}/\tau_{рас2}; A_{\text{э}4} = V_{д}/\tau_{обр}; \\ P_{\text{э}1} &= c_{д1} \sqrt{A_{\text{э}1}} + P_{д.пост1}; P_{\text{э}2} = c_{д2} \sqrt{A_{\text{э}2}} + P_{д.пост2}; \\ P_{\text{э}3} &= c_{д3} \sqrt{A_{\text{э}3}} + P_{д.пост3}; P_{\text{э}4} = c_{д4} A_{\text{э}4} + P_{д.пост4}; \\ w_{ок} &= P_{\text{э}1} \tau_{ок}; w_{рас1} = P_{\text{э}2} \tau_{рас1}; w_{рас2} = P_{\text{э}3} \tau_{рас2}; w_{обр} = P_{\text{э}4} \tau_{обр}, \end{aligned} \quad (1)$$

где $\tau_{ок}$, $\tau_{рас1}$, $\tau_{рас2}$, $\tau_{обр}$ – время обработки одного требования на данном станке, с;

L – длина бревна, м;

$V_{бр}$, $V_{бс}$, $V_{д}$ – объемы бревна, бруса и доски соответственно, м^3 ;

$P_{\text{э}1}$ и др. – среднечасовая потребляемая мощность станками с 1-го по 4-й, кВт;

$P_{д.пост1}$ и др. – постоянная составляющая потребляемой мощности двигателя, кВт;

$c_{д1}$ и др. – коэффициент энергоёмкости электропривода механизма, кДж/(м^{1,5} · ч^{0,5});

$W_{ок}, W_{рас1}, W_{рас2}, W_{обр}$ – потребляемая электроэнергия за время одного цикла, кВт·ч.

Суммарные характеристики технологического процесса связаны с характеристиками отдельных операций следующими соотношениями:

$$\begin{aligned}
 T_{э1} &= \sum_{i=1}^N \tau_{ок}^{(i)}; T_{э2} = \sum_{i=1}^N \tau_{рас1}^{(i)}; T_{э3} = \sum_{i=1}^N \tau_{рас2}^{(i)}; T_{э4} = \sum_{i=1}^M \tau_{обр}^{(i)}; \\
 T_{в1} &= \sum_{i=1}^{N-1} \tau_{в1}^{(i)}; T_{в2} = \sum_{i=1}^{N-1} \tau_{в2}^{(i)}; T_{в3} = \sum_{i=1}^{N-1} \tau_{в3}^{(i)}; T_{в4} = \sum_{i=1}^{M-1} \tau_{в4}^{(i)}; \\
 T_{э} &= T_{э1} + T_{э2} + T_{э3} + T_{э4}; T_{в} = T_{в1} + T_{в2} + T_{в3} + T_{в4}; \\
 W_{э1} &= \sum_{i=1}^N w_{ок}^{(i)}; W_{э2} = \sum_{i=1}^N w_{рас1}^{(i)}; W_{э3} = \sum_{i=1}^N w_{рас2}^{(i)}; W_{э4} = \sum_{i=1}^M w_{обр}^{(i)}; \\
 W_{в1} &= P_{д.пост1} T_{в1}; W_{в2} = P_{д.пост2} T_{в2}; W_{в3} = P_{д.пост3} T_{в3}; W_{в4} = P_{д.пост4} T_{в4}; \\
 W_{э} &= W_{э1} + W_{э2} + W_{э3} + W_{э4}; W_{в} = W_{в1} + W_{в2} + W_{в3} + W_{в4},
 \end{aligned} \tag{2}$$

где $T_{э1}$ и др. – эффективное суммарное время отработки требований, с;

$T_{в1}$ и др. – суммарное вспомогательное время, с;

$W_{э1}$ и др. – суммарное количество электроэнергии, потребляемой за эффективное время, кВт·ч;

$W_{в1}$ и др. – суммарное количество электроэнергии, потребляемой за вспомогательное время, кВт·ч.

Тогда характеристики процесса

$$d_o = \frac{W_o}{Z_{бб}} = \frac{W_{э} + W_{в}}{Z_{бб}}; \quad A_o = \frac{Z_{бб}}{T_o}. \tag{3}$$

Соотношения (1) – (3) представляют собой имитационную модель процесса лесопиления.

По итогам статистической обработки результатов моделирования получены энергетические характеристики $d_o(A_o)$ и $P_o(A_o)$ поточной линии пиломатериалов как корреляционные связи.

Процесс моделирования и получения энергетических характеристик можно упростить, если учесть, что в общем энергопотреблении поточной линии более 92 % приходится на долю энергоёмких механизмов: одного окорочного станка, двух лесопильных рамы и двух обрезных станков. Поэтому анализ энергопотребления поточной линии, определение наиболее рациональных режимов ее работы со сравнительно высокой степенью точности удобно и целесообразно проводить по упрощенным энергетическим характеристикам $P_{ос}(A_o)$ и $d_{ос}(A_o)$, которые характеризуют потребление энергии поточной линией как суммарное энергопотребление только станками и лесопильными рамами (индекс «э» означает «энергоёмкий»). Применение энергетических характеристик $P_{ос}(A_o)$ и $d_{ос}(A_o)$ позволяет проводить анализ энергопотреб-

ления поточной линии по значительно меньшему числу исходных данных, не искажая реально существующие закономерности этого потребления.

Для оценки параметров распределения отклика модели d_{03} было использовано неравенство Чебышева. При этом требовалось найти такой объем N выборки, при котором среднее выборочное значение \bar{d}_{03} удельного расхода энергии отличалось бы от математического ожидания Md_{03} не более чем на $\sigma_{d_{03}}/4$ с доверительной вероятностью $p = 0,95$. Тогда неравенство Чебышева для выборочной средней

$$P\left\{|\bar{d}_{03} - Md_{03}| > \frac{\sigma_{d_{03}}}{4}\right\} \leq 0,05 = \frac{\sigma_{\bar{d}_{03}}^2 \cdot 16}{\sigma_{d_{03}}^2} = \frac{\sigma_{d_{03}}^2 \cdot 16}{N \sigma_{d_{03}}^2} = \frac{16}{N},$$

откуда

$$N = 16 / 0,05 = 320.$$

Здесь $\sigma_{\bar{d}_{03}}^2 = \frac{\sigma_{d_{03}}^2}{N}$ – дисперсия выборочной средней.

Таблица 1

Случайная величина	Закон распределения	Числовые характеристики	
		M	σ^2
Длина бревен, м	Логарифмически нормальный	5,15	0,22
Вершинный диаметр бревен, см	Равномерной плотности	19,95	0,30
Межторцовый разрыв, с, между бревнами при подаче: в окорочный станок	Эрланга 2-го порядка	8,00	32,00
	Показательный	0,50	0,25
Продолжительность перемещения, с, брусев: от ЛР 1-го ряда до накопителя-брусоперекладчика	Равномерной плотности	10,00	0,08
	Логарифмически нормальный	14,75	3,03
Продолжительность перемещения, с, необрезных досок : от ЛР 1-го ряда до стола перед обрезным станком №1	Равномерной плотности	30,00	3,41
а) доски движутся слева от разделительного коридора	»	26,50	4,25
б) доски движутся справа от разделительного коридора	»	14,25	0,41
Осмотр, поворот, установка и подача доски в обрезной станок, с	»	1,50	0,08

Таким образом, при объеме выборки $N = 320$ бревен вероятность того, что выборочное среднее удельного расхода энергии отклонится от своего математического ожидания более чем на $0,25\sigma_{d_{03}}$, не превышает 0,05.

Исходные данные для моделирования случайных величин и параметров оборудования представлены в табл. 1 и 2 соответственно.

Распиловка бревен нормативным диаметром 20 см и брусьев осуществляется по следующему поставу:

- 1-й проход 150/1–19/2;
- 2-й проход 25/2–25/2–25/2–19/2.

Таблица 2

Оборудование	Номинальная мощность двигателя, кВт	Скорость подачи, м/с	Постоянная состояния, кВт	Коэффициент энергоёмкости, кДж/(м ^{1,5} ·ч ^{0,5})
Окорочный станок ОК-63-1	30	0,370	23,14	0,62
Лесопильная рама:				
1-го ряда 2Р75-1	90	0,228	34,59	7,49
2-го ряда 2Р75-2	110	0,233	36,00	17,1
Обрезной станок Ц2Д-5А	40	1,330	18,40	1,01 (доски 19 мм) 0,81 (доски 25 мм)

На рис. 2 и 3 представлены диаграммы рассеяния и кривые регрессии, полученные с помощью надстройки Excel. Кривые регрессии построены по следующим уравнениям:

$$d_{03} = 16,452 + 0,074A_0^2 - 1,714A_0;$$

$$P_{03} = 24,01A_0^{0,4412}.$$

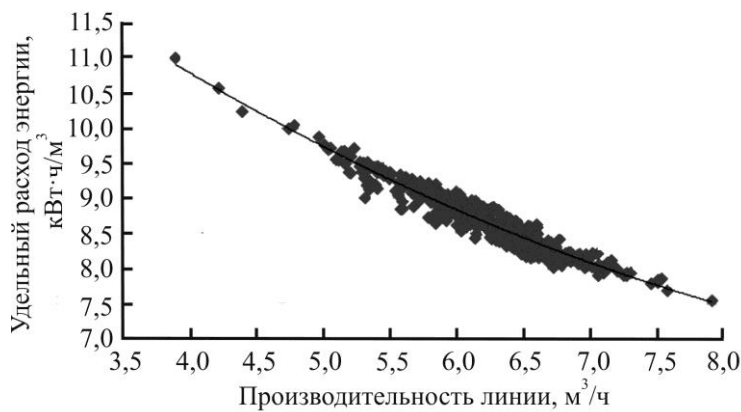


Рис. 2. Рассеяние (точки) и кривая регрессии $d_{03}(A_0)$

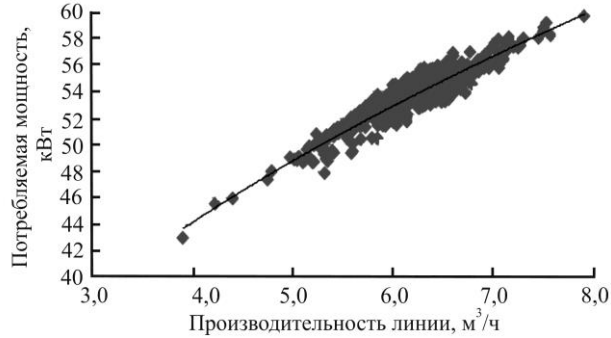


Рис. 3. Рассеяние (точки) и кривая регрессии $P_{оэ}$ (A_o)

Для проверки адекватности функций регрессии исходным данным были вычислены следующие статистики: коэффициент парной детерминации R^2 , индекс корреляции R , критерий Фишера наблюдаемый $F_{набл}$ и критический $F_{кр}$ [13]. Результаты расчетов представлены в табл. 3.

Таблица 3

Энергетическая характеристика	R^2	R	$F_{набл}$	$F_{кр}$
Удельный расход	0,93	0,965	5395	3,86
Потребляемая мощность	0,91	0,956	4219	3,86

Так как в обоих случаях $F_{набл} > F_{кр}$, то можно сделать вывод, что при уровне значимости $\alpha = 0,01$ коэффициент детерминации существенно отличается от нуля, т. е. включенная в регрессию переменная достаточно хорошо объясняет зависимую переменную.

Выводы

Аналогичные энергетические характеристики могут быть получены и для других диаметров бревен и поставов распиловки. Наличие указанных характеристик позволит более качественно подойти к планированию удельных расходов энергии по каждому типоразмеру сортиментов и производству в целом. Предложенная имитационная модель технологического процесса лесопиления с учетом случайных факторов дает возможность определить технологические и энергетические показатели работы оборудования и технологического процесса в целом.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Агеев С.П. Вероятностные характеристики процессов электропотребления приемников лесопильного производства // Лесн. журн. 2004. №2. С. 92–100. (Изв. высш. учеб. заведений).

2. *Агеев С.П.* Энергетическая характеристика электропривода ленточного конвейера // Вестн. АГТУ. Сер. Энергетика. Вып. 63. 2006. С. 105–111.
3. *Агеев С.П.* Математическое моделирование процессов распиловки древесины // Изв. СПб ЛТА. Вып.179. 2007. С. 142–152.
4. *Агеев С.П.* Закономерности распределения длительности рабочих циклов лесопильных рам // Изв. СПб ЛТА. Вып.180. 2007. С. 203–208.
5. *Агеев С.П.* Энергетическая характеристика электропривода механизма окорки роторного окорочного станка // Лесн. журн. 2007. №3. С. 93–99. (Изв. высш. учеб. заведений).
6. *Агеев С.П.* Энергетическая характеристика механизма резания лесопильной рамы // Лесн. журн. 2009. №1. С. 95–100. (Изв. высш. учеб. заведений).
7. *Агеев С.П.* Энергетическая характеристика электропривода механизма резания лесопильной рамы // Лесн. журн. 2009. №2. С. 96–101. (Изв. высш. учеб. заведений).
8. *Агеев С.П.* Многофакторная модель электропотребления поточной линии производства пилопродукции // Лесн. журн. 2013. №1. С. 122–130. (Изв. высш. учеб. заведений).
9. *Агеев С.П., Мелехов В.И.* Математическая модель участка рамной распиловки древесины // Актуальные проблемы развития лесного комплекса: материалы междунар. науч.-техн. конф., 9–11 дек. 2008 г. Вологда, 2009. С. 56–58.
10. *Агеев С.П., Мелехов В.И.* Вероятностная модель производственного процесса лесопильного цеха // Актуальные проблемы развития лесного комплекса: материалы междунар. науч.-техн. конф., 9–11 дек. 2009 г. Вологда, 2010. С. 91–93.
11. *Бусленко Н.П.* Математическое моделирование производственных процессов. М.: Наука, 1964. 362 с.
12. *Фергин В.Р.* Методы оптимизации в лесопильно-деревообрабатывающем производстве. М.: Лесн. пром-сть, 1975. 216 с.
13. *Ферстер Э., Ренц Б.* Методы корреляционного и регрессионного анализа. М.: Финансы и статистика, 1983. 302 с.

Поступила 27.11.13

УДК 621.311

Energy Characteristics of the Flow Line of Sawn Timber Manufacture

S.P. Ageev, Doctor of Engineering, Associate Professor

Northern (Arctic) Federal University named after M.V. Lomonosov, Naberezhnaya Severnoy Dviny, 17, Arkhangelsk, 163002, Russia; e-mail:doctor.mart11@mail.ru

It is known, the nature of electricity consumption generally is determined by the nature of consumption of its individual mechanisms. The process of obtaining sawn timber at sawmill is on separate flow lines. Therefore, energy consumption in total energy expenditure is defined as the sum of individual lines. In order to reduce consumption and improve energy efficiency it is necessary to ensure the employment of flow lines in a sustainable, energy-efficient modes. This can be achieved through dependency analysis of energy consumption by line from a variety of factors, evolving in the process of getting sawn timber. The purpose of this article was to build the energy characteristics of the flow line of sawn timber as an energy performance of mechanisms within the line and connected by a single processing.

Work of the flow line is connected with the impact on them of various random factors, so energetic characteristics are straightforward depending on technological factors and therefore they are received as correlations. To its building the flow line is presented as a multi-stage queue, for which is used the simulation modeling of technological and energy processes. As a result of the studies was developed the simulation model of sawmilling processing considering random factors. For sawmilling workflow energy characteristics have been received as a correlations that measure main parameters power consumption depending on the flow capability. The energetic characteristics availability will allow better planning of energy discharge intensity for each type of logs and production in general. It has been found that the energy characteristics of the main indicators of power consumption of the flow line are non-linear. It has been shown that the process of modeling and energy characteristics reception can be simplified if we take into account that the total energy consumption of the flow line more than 92% of which are energy-intensive mechanisms: barking machine, two saw mills and two cutting machines. Therefore, analysis of energy consumption of the flow line, determination of the most efficient modes of work with a relatively high degree of precision are conveniently and advisably conducted by fast-track energy characteristics, without distorting the real patterns and at a significantly smaller amount of basic data.

Keywords: flow line of sawn timber manufacture, productivity, power consumption, discharge intensity of the electric power, queueing system, simulation model.

REFERENCES

1. Ageev S.P. Veroyatnostnye kharakteristiki protsessov elektropotrebleniya priemnikov lesopil'nogo proizvodstva [Probability Characteristics of Power Consumption Processes of Saw-mill Receivers]. *Lesnoy zhurnal*, 2004, no. 2, pp. 92–100.
2. Ageev S.P. Energeticheskaya kharakteristika elektroprivoda lentochnogo konveyera [Energy Characteristic of the Electric Drive of Belt Conveyor]. *Vestnik Arkhangel'skogo gosudarstvennogo tekhnicheskogo universiteta*, 2006, vol. 63, pp. 105–111.
3. Ageev S.P. Matematicheskoe modelirovanie protsessov raspilovki drevesiny [Mathematical Modelling of Processes of Wood Sawing]. *Izvestiya SPb LTA*, 2007, vol. 179, pp.142–152.
4. Ageev S.P. Zakonomernosti raspredeleniya dlitel'nosti rabochikh tsiklov lesopil'nykh ram [Distribution Patterns of Duration Timber Frames Cycles]. *Izvestiya SPb LTA*, 2007, vol. 180, pp.203–208.
5. Ageev S.P. Energeticheskaya kharakteristika elektroprivoda mekhanizma okorki rotornogo okorochnogo stanka [Energy Characteristic of Electric Drive of Barking Mechanism of Rotor Debarking Machine]. *Lesnoy zhurnal*, 2007, no. 3, pp. 93–99.
6. Ageev S.P. Energeticheskaya kharakteristika mekhanizma rezaniya lesopil'noy ramy [Energetic Characteristic of Cutting Mechanism of Frame Saw]. *Lesnoy zhurnal*, 2009, no. 1, pp. 100–95.
7. Ageev S.P. Energeticheskaya kharakteristika elektroprivoda mekhanizma rezaniya lesopil'noy ramy [Energy Characteristic of Electric Drive for Cutting Mechanism of Saw Frame]. *Lesnoy zhurnal*, 2009, no. 2, pp. 96–101.
8. Ageev S.P. Mnogofaktornaya model' elektropotrebleniya potochnoy linii proizvodstva piloproduktzii [Multifactor Model of a Sawmill Production Line Electric Energy Demand]. *Lesnoy zhurnal*, 2013, no. 1, pp.122–130.

9. Ageev S.P., Melekhov V.I. Matematicheskaya model' uchastka ramnoy raspilovki drevesiny [Mathematical Model of Frame Sawing Wood]. *Aktual'nye problemy razvitiya lesnogo kompleksa: Mat. Mezhdunarodnoy nauchno-tekhnicheskoy konferentsii 9–11 dekabrya 2008g* [Actual Problems of the forestry complex development: Proc. Int. Sci. Tech. Conf. 9-11 December 2008]. Vologda, 2009, pp. 56–58.

10. Ageev S.P., Melekhov V.I. Veroyatnostnaya model' proizvodstvennogo protsesssa lesopil'nogo tsekha [Probabilistic Model of the Production Process of Wood Shop]. *Aktual'nye problemy razvitiya lesnogo kompleksa: Mat. Mezhdunarodnoy nauchno-tekhnicheskoy konferentsii 9–11 dekabrya 2009g.* [Actual Problems of the Forestry Complex Development: Proc. Int. Sci. Tech. Conf. 9-11 December 2009]. Vologda, 2010, pp.91–93.

11. Buslenko N.P. *Matematicheskoe modelirovanie proizvodstvennykh protsessov* [Mathematical Modelling of Industrial Processes]. Moscow, 1964. 362 p.

12. Fergin V.R. *Metody optimizatsii v lesopil'no-derevoobrabatyvayushchem proizvodstve* [Optimization Methods in Sawmill Wood Processing Production]. Moscow, 1975. 216 p.

13. Ferster E., Rents B. *Metody korrelyatsionnogo i regressionnogo analiza* [Methods of Correlative and Regressive Analysis]. Moscow, 1983. 302 p.

УДК 674.023

ОБРАБОТКА КРОМОК ФАНЕРЫ РЕЗАНИЕМ© *И.Т. Глебов., канд. техн. наук, доц.**В.В. Глебов, магистрант*

Уральский государственный лесотехнический университет, Сибирский тракт, 37, г. Екатеринбург, Россия, 620100; e-mail: GIT5@yandex.ru

Клееная фанера широко используется в народном хозяйстве. Однако методик расчета режимов резания и экспериментальных исследований по обрабатываемости резанием кромок фанеры нет, поэтому получение такой информации актуально. Процесс фрезерования кромок фанеры можно рассматривать как процесс перерезания волокон древесины листов шпона и перерезания клеевых слоев. При фрезеровании кромок фанеры в продольных слоях выполняется резание шпона вдоль волокон. Угол встречи вектора скорости главного движения с направлением волокон древесины в этом случае составляет 0° . При фрезеровании поперечных листов шпона выполняется торцовое резание с углом встречи 90° . Таким образом, сопротивление при фрезеровании фанеры можно рассматривать как сумму сопротивлений перерезанию волокон уплотненной древесины в продольных и поперечных слоях и сопротивлений перерезанию клеевых пленок. Показано, что поправочный коэффициент, учитывающий изменение удельной силы резания от плотности фанеры, для продольных слоев равен 1,20, а для поперечных слоев фанеры – 1,21. Коэффициент, учитывающий перерезание пленок связующего, принят равным 1,07...1,25 (для тонкой фанеры следует принимать большее значение этого коэффициента). Предложен расчетный метод, по которому для заданных режимов резания получены расчетные данные касательной силы резания. Далее для этих же режимов резания на экспериментальной установке получены экспериментальные данные для касательной силы резания. Сопоставление расчетных и экспериментальных данных позволило сделать вывод об их удовлетворительной схожести. Предложенный расчетный метод можно рекомендовать для решения практических задач.

Ключевые слова: кромки фанеры, фрезерование, строгание, продольные слои, поперечные слои, сила резания.

Фанера представляет собой древесный материал, состоящий из нескольких склеенных листов лущеного шпона при взаимно перпендикулярном расположении волокон древесины в смежных листах. Из-за пластических деформаций листов шпона при горячем прессовании плотность фанеры превышает плотность массивной древесины. Обычно считают, что плотность фанеры на 18...20 % выше плотности массивной древесины.

Фанера широко используется в строительстве, машино- и судостроении, домостроении, производстве мебели. При механической обработке кромки листов фанеры формируют пилением, фрезерованием, строганием, шлифованием.

Изучение специальной литературы показало, что в теории резания нет информации по механической обработке фанеры и расчетного метода для определения сил резания и мощности резания.

Целью настоящей работы является разработка расчетного метода, позволяющего находить силы резания при фрезеровании и строгании кромок фанеры общего назначения [2].

Процесс фрезерования кромок фанеры можно рассматривать как процесс перерезания волокон древесины листов шпона и клеевых слоев (рис. 1).

На приведенной схеме волокна древесины лицевых листов шпона 2 фанеры расположены перпендикулярно направлению скорости подачи V_s . Режущие кромки фрезы 1 выполняют торцово-продольное резание. В смежных листах шпона 3 волокна древесины расположены параллельно направлению V_s , режущие кромки фрезы в этих листах выполняют продольно-торцовое резание.

При диаметре окружности резания фрезы D и глубине фрезерования t угол подачи, измеряемый на середине дуги контакта между векторами скорости главного движения (резания) и подачи,

$$\mu = \arcsin \sqrt{\frac{t}{D}}.$$

При продольно-торцовом резании угол встречи (перерезания волокон) равен $\varphi_b = \mu$, при торцово-продольном резании – $\varphi_b = 90^\circ - \mu$.

Слои фанеры, волокна древесины в которых расположены параллельно направлению вектора скорости подачи, назовем продольными, при перпендикулярном расположении волокон к вектору скорости подачи – поперечными.

При строгании кромок фанеры в продольных слоях выполняется резание вдоль волокон и угол встречи $\varphi_b = 0^\circ$ (вектор скорости главного движения \bar{V} параллелен направлению волокон), а в поперечных слоях выполняется торцовое резание с углом встречи $\varphi_b = 90^\circ$.

Если лист фанеры имеет n_c слоев (изготовлен из n_c листов шпона) и лицевые слои обрабатываются при торцово-продольном резании (\perp -//), то таких поперечных слоев в листе фанеры будет

$$n_{\perp} = \frac{n_c - 1}{2} + 1,$$

продольных слоев с продольно-торцовым резанием (//- \perp)

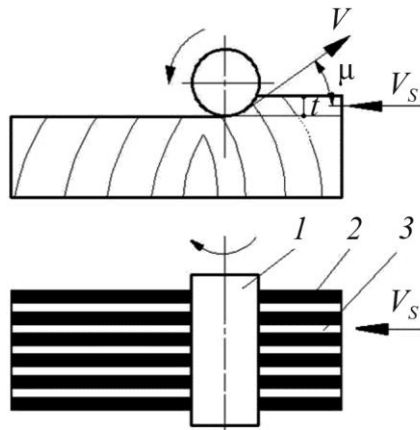


Рис. 1. Фрезерование кромки фанеры (V – скорость главного движения – резания)

$$n_{//} = \frac{n_c - 1}{2}.$$

Если в листе фанеры лицевые слои обрабатываются при продольно-торцовом резании, то таких продольных слоев будет

$$n_{//} = \frac{n_c - 1}{2} + 1,$$

поперечных слоев с продольно-торцовым резанием (\perp -//)

$$n_{\perp} = \frac{n_c - 1}{2}.$$

Таким образом, сопротивление при фрезеровании фанеры можно рассматривать как сумму сопротивлений перерезанию волокон уплотненной древесины в продольных и поперечных слоях и сопротивлений перерезанию клеевых пленок.

Учет изменения плотности слоев фанеры

Для расчета силы резания можно найти удельную силу резания для массивной древесины заданной породы, а затем, зная, что плотность фанеры превышает плотность массивной древесины в среднем на 18...20 %, определить поправочный коэффициент, учитывающий изменение плотности фанеры. Изменение удельной силы резания ($F_{y\partial}$, МПа) от плотности древесины ρ для главных видов резания графически показано в работе Е.Г. Ивановского [3]. Линию тренда этой зависимости можно описать следующими уравнениями:

для продольного резания

$$F_{y\partial//} = -4,43 + 73,2\rho; \quad (1)$$

для торцового резания

$$F_{y\partial\perp} = -15,6 + 156,47\rho, \quad (2)$$

где ρ – плотность, г/см^3 , массивной древесины при влажности 12 %.

Поправочный коэффициент $\alpha_{пл}$, учитывающий изменение удельной силы резания от плотности фанеры для продольных слоев:

$$\alpha_{пл//} = \frac{-4,43 + 73,2 \cdot 1,18\rho}{-4,43 + 73,2\rho}. \quad (3)$$

Для древесины березы плотностью $\rho = 0,63 \text{ г/см}^3$ поправочный коэффициент для продольных слоев $\alpha_{пл//} = 1,199$, для поперечных – $\alpha_{пл\perp} = 1,21$.

Расчет касательной силы резания

Ниже приведен расчет режимов резания кромок фанеры, основанный на использовании метода А.Л. Бершадского, который обычно применяют для расчета режимов резания массивной древесины. Для простоты иллюстрации рассмотрим его на примере.

Дано. На станке выполняется строгание кромок листов березовой фанеры (заготовки поступательно перемещаются относительно неподвижного ножа). Количество слоев березового шпона в фанере $n_c = 7$. В лицевых слоях во-

локна древесины расположены параллельно направлению вектора скорости главного движения (т. е. они продольные). Скорость главного движения $V = 0,035$ м/с; угол резания ножа $\delta = 55^\circ$; толщина срезаемого слоя $a = 0,10; 0,15; 0,20; 0,25$ мм. Ширина строгания $b = 9$ мм. Радиус закругления режущей кромки ножа $\rho_0 = 10$ мкм.

Принято: коэффициент породы $a_n = 1,25$ (береза); коэффициенты, учитывающие изменение удельной силы резания при уплотнении продольных и поперечных слоев фанеры $a_{нн//} = 1,20$, $a_{нн\perp} = 1,21$; коэффициент, учитывающий перерезание пленок связующего $a_{св} = 1,07...1,25$ (для тонкой фанеры следует принимать большее значение $a_{св}$).

Определить: касательную силу резания.

Решение

1. Ширина одного срезаемого слоя (шпона) фанеры

$$b_c = \frac{b}{n_c} = \frac{9}{7} = 1,29 \text{ мм.}$$

2. Находим количество продольных и поперечных слоев фанеры, если лицевые слои продольные:

продольных слоев (в них осуществляется продольное резание)

$$n_{//} = \frac{n_c - 1}{2} + 1 = \frac{7 - 1}{2} + 1 = 4 \text{ шт.};$$

поперечных слоев (в них осуществляется торцовое резание)

$$n_{\perp} = \frac{n_c - 1}{2} = \frac{7 - 1}{2} = 3 \text{ шт.}$$

3. Находим фиктивную силу резания из формул для продольно-торцового резания древесины сосны:

для продольных слоев (угол встречи с волокнами $\varphi_b = 0^\circ$)

$$p_{//} = 1,57 + 3,23 \sin_{\varphi_b}^{1,25} = 1,57 + 3,23 \sin^{1,25} 0^\circ = 1,57 \text{ Н/мм};$$

для поперечных слоев (угол встречи с волокнами $\varphi_b = 90^\circ$)

$$p_{\perp} = 1,57 + 3,23 \sin_{\varphi_b}^{1,25} = 1,57 + 3,23 \sin^{1,25} 90^\circ = 4,8 \text{ Н/мм.}$$

4. Касательное давление срезаемого слоя на переднюю грань лезвия для древесины сосны [1]:

для продольных слоев

$$\begin{aligned} k_{//} &= 0,196\delta + 0,069V' - 5,4 + (0,354\delta + 0,127V' - 14,22) \sin^{1,25} \varphi_b = \\ &= 0,196 \cdot 55 + 0,069(90 - 0,035) - 5,4 + (0,354 \cdot 55 + 0,127(90 - 0,035) - \\ &\quad - 14,22) \sin^{1,25} 0^\circ = 11,59 \text{ МПа.} \end{aligned}$$

для поперечных слоев

$$\begin{aligned} k_{//\perp} &= 0,196\delta + 0,069V' - 5,4 + (0,354\delta + 0,127V' - 14,22) \sin^{1,25} \varphi_b = \\ &= 0,196 \cdot 55 + 0,069(90 - 0,035) - 5,4 + (0,354 \cdot 55 + 0,127(90 - 0,035) - \\ &\quad - 14,22) \sin^{1,25} 90^\circ = 28,26 \text{ МПа.} \end{aligned}$$

5. Коэффициент затупления для острого лезвия $\alpha_p = 1$.

6. Средняя сила резания на ноже

$$F_{x \text{ зуб}} = a_n a_{св} [a_{пл//} (\alpha_p p_{//} + k_{//} a) b_c n_{//} + a_{пл\perp} (\alpha_p p_{\perp} + k_{\perp} a) b_c n_{\perp}] =$$

$$= 1,25 \cdot 1,07 \cdot [1,2 (1 \cdot 1,57 + 11,59 \cdot 0,1) 1,29 \cdot 4 + 1,21 (1 \cdot 4,8 + 28,26 \cdot 0,1) 1,29 \cdot 3] =$$

$$= 70,4 \text{ Н.}$$

Результаты расчета для других значений толщины срезаемого слоя приведены ниже:

a , мм	0,10	0,15	0,20	0,25
$F_{x \text{ зуб}}$, Н	70,4	84,0	97,7	111,3

Для оценки расчетных данных в лаборатории кафедры станков и инструментов УГЛТУ исследовано продольное и поперечное строгание кромок 5-(толщина 6 мм, плотность $\rho = 0,770 \text{ г/см}^3$) и 7-слойной (толщина 9 мм, плотность $\rho = 0,708 \text{ г/см}^3$) фанеры. Остальные условия опытов приведены в выше приведенном примере.

Для измерения силы резания использовали двухкоординатный тензометрический динамометр. Для получения и обработки данных была выбрана аппаратно-программная среда LabView, которая преобразует аналоговый сигнал в цифровой и позволяет создавать, хранить и обрабатывать базы данных на компьютере.

Пример полученного графика зависимости сил резания от толщины срезаемого слоя при продольном строгании кромок фанеры приведен на рис. 2.

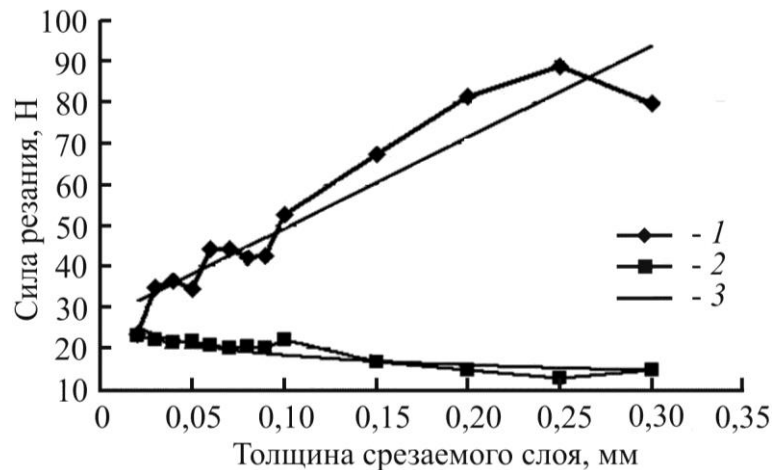


Рис. 2. Зависимость касательной F_x (1) и нормальной F_z (2) сил резания от толщины срезаемого слоя при продольном строгании кромок березовой фанеры толщиной 6 мм: 1, 2 – эксперимент; 3 – линии тренда

**Расчетные и экспериментальные значения касательной силы резания F_x
при продольном строгании фанеры**

Количество слоев фанеры	Толщина срезаемого слоя, мм				
	0,10	0,15	0,20	0,25	0,30
<i>Экспериментальные данные</i>					
5	52,7	67,1	81,2	88,6	79,6
7	71,3	88,1	93,1	93,1	–
<i>Расчетные данные</i>					
5	53,0	63,3	73,7	84,0	94,3
7	70,4	84,0	97,7	111,3	–
<i>Погрешность, %, по отношению к экспериментальным данным</i>					
5	–0,7	5,6	9,3	5,2	–18,5
7	1,2	4,6	–4,9	–19,6	–

Принятые линии тренда описаны следующими уравнениями:

$$-F_x = 26,92 + 222,68a \text{ (достоверность аппроксимации } R^2 = 0,90 \text{);}$$

$$-F_x = 11,357a^{-0,2056} \text{ (} R^2 = 0,77 \text{)}.$$

При резании поперечных слоев наблюдаются вырывы волокон древесины, что приводит к уменьшению сил резания, особенно при $a \geq 0,2$ мм.

Сравнение результатов расчета с экспериментальными данными приведено в таблице.

Выводы

1. В фанере можно выделить продольные (в них осуществляется резание вдоль волокон при строгании или продольно-торцовое при фрезеровании) и поперечные (в них осуществляется резание в торец при строгании или торцово-продольное при фрезеровании) слои.

2. По предлагаемому расчетному методу сила резания складывается из сопротивлений резанию в продольных и поперечных слоях с учетом коэффициента упрессовки слоев фанеры и перерезания смоляных пленок.

3. Сравнение расчетных данных по предлагаемому методу с экспериментальными показано удовлетворительную сходимость, т. е. предлагаемый расчетный метод можно рекомендовать для использования на практике.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Глебов И.Т. Резание древесины: учеб. пособие. СПб.: Изд-во «Лань», 2010. 256 с.
2. ГОСТ 3916.1–96. Фанера общего назначения с наружными слоями из шпона лиственных пород. Технические условия. М.: Изд-во стандартов, 1999. 12 с.
3. Ивановский Е.Г. Резание древесины. М.: Лесн. пром-сть, 1974. 200 с.

Поступила 07.08.12

УДК 674.023

Edging of Plywood by Cutting

I.T. Glebov, Candidate of Engineering, Associate Professor

V.V. Glebov, Master

The Ural State Forest Engineering University, Sibirsky Trakt, 37, 620100, Yekaterinburg, Russia; e-mail: GIT5@yandex.ru

Plywood is widely used in the national economy, however, it is no methods of cutting calculation and experimental research on edging of plywood by cutting, therefore, reception such information is relevant. The milling process of plywood edges can be considered as a process of cutting of wood fibres, veneer sheets and cutting process of glue film. When milling of plywood edges in the longitudinal layers the veneer is cut along fibres. The angle between the velocity vector of the main motion and the grain flow of the wood in this case is equal to zero degrees. In milling of veneer sheets of cross cut is with the angle of 90. Thus, resistance when plywood milling can be considered as the sum of the resistances to cutting of fibres of densified wood in the longitudinal and transverse layers and resistances to cutting of adhesive tapes. It is shown that the correction index, considering the change of a specific cutting force on the plywood density for longitudinal layers, is 1,2, and for cross-layer plywood is 1,21. The coefficient, considering the cutting of films binder, adopted equal 1,07...1,25 (for thin plywood should take a higher value of this ratio). Method of calculation on which for the given cutting is received estimate of the tangential force, has been proposed. Next to these cutting modes on experimental setup the experimental data for the tangential forces have been collected. Comparison of the calculated and experimental data allows to draw conclusion about a satisfactory convergence of the obtained data. The proposed calculation method can be recommended for the solution of practical problems.

Keywords: veneer edge, milling, chipping, longitudinal layers, transverse layers, cutting force

REFERENCES

1. Glebov I.T. *Rezanie drevesiny* [Wood Cutting]. St. Petersburg, 2010. 256 p.
2. *GOST 3916.1-96. Fanera obshchego naznacheniya s naruzhnyimi sloyami iz shpona listvennykh porod. Tekhnicheskie usloviya* [State Standard 3916.1-96. General-Duty Plywood with Periblast of Hardwoods Veneer. Technical Conditions]. 1999.
3. Ivanovskiy E.G. *Rezanie drevesiny* [Wood Cutting]. Moscow, 1974. 200 p.



ХИМИЧЕСКАЯ ПЕРЕРАБОТКА ДРЕВЕСИНЫ

УДК 539.124:539.2+543.842

ЛИГНИН-ПОЛИМЕРНЫЕ КОМПОЗИТЫ

© Ю.Н. Сазанов, д-р. хим. наук, проф.

Институт высокомолекулярных соединений РАН, Большой просп., 31, С.-Петербург, Россия, 199004; e-mail: sazanov@hq.macro.ru

Представлен материал по синтезу и применению полимер-лигнинных композитов. Акцентируется внимание на реакциях двух типов. К первому типу относятся полимераналогичные превращения, приводящие к образованию различных сополимеров (со-конденсатов), ко второму – реакции модификации взаимодействующих компонентов, в которых в основном участвуют олигомерные соединения одного из партнеров реакций, в результате чего меняется функциональность одного из компонентов или образуются редкие шивки, приводящие к существенному изменению свойств исходных реагентов.

Ключевые слова: лигнин, синтетические полимеры, полимераналогичные превращения, модификация, термохимия, термический анализ.

Лигнин (ЛГ) наряду с целлюлозой является одной из основных составляющих органического природного материала, из которого формировался каменный уголь и некоторые другие твердые горючие ископаемые. После целлюлозы лигнины – наиболее распространенные соединения биологического происхождения, их содержание в древесине хвойных пород составляет 25...30 %, лиственных – 19...23 %. Содержание лигнина определяется породой древесины, климатической зоной, почвой, возрастом дерева. Лигнин, в отличие от целлюлозы, – нерегулярный сильно разветвленный гетерополимер сложного строения.

Основная часть одного из видов технических лигнинов – гидролизного лигнина, идет в отвал и представляет определенную экологическую угрозу [4, 11, 18].

Примеры успешного использования лигнина в промышленности описаны в ряде публикаций. Однако это не более 2...3 % от общего количества лигнина, извлекаемого при переработке растительной массы.

Прежде чем рассмотреть положительные примеры применения ЛГ, стоит обратить внимание на принципиальные возможности крупномасштабного использования лигнина с максимальной рентабельностью и экологической безопасностью, на что неоднократно указывалось в последних публикациях [2, 5]. Это связано с реакционной способностью ЛГ. Реакции, которые протекают в различных условиях химической и термической обработки лигнина,

базируются на реакционноспособных группах, содержащихся в структуре ЛГ. Боковые пропановые цепи содержат реакционноспособные группы (гидроксильные, альдегидные, карбоксильные, кетонные, бензилспиртовые, простые эфирные), которые и определяют большинство типичных реакций ЛГ: сульфирование, алкилирование, реакции с тиогликолевой кислотой, растворение в щелочах, образование солей, реакции внутри- и межмолекулярной конденсации и др. Большую роль в определении реакционной способности лигнина играют свободные радикалы, возникающие в макромолекуле лигнина после разрыва лигнин-углеводных связей. Они являются активаторами реакций полимеризации, приводящих к образованию сетчатой структуры, типичной для гидролизного лигнина. Появление радикалов зафиксировано не только при воздействии на лигнин химических агентов (кислот, щелочей, ферментов), но и при механической деструкции древесины. Механизм образования радикалов изучался многими исследователями [8 – 10, 15, 19]. В этих работах упоминается о феноксильных и хинометидных радикалах, как инициаторах полимеризационных процессов. Многочисленные опыты по исследованию парамагнетизма лигнина и его препаратов показывают наличие радикалов во всех изученных образцах лигнина как в нативном виде, так и обработанных в различных условиях делигнификации. Концентрация свободных радикалов колеблется от 10^{16} до 10^{18} спин/г вещества, увеличиваясь со степенью термической обработки [19]. Лишь лигнин, находящийся в растительной ткани, не показывает сигналы электронного парамагнитного резонанса (ЭПР). Все остальные виды лигнина, выделенные кислотами, щелочами, или его образцы, полученные из древесины, пораженной коричневой гнилью, показывают высокое содержание свободных радикалов.

Установлено, что свободные радикалы лигнинов могут существовать в течение длительных геологических периодов. Таким образом, можно сделать заключение, что лигнин в любой форме содержит свободные радикалы, потенциально активные для реализации широкого спектра реакций образования высокомолекулярных соединений. Кроме того, известны различные варианты участия свободных радикалов в деструкции химических связей, особенно в окислительной среде. Следовательно, конечный итог радикальных реакций в лигнине и продуктах его переработки должен определяться кинетическими константами обоих процессов. Однако такой вывод не однозначен, так как наблюдения за «отработанным» техническим лигнином в отходах, подвергающихся комплексному воздействию погодных условий, не подтверждает предположение о самодеструкции ЛГ в отвалах. В этом отношении более справедливы заключения ряда авторов [4, 8, 15], что технический ЛГ является наиболее законденсированным продуктом с малой химической активностью. В связи с этим наличие свободных радикалов в продуктах жесткой переработки ЛГ не следует считать критерием их высокой реакционной способности. Очевидно, активность этих радикалов ограничена стерическими факторами, и для

использования их потенциальной способности необходимо создать соответствующие условия для активации.

Анализ исследований по определению реакционноспособных центров лигнина показывает, что каждая форма лигнина содержит функциональные группы, способные вступать в различные химические реакции. Количество и качество этих центров и их доступность в реализации межмолекулярных взаимодействий зависит от ряда факторов, упомянутых выше. Наибольшее влияние на активность ЛГ оказывает процесс его переработки, во время которого каждая группа, отличающаяся от другой, вступает в параллельные и последовательные реакции и изменяет свою активность в результате деструктивных реакций. Кроме того, как отмечено в [10], необходимо учитывать двойственную природу ЛГ, когда с точки зрения физической организации его макромолекула является целостным образованием, независимо от надмолекулярной структуры, и в то же время это совокупность структурных фрагментов, различным образом проявляющих себя в химических реакциях. Такой дуализм подтверждается присутствием в ЛГ хиноидных групп, обуславливающих его акцепторные свойства, а также фенольных звеньев, придающих лигнину донорные свойства. Конкуренция донорно-акцепторных свойств лигнина реализуется и проявляется в зависимости от реагента, вступающего во взаимодействие с лигнином. Такая позиция может быть положена в основу формирования новых соединений при взаимодействии с другими высокомолекулярными соединениями (ВМС).

На практике рассматриваются два направления: первое касается разработки условий получения новых ВМС за счет полимераналогичных реакций и реакций с другими органическими веществами; второе связано с термическими превращениями и их взаимодействиями с другими полимерами различных образцов лигнина в результате воздействия повышенных температур.

Что касается общих положений, то проблемы кооперации лигнина с синтетическими полимерами носят прикладной характер и направлены на решение материаловедческих задач. Основы взаимодействия этих ВМС базируются на межмолекулярных реакциях полимеризации и поликонденсации. Возможности образования совместных конгломератов определяются кинетикой взаимодействия реакционноспособных групп партнеров реакций и рядом внешних и внутренних факторов, связанных со структурой реагентов, а также условий проведения межмолекулярных реакций.

Различают два типа реакций лигнин–полимер. К первому типу относятся полимераналогичные превращения, приводящие к образованию различных сополимеров (соконденсатов), которые охватывают почти все формы соединения двух ВМС (блок-, привитые сополимеры, взаимопроникающие сетки, различные стерические формы, основанные на цепных линейных и разветвленных сополимерах). Ко второму типу относятся реакции, в которых в основном участвуют олигомерные соединения одного из партнеров реакций, в результате чего меняется функциональность одного из компонентов или обра-

зуются редкие сшивки, приводящие к существенному изменению свойств исходных реагентов.

В одной из ранних публикаций [16] приведены сведения об использовании гидролизного лигнина (ГЛГ) для модификации химических продуктов, используемых в металлургии, строительстве, резиновой промышленности и др. отраслях. В качестве пластификатора ГЛГ применялся для усовершенствования технологии приготовления цемента и улучшения его эксплуатационных показателей. В той же сфере налажено производство лигноволокнистых плит путем пропитки древесного волокна водорастворимыми фракциями лигнина. Такие продукты являются хорошими заменителями фанеры из деловой древесины.

Заметно возрос интерес к продуктам модификации ГЛГ после открытия способа его активации путем щелочной варки при высокой (180...200 °С) температуре в течение 4...6 ч. В результате этой операции значительная часть ГЛГ переходит в раствор в виде так называемых лигниновых кислот и некоторых неидентифицированных низкомолекулярных продуктов. Полученные растворы, скорее эмульсии, использовались в резинотехнической промышленности в качестве заменителей сажи. Технология этого процесса основана на образовании комбинированных структур лигнин-латекс при их совместном осаждении. Преимущество лигнина по сравнению с сажой связано с получением светлой и цветной резины и заменой диспергаторов и антиоксидантов каучука.

В дальнейшем щелочная варка ГЛГ с применением каустической соды была усовершенствована заменой NaOH на смесь извести ($\text{Ca}(\text{OH})_2$) и сульфата натрия (Na_2SO_4). Модифицированный ЛГ повышает механические показатели каучука по сравнению со стандартными при применении сажи.

Ряд работ по модификации ГЛГ связан с производством пластмасс путем непосредственного взаимодействия лигнина с рядом ВМС. Наибольший интерес представляет получение композиций на основе ГЛГ и фенолформальдегидных смол. Одними из первых работ в этом направлении [7, 17] были работы по синтезу феноллигниновых смол и их применению в производстве пластиков. Реакцию конденсации ЛГ с фенолом проводили при соотношении 1:1 (весовом) в присутствии серной кислоты при температуре 120...125 °С в течение 13 ч. Полученная смола напоминает по своим свойствам фенолформальдегидные смолы (ФФС) новолачного типа, для ее отверждения также требуется гексаметилентетраамин.

Экономические и экологические проблемы производства ФФС [23, 50, 51] вызывают необходимость усовершенствования этого процесса. В развитие упомянутых выше работ проводились опыты по использованию ЛГ для производства лигнин-резольных смол [29, 35, 48, 61]. Обстоятельная работа [6] по обобщению опыта использования лигнина для усовершенствования технологии ФФС и получению товарной продукции проведена в Иркутском институте органической химии.

Важное практическое значение имеют исследования материаловедческих характеристик ФФС и модифицированных лигнином смол в сопоставимых условиях. В качестве примера в табл. 1, 2 приведены показатели физико-механических свойств и технологические параметры ряда товарных смол в сравнении с прототипом – смолой фенольной жидкой СФЖ-3013 [6].

Таблица 1
Свойства лигнофенолформальдегидных и других типов смол

Смола	Расход, %		Содержание свободного фенола, %	Температура размягчения, °С	Предел прочности на растяжение, кг/см ²
	фенола	формальдегида			
Лигнофенол-формальдегидная (ЛГ-ФФС)	66,3	15,2	17,5	47	48,2
	64,0	15,1	13,5	55	46,5
	68,8	16,4	11,2	63	48,5
	65,4	14,5	13,4	52	54,8
Лигнофенольная (ЛГ-ФС)	65,3	0,0	11,4	89	25...30
	63,0	0,0	14,2	96	26,6
	62,3	0,0	13,9	84	26,6
	63,3	0,0	12,7	–	28,2
Товарная ФФС марки 665	92,6	92,6	6,0...9,0	75,0...85,0	48,2
	92,6	92,6	6,0...9,0	75,0...85,0	48,2
Модифицированная ЛГ-ФС (А)	58,5	10,2	15,4	–	25,3
	63,5	11,5	18,2	–	25,6
	61,4	11,2	14,4	–	25,6
То же (В)	63,0	11,2	18,2	–	24,8
	61,0	11,8	13,8	–	24,2
	61,0	11,8	18,7	–	24,5
	67,8	15,3	–	–	24,4
Смешанная (5 частей ЛГ-ФС + 1 часть товарной)	67,8	15,3	–	–	24,0
	67,8	15,3	–	–	26,5
	67,8	15,3	–	–	26,5

Таблица 2
Характеристика синтетических смол в сравнении с СФЖ-3013

Показатель	Значение показателя для смолы		
	СФЖ-3013	ФЧФС-30*	ФЧФС-40*
Вязкость по ВЗ-4, с	40...130	80...100	80...100
Содержание компонента, (%):			
бромируемые вещества	11,5...13,0	11,5...13,0	11,5...13,0
нелетучие вещества	38...42	45...48	45...48
свободный фенол	≥ 0,180	0,069	0,009
свободный формальдегид	≥ 0,180	0,064	0,130
Срок хранения, мес.	2...3	2...3	2...3

* Фенольная часть фенольной смолы.

В дальнейшем внимание исследователей привлекли реакции образования лигнин-новолачных смол. Опубликована серия работ [25, 26, 49] по изучению термохимических реакций образования и отверждения этих продуктов с использованием термоаналитических методов. В последней работе на основании аналитических расчетов по данным формальной кинетики с использованием методов дифференциальной сканирующей калориметрии (ДСК) и термомеханического анализа (ТМА) определены значения энергии активации и реакции отверждения лигнин-фенольных смол (табл. 3).

Таблица 3
Температура пиков (T_p , °С) и теплота реакций (ΔH , Дж/г) отверждения новолачных смол при различной скорости нагрева [49]

Скорость, град/мин	ЛГ		Микронизированный ЛГ		ФФС	
	T_p	ΔH	T_p	ΔH	T_p	ΔH
2	119,24	69,08	124,24	87,19	139,94	131,16
4	125,64	55,89	132,94	86,70	147,64	129,49
6	131,24	55,26	138,64	72,67	152,84	135,40
8	134,54	65,55	141,84	78,38	155,64	134,64
10	137,24	50,39	144,94	69,42	159,04	140,47

Результаты этих исследований еще раз подтвердили схоластичность использования методов формальной кинетики для изучения реальных процессов полимерной термохимии [50], за исключением тех данных, которые позволяют использовать температурные характеристики для выбора параметров отверждения смол.

В подтверждение этому тезису можно привести недавнюю работу [45], в которой разбирается опыт термогравиметрии при исследовании влияния термообработки еловой древесины без использования приемов формальной кинетики. Неослабевающий интерес к изучению реакций фенолформальдегидридных смол с лигнином подтверждает значительное количество статей на эту тему, появившихся в научной литературе за последние 10...15 лет. Этому способствовало бурное развитие термоаналитических методов комплексного исследования реакций образования композитных материалов. Возможность наблюдения и фиксации в единичном опыте качественных и количественных параметров образования исходных, промежуточных и конечных продуктов реакции позволяет делать определенные заключения о механизме этих реакций и разрабатывать оптимальные технологические схемы получения продуктов с заданными свойствами.

Так, в работе [54] представлена количественная картина отверждения ФФС с использованием различных катализаторов. С помощью пиролитической газовой хроматографии установлены основные продукты термодеструкции и температурные интервалы их образования, определены показатели термостабильности сшитых смол. Показано, что эффективность отверждения за-

висит от соотношения исходных мономеров, а частота сшивки смол определяется кислотностью катализаторов. Установлено, что термодеструкция смол протекает в две стадии. На начальном этапе происходит разрыв простых эфирных связей с последующей вторичной сшивкой, инициирующей начальные стадии карбонизации смолы. Можно отметить ряд аналитических исследований по воздействию древесной массы и некоторых производных древесины на реакции отверждения ФФС и ее свойства. В работах [40, 41] отмечено увеличение энергии активации реакции отверждения ФФС и изменение степени конверсии в присутствии молотой древесины. Однако этот эффект не связан с химическим взаимодействием между исходными компонентами. В некоторых работах акцентировано внимание на использование производных лигнина в качестве заменителей фенола. В [27] с этой целью применяли аммонийные соли лигносульфоновых кислот лиственных пород. Определены оптимальные соотношения в реакционной смеси (фенол, формальдегид, лигносульфонат) для достижения высоких показателей композиционных смол, показана возможность использования лигносульфоната в тройном композите в количестве от 18 до 52 %. Этим же коллективом [28] изучена реакция отверждения ЛГ–ФФС методом ДСК. Показано, что добавление ЛГ повышает скорость отверждения смолы, оказывает заметный термостабилизирующий эффект. В [59, 61] рассмотрена проблема повышения адгезионной прочности лигнинфенольных смол путем химической модификации ЛГ, в [58] приведены данные по модификации резольных ФФС с помощью ЛГ, крахмала и мочевины.

О повышении термостабильности ФФС и росте адгезионной прочности при введении лигнинов различного происхождения говорится в обстоятельном исследовании композитных составов смола–ЛГ [43]. Методами термогравиметрического анализа (ТГА) и ДСК установлено, что основа ЛГ–ФФС, содержащая не более 50 % ЛГ обладает повышенными адгезионной и разрывной прочностью по сравнению с ФФС. Повышение термостойкости ЛГ–ФФС наблюдается при введении до 25 % ЛГ и зависит от его типа. Температура начала отверждения тройной смеси ниже, а скорость отверждения выше, чем у эталонных образцов ФФС.

Некоторые вопросы утилизации лигнинных отходов тропической флоры путем введения их в качестве активных наполнителей рассмотрены в публикациях [21, 22]. Эти добавки к ФФС улучшают адгезионные характеристики композитов, используемых для получения высокосортной фанеры. В том же направлении статья [62] демонстрирует возможности органорастворимого лигнина в формировании новых полимерных композиций на основе отходов деревообрабатывающей промышленности. Испанскими учеными опубликована детальная работа, посвященная сравнительной термодеструкции резольных ФФС и ЛГ–ФФС [24]. На основании данных ТГА, дифференциальной термогравиметрии (ДТГ) и инфракрасной спектроскопии (ИКС) проведен анализ термохимических реакций указанных композиций в интервале температур 30...900 °С в инертной и окислительной атмосфере.

Обнаружены различия в массовых потерях, которые позволили определить структурные изменения ЛГ–ФФС по сравнению с немодифицированной смолой и сделать вывод о полезности введения лигнина в состав ФФС. Поскольку в качестве модификатора использовался лигносульфонат аммония, то выделяющиеся на ранних стадиях термодеструкции диоксид серы и аммиак ингибируют реакции деструкции тройного композита, повышая его термостойкость на 200 °С по сравнению с ФФС.

Таким образом, модификация фенолформальдегидных смол различными видами лигнина остается по-прежнему перспективным прикладным направлением. Кроме того, расширяется круг полимеров, в смеси с которыми лигнин образует новые материалы, имеющие практический выход. К ним относятся композиты с меламинными и карбамидными смолами, в которых лигнин играет роль термостабилизатора. Для эпоксидных смол ЛГ выступает как отвердитель. Известны композиции ЛГ с окисью пропилена и полиуретанами. Совместно с фурфуролом, фенолом и анилином ЛГ образует терморезистивные смолы [1].

Хорошо известна модификация ряда резинотехнических изделий (шины, прокладки, изделия бытового профиля) с помощью ЛГ в количестве от 2 до 30 % [3].

Использование лигнина для эмульгирования битума позволяет интенсифицировать покрытие дорог асфальтобетоном и снизить выделение токсичных вредных веществ в окружающую среду. Методом соосаждения получены прочные латексные изделия, наполненные лигнином, а также пластифицированные изделия из полипропилена и полиэтилена. Полимерные материалы из полипропилена, модифицированного щелочным лигнином, обладают высокими показателями физико-химических свойств, повышенной морозостойкостью и светостойкостью. Изделия могут быть использованы в пищевой промышленности и сельском хозяйстве. Полученные данные указывают на протекание процесса частичной сшивки полипропилена с участием лигнинных продуктов.

В одной из первых работ по использованию ЛГ в качестве модификатора полипропилена было обнаружено, что при низких расходах (около 10 %) ЛГ проявляет себя в качестве термостабилизатора, однако с ростом его концентрации в смеси наблюдается обратный эффект [44]. Дальнейшие исследования по влиянию добавок ЛГ (10...30 %) на свойства полипропилена и полиэтилена [30, 46] подтвердили стабилизирующий эффект лигнина при переработке полипропилена и долговременном световом и тепловом воздействии на гранулированный смесевой продукт. При наличии в смеси более 30 % и продолжительном нагреве ЛГ превращается в инициатор термодеструкции. Аналогичный эффект отмечен в работе [52], в которой по данным ИКС обнаружено подавление окислительных процессов при термоокислительной деструкции полипропилена в смеси с ЛГ. Что касается взаимодействия лигнина с полиэтиленом, то ЛГ не влияет на параметры переработки смеси. При длительной термовыдержке он выступает в качестве стабилизатора полиэтилена даже

при высоких концентрациях. Механическая прочность смесевых продуктов ЛГ с полиэтиленом, как и с полипропиленом, снижается по мере увеличения концентрации лигнина.

Другая работа [60] по модификации полиолефинов лигнином относится к получению полимерных смесей на основе изотактического пропилена и ЛГ улучшенной совместимости, которая достигнута путем прививки к полипропилену глицидилметакрилата. Показано, что образование совместимых смесей возможно при повышенной температуре и высокой концентрации ЛГ.

Анализ композита на основе полиэтилена и ГЛГ показал, что плотность образца и напряжение сжатия понижаются с увеличением содержания последнего в композите вследствие повышения его пористости. Но если увеличить массу загрузки композита в формы, то повышается плотность образца и напряжение сжатия. ГЛГ значительно изменяет показатели физико-химических свойств полиэтилена, создавая пористую структуру образца, что имеет большое значение для пенопластов. Композитный материал становится облегченным и может использоваться при производстве конструкционных изделий.

Приведенные примеры показывают, что улучшение совместимости ЛГ с полиолефинами в результате термохимического взаимодействия реакционно-способных функциональных групп ЛГ с полимерными структурами требует наличия соответствующих функциональных групп в полимере. Как показали первичные работы по исследованию механизма взаимодействия ЛГ с рядом полимеров, наиболее удачными явились работы по формованию композиций на основе поливинилового спирта, поливинилхлорида, поливинилацетата. Успех этих исследований основан на правильном выборе полимеров с такими функциональными группами, которые обеспечивали преимущественное протекание межмолекулярных реакций с гидроксил- и метоксилсодержащими фрагментами ЛГ [42]. При исследовании совместимости полимерных смесей ЛГ с поливиниловым спиртом получена интересная информация по термохимическому взаимодействию исходных полимеров методом комплексного термического анализа (ТГА, ДСК) в сочетании с ИКС, ^1H -ЯМР и сканирующей электронной микроскопией [31, 33, 37].

Это позволяет сделать вывод, что производные ЛГ, в качестве которых использовались ацетоновые фракции крафт-лигнина, модифицированные фталевым ангидридом и *n*-аминобензойной кислотой, играют роль ингибитора термоокислительной и фотодеструкции (УФ-облучение) поливинилового спирта. Реализация этого эффекта зависит от содержания лигнинной фракции в полимерном композите и наиболее заметна при добавке 5 % ЛГ. Увеличение содержания ЛГ приводит к расслоению композита, потере его гомогенности, понижению термостойкости и прочности пленок из композита и стойкости к УФ-облучению. При концентрации ЛГ выше 25 % приготовление пленок из композита невозможно.

На основании спектральных исследований установлено, что оптимальная концентрация ЛГ в смеси с поливиниловым спиртом обеспечивает образование редкосетчатой структуры композита, устойчивой к тепловому воздействию и УФ-облучению. Обнаружено, что в инертной атмосфере при температуре 1000 °С коксовый остаток композита, содержащий 5 % ЛГ, составляет 15 %. При увеличении содержания ЛГ начинают преобладать гомолитические реакции с заметным образованием свободных радикалов, инициирующих термодеструкцию поливинилового спирта. Использование лигнина и его отдельных фракций в качестве антиоксиданта и регулятора окислительно-восстановительных систем отмечено и при получении композитов с полианилином [55]. По данным ИКС, электронной микроскопии и кондуктометрии найдено, что при концентрации лигнина не выше 36 % наблюдается взаимодействие между аминогруппами полианилина и гидроксильными группами ЛГ, позволяющее получать композитные пленки с различной степенью электропроводности. Морфологическая организация композита характеризуется глобулярной структурой, отличной от структуры исходных полимеров. К аналогичным выводам пришли авторы исследований свойств композитов на основе ЛГ и поливинилацетата [49], поливинилхлорида [36], полиэтилена и полипропилена [46, 47]. Об эффекте стабилизации лигнином ряда полиолефинов от воздействия УФ-облучения указывается в [53], где порошок лигнина смешивали с различными типами полиэтилена и атактическим полистиролом (количество полимера в смесях от 80 до 90 % по весу). Смесевые композиции готовили в шнековом экструдере при температуре 160...190 °С в атмосфере азота. Механические характеристики композитов по сравнению с полимерами изменяются в соответствии с природой сшитых термопластов.

Необходимо отметить, что при использовании радикальных инициаторов удалось получить привитые сополимеры с некоторыми акрилатами, которые использовались в качестве наполнителей кож хромового дубления [18] и в производстве коллаktivита – адсорбента для осветления жидкостей [5, 14].

Одним из перспективных направлений является производство пенополиуретанов с использованием ГЛГ, развиваемых в настоящее время С.-Петербургским государственным лесотехническим университетом имени С.М. Кирова совместно с Университетом г. Фукуи (Япония) [38, 39].

Предварительные исследования показали принципиальную возможность получения полиуретанов в сочетании с ГЛГ с характеристиками (прочностные, теплоизоляционные и др.), не уступающими характеристикам пенополиуретанов из классического сырья. Например, пенополиуретаны, полученные с применением ЛГ Кировского биохимзавода, имеют следующие характеристики: температура стеклования – 100...115 °С; усилие на сжатие – 0,1...0,2 МПа; усилие на растяжение – 9...12 МПа; температура термического разложения – около 290 °С; удельная теплопроводность – около 0,03 Вт/(м·К). Сопоставимые результаты получены и для образцов пенополиуретанов из лигнинов Архангельского и Тавдинского гидролизных заводов.

На основании испытаний изученных образцов был сделан вывод, что гидролизный лигнин в основном пригоден для получения жестких пенополиуретанов. Перспективность этого процесса связана с повышением степени биodeградации композитов, введением дополнительных функциональных групп, обеспечивающих возможность полимераналогичных реакций [34]. В упомянутой работе проводился мониторинг конверсии исходных ингредиентов полиуретана (4,4'-метиленидифенилендиизоцианата поликапролактамадиола) в зависимости от концентрации лигнина (10, 15, 20, 25 %) методом ИК-Фурье спектроскопии. Определена кинетика взаимодействия функциональных групп ЛГ и исходных компонентов полиуретана. Интерес к полиуретанам, модифицированным лигнинными соединениями, продолжает оставаться в центре внимания ученых, работающих в области растительных ВМС. Об этом свидетельствуют материалы 7-го форума Международного института лигнина [57]. На форуме рассмотрены проблемы изменения условий отверждения ЛГ-ФФС путем использования метиленидиизоцианата в качестве сшивающего агента, приведшие к снижению температуры отверждения. Приведены данные о повышении огнестойкости пенополиуретана и полипропилена при введении добавок щелочного лигнина в количестве до 15 % по весу. Обращено внимание на информативность метода ИК-Фурье спектроскопии для идентификации изменений, происходящих в структуре лигнин-полиуретановых композиций в зависимости от соотношения NCO-ОН групп, ММ полиолов, строения изоцианатов и используемых ЛГ и их содержания в реакционной смеси.

Что касается работ Хакатаемы и соавторов, то сведения о широте охвата проблем, связанных с изучением различных аспектов структуры ЛГ, его свойств, химических и физических превращений, а также взаимодействия с другими низко- и высокомолекулярными соединениями (более 70 публикаций), можно почерпнуть в ряде обзорных статей и глав в сборниках, упомянутых в [38, 39]. Среди этих работ часть исследований относится к получению и описанию свойств композитов различных видов ЛГ с полиуретанами и их производными (около 20 сообщений). В них использованы различные виды лигнинов: крафт-лигнины, органосольватные лигнины разных пород древесины, лигнины молотой древесины, лигносульфонаты и др. Основой для синтеза полиуретанов служили полиэтиленгликоль, полипропиленгликоль и их производные, алифатические и ароматические изоцианаты. Проведены исследования композитных материалов с различными растительными наполнителями и неорганическими материалами; определено влияние структуры композитов и способов их получения на термические, механические, реологические и биологические характеристики лигнополиуретанов.

Таким образом, к настоящему времени использование лигнина в сочетании с другими полимерами показывает тенденцию к минимизации его содержания в композитах. Что касается противоположного направления – изучения модифицирующей роли полимеров в малых концентрациях в целях использования углеродного потенциала лигнина, то серьезных исследований термохи-

мических реакций лигнина в присутствии ограниченных количеств полимера очень мало. Некоторые сведения можно почерпнуть в указанных выше публикациях, однако специфика этих работ связана с чисто материаловедческим направлением. Прогресс в этой области отмечался на 7-ом Форуме международной ассоциации лигнина в 2005 г. (Барселона) [57]. Некоторые сообщения относятся к проблеме сочетания лигнина с такими полиолефинами, как полипропилен, полиэтилен, и по существу являются развитием исследований модификации полиолефинов, отмеченных ранее [20, 32]. Основная направленность этих работ – использование лигнина и его производных в качестве стабилизатора против УФ-излучения и повышение огнестойкости за счет обугливания лигнинной компоненты.

Что касается использования лигнина в композитах с синтетическими полимерами с преобладающей концентрацией лигнина, то определенные успехи достигнуты в работах ИВС РАН. С 2009 г. опубликована серия работ, в которых количество лигнина, вводимого в композит с полиакрилонитрилом, достигало 80 % [11–13, 56].

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Арбузов В.В.* Композиционные материалы из лигнинных веществ. М.: Экология, 1991. 209 с.
2. *Боголицын К.Г.* «Зеленая» химия лигнина – новые аспекты // Физ. хим. лигнина: материалы. междунар. конф. Архангельск.: АГТУ, 2007. С. 16–21.
3. *Богомолов Б.Д., Гельфанд Е.Д.* Непрерывная технология производства сульфатного лигнина и его применение для улучшения свойств полимерных материалов. М.: Лесн. пром-сть, 1971. 342 с.
4. *Кононов Г.Н.* Химия древесины и ее основных компонентов. М.: МГУЛ, 1999. 247 с.
5. *Лукин В.В.* Зеленая химия в России // Физ. хим. лигнина: материалы междунар. конф. Архангельск.: АГТУ, 2005. С. 9–10.
6. *Медведева Е.Н., Бабкин В.А.* Использование лигнина для синтеза ФФС // Химия в интересах устойчивого развития. 1996. Т.4. С. 333–342.
7. *Окунь М.Г., Скрытник И.В., Сухановский С.И., Чудаков М.М.* Применение гидролизного лигнина в производстве пластических масс // Гидролиз. и лесохим. пром-сть. 1960. № 3. С. 14–16.
8. *Пономарев Д.А.* Термохимия модельных соединений лигнина и их интермедиатов в реакциях гомолитической деструкции: дис. ... д-ра хим. наук. СПб., 1997. 227 с.
9. *Розенберг Л.В., Берлин Ад.А., Визгерн Р.В.* Привитые сополимеры на основе лигносульфоната // Гидролиз. и лесохим. пром-сть. 1972. № 5. С. 16–17.
10. *Резников В.М.* Реакционная способность лигнина и его превращения в процессах делигнификации древесины // Хим. древесины. 1977. № 3. С. 3–23.
11. *Сазанов Ю.Н., Крутов С.М., Спирина Т.Н., Костерева Т.А., Сапрыкина Н.Н., Попова Е.Н., Андреева О.А., Новоселова А.В.* Привитая сополимеризация полиакрилонитрила с гидролизным лигнином // ЖПХ. 2013. Т. 86, вып. 6. С. 992–997.
12. *Сазанов Ю.Н., Куликова Е.М., Федорова Г.Н., Попова Е.Н., Литвинова Л.С., Кевер.Е.Е., Мокеев М.В., Сумерский И.В., Новоселова А.В., Грибанов А.В.* Потенциальная активность гидролизного лигнина в реакциях сополимеризации // ЖПХ. 2009. Т. 82, вып. 9. С. 1493–1499.

13. Сазанов Ю.Н., Попова Е.Н., Сумерский И.В., Мокеев М.В., Куликова Е.М., Литвинова Л.С., Кевер Е.Е. Крутов С.М., Грибанов А.В. Особенности термохимических превращений гидролизного лигнина // ЖПХ. 2010 Т. 83, вып. 9. С. 1509–1516.
14. Сатаев И.К., Тихонова Л.Е., Алиев Г.А., Ахмедов К.С. Водорастворимые привитые сополимеры на основе производных гидролизного лигнина для буровой техники // Гидролиз. и лесохим. пром-сть. 1974. № 7. С. 3–4.
15. Сухановский С.И., Ахмина Е.И. Влияние химического состава гидролизного лигнина на физико-механические свойства и структуру гранулированных углей // ЖПХ. 1961.Т. 32. С. 2754–2760.
16. Сухановский С.И., Чудаков М.И. Использование гидролизного лигнина. М.: ЦБТИ, 1958. 36 с.
17. Ушаков С.Н., Матвеев И.И. Фенольные лигниновые смолы и их применение в производстве пластиков // Гидролиз. пром-сть СССР. 1948. № 4. С. 16–19.
18. Чудаков М.И. Промышленное использование лигнина. М.: Лесн. пром-сть, 1972. 213 с.
19. Шорыгина Н.Н. Современное состояние химии лигнина // Хим. древесины. 1968. № 1. С. 7–30.
20. Acha B.A., Capurro C., Marcovich N., Aranguren M.I., Reboredo M.M. Lignin in polymeric materials // Inter. Lignin Inst ILI – 7th Forum, Barcelona, 2005. P. 111–114.
21. Akhtar T., Lutfullah G., Nazli R. Synthesis of phenolformaldehyde lignosulfonate adhesive for utilization as a wood binder // J. Chem. Soc. Pakistan. 2008. Vol. 30, iss. 3. P. 486–489.
22. Akhtar T., Lutfullah G., Nazli R. Synthesis of lignin based phenolic resin and its utilization in the exterior grade plywood // J. Chem. Soc. Pakistan. 2009. Vol. 31, iss.2. P. 304–308.
23. Allan G.G., Dalan J.A., Foster N.C. Activated carbon fabric prepared by pyrolysis and activation of phenolic precursors // J. Am. Chem. Soc. 1989. N 5. P. 1815–1820.
24. Alonso M.V., Olient M., Domingues J.C., Rojo E., Rodriguez F. Thermal degradation of lignin-phenol-formaldehyde and phenol-formaldehyde resolresines // J. Therm. Anal. Cal. 2011. Vol. 105. P. 349–356.
25. Alonso M.V., Olient M., Garcia J., Rodríguez F., Echeverría J. Gelation and isoconversional kinetic analysis of lignin-phenol-formaldehyde resol resins cure // Chem. Eng. J. 2006. Vol. 122. P. 159–167.
26. Alonso M.V., Olient M., Garcia J. Transformation of dynamic DSC results into isothermal data for the curing kinetics study of the resol resins // J. Therm. Anal. Cal. 2006. Vol. 86(3). P. 797–803.
27. Alonso M.V., Olient M., Rodriguez F., Astarioa G., Echeverria J.M. Use of a methylolaed softwood ammonium lignosulfonate as partial substitute of phenol in resol resins manufacture // J. Appl. Polymer Sci. 2004. Vol. 94, N 2. P. 643–650.
28. Alonso M.V., Olient M., Perez J.M. Rodriguez F. Echeverria J.M. Determination of curing kinetic parameter of lignin-phenol-formaldehyde resol resins by several dynamic differential scanning calorimetry methods // Thermochim. Acta. 2004. Vol. 419, N 1-2. P. 161–167.
29. Alonso M.V., Rodriguez J.J., Olient M. Rodriguez F., Garcia J., Gillarranz M.A. Characterization and structural modification of ammoniac lignosulfonate by methylation // J. Appl. Polymer Sci. 2001. Vol. 82. P. 2661–2668.
30. Alxy P., Kosikova B., Podstanska G. The effect of blending lignin with polyethylene and polypropylene on physical properties // Polymer. 2000. Vol. 41. P. 4901–4908.

31. *Bittenguri R.R.S., Santos G.L., Pineda E.A., Hechenleither A.A.W.* Studies on the thermal stability and film irradiation effect of poly(vinylalcohol)/kraft lignin blends // *J. Thermal. Anal. and Calor.* 2005. Vol. 79. P. 371–374.
32. *Bonini C., D'Auria M., Pucciarello R., Villani V.* Use of lignin from steam explosion process for new material: preparation, analysis and properties // *Inter. Lignin Inst ILI – 7th Forum, Barcelona, 2005.* P. 15–18.
33. *Carradini E., Pineda E.A., Hechenleither A.A.W.* Lignin-poly(vinylalcohol) blends studied by thermal analysis // *Polymer Degrad. Stab.* 1999. Vol. 66(2). P. 199–208.
34. *Cateto C., Barreiro F., Rodrigues A.* Monitoring of lignin-based polyurethane synthesis by FTIR-ATR // *Inter. Lignin Inst ILI^{7th} – Forum, Barcelona, 2005.* P. 43–46.
35. *Danielson B., Simonson R.* Some properties and chemical structure of phenolic resins and their derivatives // *J. Hadhes. Sci.* 1998. Vol.12(9). P. 923–927.
36. *Feldman D., Banu D.* Contribution to the study of rigid PVC polyblends with different lignins // *J. Appl. Polymer Sci.* 1997. Vol. 66, N 9. P. 1731–1744.
37. *Fernandes D.M., Hechenleither A.A.W., Job A.E., Radovanovic T., Pineda E.A.G.* Thermal and photochemical stability of poly(vinylalcohol)/modified lignin blends // *Polymer Degrad. Stab.* 2006. Vol. 91, N 5. P. 1192–2001.
38. *Hatakeyama H., Hatakeyama T.* Lignin structure, properties and applications. Biopolymers lignin, proteins, bioactive nanocomposites // *Adv. Polym. Sci.* 2010. Vol. 232. P. 1–63.
39. *Hatakeyama H., Tsujimoto Y., Zarubin M.Ja., Krutov S.M., Hatakeyama T.* Thermal decomposition and glass transition of industrial hydrolysis lignin // *J. Therm. Anal. Cal.* 2010. Vol. 101. P. 289–295.
40. *He G., Riedl B.* Curing kinetics of phenolformaldehyde resin and wood-resin interactions in the presence of wood substrates // *Wood Sci. Technol.* 2004. Vol. 38, N 1. P. 69–81.
41. *Kadla J.F., Kubo S.* Lignin-based polymer blends analysis of intermolecular interactions in lignin-synthetic polymer blends // *Composites. P.A. Applied Sciences and Manufactory.* 2004. Vol.35(3). P. 395–406.
42. *Khan M.A., Ashrat S.M.* Studies on thermal characterization of lignin, substituted phenol formaldehyde resins wood adhesives // *J. Therm. Anal. Cal.* 2007. Vol. 89, N 3. P. 993–1000.
43. *Korošec R.C., Lavrič B, Rep G., Pohleven F., Bukovec P.* NG as possible m/wood for determining modification degree of thermally treated Norway spruce wood // *J. Therm. Anal. Calorim.* 2009. Vol. 98. P. 189–195.
44. *Kosikova B., Demianova V., Kasurakova M.* Sulfur-free lignins as composites of polypropylene films // *J. Appl. Polymer Sci.* 1993 Vol. 47. P. 1065–1073. 45. *Kosikova B., Kasurakova M., Demianova V.* Photooxidation of the composite lignin – polypropylene films // *Chem. Papers* 1993. Vol. 13(2). P. 167–174.
45. *Kosikova B., Kasurakova M., Demianova V.* Photooxidation of the composite lignin–polypropylene films // *Chemical Papers.* 1993. Vol. 13(2). P. 167–174.
46. *Kosikova B., Revajarova A., Demianova V.* The effect of adding lignin on modification of surface properties of polypropylene // *Eur. Polymer J.* 1995. Vol. 31, N 10. P. 953–956.
47. *Kou M., Hse C.-Y., Huang D-H.* Alkali treated kraft lignin as a component flake-pard resins // *Holzforschung.* 1991. Bd. 45. S. 47–53.
48. *Perez J.M., Olliet M., Alonso M.V., Rodrigues F.* Cure kinetic of lignin-novolac resins studied by isoconversional methods // *Termochim. Acta.* 2009. Vol. 487. P. 39–42.

49. *Perez J.M., Rodrigues F, Alonso M.V., Olient M., Domingue J.C.* Curing kinetics of lignin-novolac phenolic resins // *J. Therm. Anal. Calorim.* 2009. Vol. 97. P. 979–985.
50. *Phenolic Resins.* Knopp A. (Ed) Springer, Berlin, 2000. 217 p.
51. *Pouteau C., Dole P., Cathala B., Averous L., Boquillon N.* Antioxidant properties of lignin in polypropylene // *Polymer Degrad. Stab.* 2003. Vol. 81(1). P. 9–18.
52. *Pucciariello R., Villani V., Bonini C., D'Auria M., Vetere T.* Physical properties of straw lignin-based polymer blends // *Polymer.* 2004. Vol. 45, N 12. P. 4159–4169.
53. *Rao M.R., Alwan S., Scariah K.J., Sastri K.S.* Thermochemical characterization of phenolic resins. Thermogravimetric and pyrolysis-GC studies // *J. Therm. Anal.* 1997. Vol. 49. P. 261–268.
54. *Rodrigues R.C., Cannao V.P., Janissek P., Scarpa P.C.N., Mathias A.L., Ramos L.P., Gomes V.A.B.* Polyaniline/lignin blends; FTIR, MEV and electrochemical characterization // *Europ. Polymer J.* 2002. Vol. 38. P. 2213–2217.
55. *Sancez C.G., Exposito A.L.A., Alvarez L.A.E.* Micromechanics of lignin / polypropylene composites suitable for industrial applications. // *Die Angew. Makromol. Chem.* 1999. Vol. 272, N 1. S. 65–70.
56. *Spirina T.N., Kulikova E.M., Elochovsky V.Yu., Sazanov Yu. N., Popova E.N., Krutov S.M., Sumersky I.V.* Interaction of hydrolytic lignin with polyacrylonitrile in dimethylsulfoxide – water system // *Inter.Conf. «Renewable Wood and Plant Resources».* SPb, 2011. P. 222.
57. *Stewart D.* Lignin as base material for materials applications; chemistry, application and economics // *Inter. Lignin Inst III – 7th Forum, Barcelona, 2005.* P. 35–38.
58. *Turunen M., Alvila L., Pakkanen T.T., Rainio J.* Modification of phenol-formaldehyde resol resins by lignin starch, and urea // *J. Appl. Polymer Sci.* 2003. Vol. 88, iss. 2. P. 582–588.
59. *Vasile C., Downey M., Wong B., Macoveanu M.M., Pascu M.C., Choi J.H., Sung C.M., Baker W.* Polyolefins/Lignosulfonates/ blends II Isotactic polypropylene/epoxymodified lignin blends // *Cellulose Chem. Technol.* 1998. Vol. 32. P. 61–88.
60. *Vazquez G., Gonzalez J., Freire S., Antorrena G.* Effect of chemical modification of lignin on the gluebond performance of lignin-phenolic resins // *Bioresour. Tech.* 1997. Vol. 60, iss. 3. P. 191–198.
61. *Wang M., Leitch H., Xu Ch.* Synthesis of phenol formaldehyde resol resins using organosolv pine lignins // *Europ. Polymer J.* 2009. Vol. 45, N 12. P. 3380–3388.
62. *Yesbrendy R.E., Sanderson R.D., Gerischer G.F.R.* Adhesives from autohydrolysis bagasse lignin, a renewable resource – Part I. The physical properties of laminates with phenolated lignin novolacs. Part II: DSC thermal analysis of novolac resins // *Holzforsch.* 1992. Bd.46 (3). S. 249–255.

Поступила 24.02.14

УДК 539.124:539.2+543.842

Lignin-Polymeric Composites

Yu. N. Sazanov, Doctor of Chemistry, Professor

Institute of Macromolecular Compounds of Russian Academy of Sciences, Bol'shoy pr., 31, St. Petersburg, 199004, Russia; e-mail: sazanov@hq.macro.ru

The material of the synthesis and use of polymer – lignin composites is represented. The first type includes polymer – analogous transformations which leads to the formation of different copolymers (co-condensate). To the second type one may attribute the reaction of

modification of component interaction in which mainly take part the oligomeric compounds of one of reaction partner, as a result the functionality of one of components is changed and some rear cross-links forms, bringing to the fundamental property changes of initial reagents.

Keywords: lignin, synthetic polymer, polymer-analogous changes, modification, thermochemistry, thermal analysis.

REFERENCES

1. Arbuzov V.V. *Kompozitsionnye materialy iz ligninnykh veshchestv* [Composite Materials of Lignins]. Moscow, 1991. 209 p.
2. Bogolitsyn K.G. «Zelenaya» khimiya lignina – novye aspekty [The “Green” Chemistry of Lignin – New Aspects]. *Fizikohimija lignina. Mater.2 mezhdunar.konf.* [Physical Chemistry of Lignin. Proc. 2nd Int. Conf.]. Arkhangelsk, 2007, pp. 16-21.
3. Bogomolov B.D., Gel'fand E.D. *Nepreryvnaya tekhnologiya proizvodstva sul'fatnogo lignina i ego primeneniye dlya uluchsheniya svoystv polimernykh materialov* [The Continuous Manufacturing Technique of a Sulphatic Lignin and its Application for Improvement of Properties of Polymeric Materials]. Moscow, 1971. 342 p.
4. Kononov U.N. *Khimiya drevesiny i ee osnovnykh komponentov* [Chemistry of Wood and its Main Components]. Moscow, 2005. 247 p.
5. Lunin V.V. *Zelenaya khimiya v Rossii* [The Green Chemistry in Russia]. *Fizikohimija lignina. Mater. mezhdunar. konf.* [Physical Chemistry of Lignin. Proc. Int. Conf.]. Arkhangelsk, 2005, pp. 9-10.
6. Medvedeva E.N., Babkin V.A. *Ispol'zovanie lignina dlya sinteza fenolformaldehydnykh smol* [The Use of Lignin for the Synthesis of Phenol Formaldehyde Resins]. *Khimiya v interesakh ustoichivogo razvitiya* [Chemistry in the Interests of Sustainable Development]. 1996, vol. 4, pp. 333-342.
7. Okun' M.G., Skrytnik I.V., Suknanovskiy S.I., Chudakov M.M. *Primeneniye gidroliznogo lignina v proizvodstve plasticheskikh mass* [Application of Hydrolysis Lignin in the Production of Plastics]. *Gidroliznaya i lesokhimicheskaya promyshlennost'*, 1960, no. 3, pp. 14-16.
8. Ponomarev D.A. *Termokhimiya model'nykh soedineniy lignina i ikh intermediftoy v reaktsiyakh gomoliticheskoy destruktzii: avtoref. dis. ... doc. khim. nauk* [Thermochemistry of Model Lignin Compounds and Their Intermediators in the Reactions of Homolytic Destruction: Doc. Chem. Sci. Diss. Abs.]. St. Petersburg, 1997. 227 p.
9. Rozenberg L.V., Berlin Ad.A., Vizgern R.V. *Privitye sopolimery na osnove lignosul'fonata* [Lignosulphonate-Based Graft Copolymers]. *Gidroliznaya i lesokhimicheskaya promyshlennost'*, 1972, no. 5, pp. 16-17.
10. Reznikov V.M. *Reaktsionnaya sposobnost' lignina i ego prevrashcheniya v protsessakh delignifikatsii drevesiny* [Reactivity of Lignin and its Transformations in the Processes of Delignification of Wood]. *Khimiya drevesiny*, 1977, no. 3, pp. 3-23.
11. Sazanov Yu.N., Krutov S.M., Spirina T.N., Kostereva T.A., Saprykina N.N., Popova E.N., Andreeva O.A., Novoselova A.V. *Privitaya sopolimerizatsiya poliakrilonitrila s gidroliznym ligninom* [Co-graft Polymerization of Polyacrylonitrile with Hydrolysis Lignin]. *Zhurnal prikladnoi khimii*, 2013, vol.86, no. 6, pp. 992-997.

12. Sazanov Yu.N., Kulikova E.M., Fedorova G.N., Popova E.N., Litvinova L.S., Keveer E.T., Mokeev M.V., Sumerskiy I.V., Novoselova A.V., Gribanov A.V. Potentsialnaya aktivnost' gidroliznogo lignina v reaktsiyakh sopolimerizatsii [Potential Activity of Hydrolysis Lignin in Copolymerization Reactions]. *Zhurnal prikladnoi khimii*, 2009, vol. 82, no. 9, pp. 1493-1499.

13. Sazanov Yu.N., Popova E.N., Sumerckiy I.V., Mokeev M.V., Kulikova E.M., Litvinova L.C., Keveer E.E., Krutov C.M., Gribanov A.V. Osobennosti termokhimicheskikh prevrashcheniy gidroliznogo lignina [Peculiar Features of Thermochemical Transformations of Hydrolysis Lignin]. *Zhurnal prikladnoi khimii*, 2010, vol. 83, no. 9, pp. 1509-1516.

14. Sataev I.K., Tikhonova L.e., Aliev G.A., Akhmedov K.S. Vodorastvorimye privitye sopolimery na osnove proizvodnykh gidroliznogo lignina dlya burovoy tekhniki [Water-Soluble Graft Copolymers Based on Hydrolysis Lignin Derivatives Intended for Drilling Technique]. *Gidroliznaya i lesokhimitskaya promyshlennost'*, 1974, no. 7, pp. 3-4.

15. Sukhanovskiy S.I., Akhmina E.I. Vliyanie khimicheskogo sostava gidroliznogo lignina na fiziko-mekhanicheskiye svoystva i strukturu granulirovannikh uglei [The Influence of Chemical Composition of Hydrolysis Lignin on Physico-mechanical Properties and Structure of Granulated Charcoals]. *Zhurnal prikladnoy khimii*, 1961, vol. 32, pp. 2754-2760.

16. Sukhanovskiy S.I., Chudakov M.I. *Ispol'zovanie gidroliznogo lignina*. [The Applications of Hydrolysis Lignin]. Moscow, 1958. 35 p.

17. Ushakov S.N., Matveev I.I. Fenol'nye ligninovyie smoly i ikh primenenie v proizvodstve plastikov [Phenol Lignin Pitches and Their Application in Production of Plastics]. *Gidroliznaya promyshlennost' SSSR*, 1948, no. 4, pp. 16-19.

18. Chudakov M.I. *Promyshlennoe ispolzovanie lignina* [Industrial Use of a Lignin]. Moscow, 1972. 213 p.

19. Shorygina N.N. Sovremennoe sostoyanie khimii lignina [The Modern State of Lignin Chemistry]. *Khimiya drevesyny*, 1968, no. 1, pp. 7-30.

20. Acha B.A., Capurro C., Marcovich N., Aranguren M.I., Reboredo M.M. Lignin in polymeric materials. *International Lignin Institute – 7th Forum*, Barcelona, 2005, pp. 111-114.

21. Akhtar T., Lutfullah G., Nazli R. Synthesis of phenolformaldehyde lignosulfonate adhesive for utilization as a wood binder. *Journal of the Chemical Society of Pakistan*, 2008, vol.30, no. 3, pp. 486-489.

22. Akhtar T., Lutfullah G., Nazli R. Synthesis of lignin based phenolic resin and its utilization in the exterior grade plywood. *Journal of the Chemical Society of Pakistan*, 2009, vol. 31, no. 2, pp. 304-308.

23. Allan G.G., Dalan J.A., Foster N.C. Activated carbon fabric prepared by pyrolysis and activation of phenolic precursors. *Journal of The American Chemical Society*, 1989, no. 5, pp. 1815-1820.

24. Alonso M.V., Rodriguez J.J., Olient M., Rodriguez F., Garcia J., Gillarranz M.A. Characterization and structural modification of ammoniac lignosulfonate by methylation. *Journal of Applied Polymer Science*, 2001, vol. 82, pp. 2661-2668.

25. Alonso M.V., Olient M., Garcia J., Rodriguez F., Echeverría J. Gelation and isoconversional kinetic analysis of lignin-phenol-formaldehyde resol resins cure. *Chemical Engineering Journal*, 2006, vol. 122, pp. 159-167.

26. Alonso M.V., Olient M., Garcia J. Transformation of dynamic DSC results into isothermal data for the curing kinetics study of the resol resins. *Journal of Thermal Analysis and Calorimetry*, 2006. vol. 86 (3), pp. 797-803.

27. Alonso M.V., Olient M., Rodriguez F., Astarioa G., Echeverria J.M. Use of a methylolated softwood ammonium lignosulfonate as partial substitute of phenol in resol resins manufacture. *Journal of Applied Polymer Science*, 2004, vol. 94, no. 2, pp. 643-650.
28. Alonso M.V., Olient M., Perez J.M. Rodriguez F., Echeverria J.M. Determination of curing kinetic parameter of lignin-phenol-formaldehyde resol resins by several dynamic differential scanning calorimetry methods. *Thermochimica Acta*, 2004, vol. 419, no. 1-2, pp. 161-167.
29. Alonso M.V., Olient M., Domingues J.C., Rojo E., Rodriguez F. Thermal degradation of lignin-phenol-formaldehyde and phenol-formaldehyde resol resins. *Journal of Thermal Analysis and Calorimetry*, 2011, vol. 105, pp. 349-356.
30. Alxy P., Kosikova B., Podstanska G. The effect of blending lignin with polyethylene and polypropylene on physical properties. *Polymer*, 2000, vol. 41, pp. 4901-4908.
31. Bittenguri R.R.S., Santos G.L., Pineda E.A., Hechenleither A.A.W. Studies on the thermal stability and film irradiation effect of poly(vinyl alcohol)/kraft lignin blends. *Journal of Thermal Analysis and Calorimetry*, 2005, vol. 79, pp. 371-374.
32. Bonini C., D'Auria M., Pucciarello R., Villani V. Use of lignin from steam explosion process for new material: preparation, analysis and properties. *International Lignin Institute – 7th Forum*, Barcelona, 2005, pp. 15-18.
33. Carradini E., Pineda E.A.G., Hechenleither A.A.W. Lignin-poly (vinyl alcohol) blends studied by thermal analysis. *Polymer Degradation and Stability*, 1999, vol. 66(2), pp. 199-208.
34. Cateto C., Barreiro F., Rodrigues A. Monitoring of lignin-based polyurethane synthesis by FTIR-ATR. *International Lignin Institute – 7th Forum*, Barcelona, 2005, pp. 43-46.
35. Danielson B., Simonson R. Some properties and chemical structure of phenolic resins and their derivatives. *J. Adhes.Sci.*, 1998, vol. 12(9), pp. 923-927.
36. Feldman D., Banu D. Contribution to the study of rigid PVC polyblends with different lignins. *Journal of Applied Polymer Science*, 1997, vol. 66, no. 9, pp. 1731-1744.
37. Fernandes D.M., Hechenleither A.A.W., Job A.E., Radovanovic T., Pineda E.A.G. Thermal and photochemical stability of poly (vinyl alcohol)/modified lignin blends. *Polymer Degradation and Stability*, 2006, vol. 91, no. 5, pp. 1192-2001.
38. Hatakeyama H., Hatakeyama T. Lignin structure, properties and applications. Biopolymers lignin, proteins, bioactive nanocomposites. *Advances in Polymer Science*, 2010, vol. 232, pp. 1-63.
39. Hatakeyama H., Tsujimoto Y., Zarubin M.Ja., Krutov S.M., Hatakeyama T. Thermal decomposition and glass transition of industrial hydrolysis lignin. *Journal of Thermal Analysis and Calorimetry*, 2010, vol. 101, pp. 289-295.
40. He G., Riedl B. Curing kinetics of phenol formaldehyde resin and wood-resin interactions in the presence of wood substrates. *Wood Science and Technology*, 2004, vol. 38, no. 1, pp. 69-81.
41. Kadla J.F., Kubo S. Lignin-based polymer blends: analysis of intermolecular interactions in lignin-synthetic polymer blends. *Sciences and Manufactory*, 2004, vol. 35(3), pp. 395-406.
42. Khan M.A., Ashrat S.M. Studies on thermal characterization of lignin, substituted phenol formaldehyde resins wood adhesives. *Journal of Thermal Analysis and Calorimetry*, 2007, vol. 89, no. 3, pp. 993-1000.

43. Korošec R.C., Lavrič B, Rep G., Pohleven F., Bukovec P. Thermogravimetry as a possible tool for determining modification degree of thermally treated Norway spruce wood. *Journal of Thermal Analysis and Calorimetry*, 2009, vol. 98, pp. 189-195.
44. Kosikova B., Demianova V., Kasurakova M. Sulfur-free lignins as composites of polypropylene films. *Journal of Applied Polymer Science*, 1993, vol. 47, pp. 1065-1073.
45. Kosikova B., Kasurakova M., Demianova V. Photooxidation of the composite lignin/polypropylene films. *Chemical Papers*, 1993, vol. 13(2), pp. 167-174.
46. Kosikova B., Revajarova A., Demianova V. The effect of adding lignin on modification of surface properties of polypropylene. *European Polymer Journal*, 1995, vol. 31, no.10, pp. 953-956.
47. Kou M., Hse C.-Y., Huang D.-H. Alkali treated Kraft lignin as a component flakeboard resins. *Holzforschung*, 1991, vol. 45, pp. 47-53.
48. Perez J.M., Olier M., Alonso M.V., Rodriguez F. Cure kinetic of lignin-novolac resins studied by isoconversional methods. *Thermochimica Acta*, 2009, vol. 487, pp. 39-42.
49. Perez J.M., Rodriguez F, Alonso M.V., Olier M., Domingue J.C. Curing kinetics of lignin-novolac phenolic resins. *Journal of Thermal Analysis and Calorimetry*, 2009, vol. 97, pp. 979-985.
50. Knop A. *Phenolic Resins*. Springer, Berlin, 2000. 217 p.
51. Pouteau C., Dole P., Cathala B., Averous L., Boquillon N. Antioxidant properties of lignin in polypropylene. *Polymer Degradation and Stability*, 2003, vol. 81(1), pp. 9-18.
52. Pucciariello R., Villani V., Bonini C., D'Auria M., Vetere T. Physical properties of straw lignin-based polymer blends. *Polymer*, 2004, vol. 45, no. 12, pp. 4159-4169.
53. Rao M.R., Alwan S., Scariah K.J., Sastri K.S. Thermochemical characterization of phenolic resins. Thermogravimetric and pyrolysis-GC studies. *Journal of Thermal Analysis and Calorimetry*, 1997, vol. 49, pp. 261-268.
54. Rodrigues R.C., Cantao M.P., Janissek P., Scarpa P.C.N., Mathias A.L., Ramos L.P., Gomes M.A.B. Polyaniline/lignin blends: FTIR, MEV and electrochemical characterization. *European Polymer Journal*, 2002, vol. 38, pp. 2213-2217.
55. Gonzalez-Sanchez C., Exposito-Alvarez L.A. Micromechanics of lignin/polypropylene composites suitable for industrial applications. *Angewandte Makromolekulare Chemie*, 1999, vol. 272, no. 1, pp. 65-70.
56. Spirina T.N., Kulikova E.M., Elochovsky V.Yu., Sazanov Yu.N., Popova E.N., Krutov S.M., Sumersky I.V. Interaction of hydrolytic lignin with polyacrylonitrile in dimethyl sulfoxide – water system Interaction of hydrolytic lignin with polyacrylonitrile in dimethyl sulfoxide-water system. *International Conference "Renewable Wood and Plant Resources: Chemistry, Technology, Pharmacology, Medicine"*. St. Petersburg, June 21-24, 2011. 222 p.
57. Stewart D. Lignin as base material for materials applications; chemistry, application and economics. *International Lignin Institute – 7th Forum*, Barcelona, 2005, pp. 35-38.
58. Turunen M., Alvila L., Pakkanen T.T., Rainio J. Modification of phenol-formaldehyde resin resins by lignin, starch and urea. *Journal of Applied Polymer Science*, 2003, vol. 88, no. 2, pp. 582-588.
59. Vasile C., Downey M., Wong B., Macoveanu M.M., Pascu M.C., Choi J.H., Sung C.M., Baker W. Polyolefins/Lignosulfonates/ blends II Isotactic polypropylene/epoxymodified lignin blends. *Cellulose Chemistry and Technology*, 1998, vol. 32, pp. 61-88.

60. Vazquez G., Gonzalez J. Freire S., Antorrena G. Effect of chemical modification of lignin on the gluebond performance of lignin-phenolic resins. *Bioresource Technology*, 1997, vol. 60, no. 3, pp. 191-198.

61. Wang M., Leithch H., Xu C. Synthesis of phenol-formaldehyde resol resins using organosolv pine lignins. *European Polymer Journal*, 2009, vol. 45, no. 12, pp. 3380-3388.

62. Ysbrendy R.E., Sanderson R.D., Gerischer G.F.R. Adhesives from autohydrolysis bagasse lignin, a renewable resource – Part I. The physical properties of laminates with phenolated ligninnovolacs. Part II. DSC thermal analysis of novolacresins. *Holzforschung*, 1992, vol. 46 (3), pp. 249-255.

УДК 66.095.268+661.632.12+665.947.4

ДЕПОЛИМЕРИЗАЦИЯ КОНДЕНСИРОВАННЫХ ЛИГНИНОВ ПОД ДЕЙСТВИЕМ АЗОТНОЙ КИСЛОТЫ*

© Ю.Г. Хабаров, д-р хим. наук, проф.
Д.Е. Лахманов, асп.

Северный (Арктический) федеральный университет имени М.В. Ломоносова,
наб. Северной Двины, 17, г. Архангельск, Россия, 163000; e-mail: khabarov.yu@mail.ru

Цель исследования – изучение деполимеризующего действия азотной кислоты на конденсированные лигнины в водно-органо-сольвентной среде. Проведены сравнительные исследования деполимеризации технического гидролизного лигнина в водной и водно-спиртовой средах разбавленной азотной кислотой. Установлено, что реакция протекает примерно одинаково: в раствор переходит 50...60 % гидролизного лигнина. Полной деполимеризации гидролизного лигнина не удалось достичь даже за 2 ч. Жидкостный модуль (19 – 21) является оптимальным для проведения реакции в водно-спиртовой среде. В водной среде гидролизующее действие азотной кислоты проявляется сильнее, растворилось 9,1 % хлопковой, 17,8 % беленой лиственной сульфатной целлюлозы и 7,9 % беленой хвойной сульфатной целлюлозы. В водно-спиртовой эти показатели составили 3,6; 9,4 и 8,0 % соответственно. Нами впервые установлено, что при использовании апротонных растворителей (диоксан, диметилсульфоксид), деполимеризация конденсированных лигнинов полностью происходит всего за 15...30 мин. Нерастворившиеся остатки отличаются по физическим свойствам и имеют различные ИК-спектры, в которых сильно уменьшено поглощение при 1506 и 1593 см⁻¹, обусловленное скелетными колебаниями ароматического кольца, возрастает поглощение при 1720 см⁻¹, относящееся к валентным колебаниям карбонильных и карбоксильных групп.

Ключевые слова: лигнин Класона, гидролизный лигнин, деполимеризация, азотная кислота, этанол, диоксан, диметилсульфоксид (ДМСО).

Нативные лигнины при химической переработке растительного сырья претерпевают различные превращения, связанные с изменением как молекулярной массы, так и функционального состава макромолекул лигнина. Такие лигнины называют техническими, их можно рассматривать в качестве побочных продуктов химической переработки древесины. Химическая природа технических лигнинов сильно зависит от процесса, при котором они образовались. Основными видами технических лигнинов являются сульфатный лигнин, гидролизный лигнин, ферментативный лигнин, лигносульфонные кислоты и их соли (лигносульфонаты). Гидролизный лигнин (ГЛ) наиболее

* Статья является введением в цикл работ, посвященных взаимодействию азотной кислоты с лигнинами и лигноцеллюлозными материалами в водно-органо-сольвентной среде, и выполнена при финансовой поддержке Российского фонда фундаментальных исследований (проект № 14-03-31593 мол_а) и Министерства образования и науки РФ с использованием оборудования Центра коллективного пользования научным оборудованием «Арктика» Северного (Арктического) федерального университета имени М.В. Ломоносова.

изменен по сравнению с природными лигнинами [9, 10, 14]. В условиях кислотного гидролиза растительного сырья происходит не только гидролиз полисахаридов, но и очень сильное изменение лигнина. В макромолекулах ГЛ появляются конденсированные ароматические структуры (нафталиновые, антраценовые, фенантроновые), структура лигнина становится трехмерной сетчатой.

Модификация технических лигнинов необходима для расширения направлений их использования за счет изменения свойств и усиления товарной привлекательности. Важным направлением модификации технических лигнинов является деполимеризация вплоть до получения растворимых низкомолекулярных продуктов различного назначения.

Среди многочисленных методов деполимеризации большое значение имеют реакции с азотной кислотой, в ходе которых образуются производные лигнина с азотсодержащими группами, уменьшается молекулярная масса модифицированного лигнина, увеличивается растворимость. К настоящему времени известно большое количество методов обработки лигнинов азотной кислотой.

Одним из направлений использования лигнинов, в том числе и гидролизного, является получение азотсодержащих удобрений. С лигнинами способны взаимодействовать аммиак, амины, азотная и азотистая кислоты, гидразин и его производные, гидроксилламин, изоцианаты, мочевины, однако крупнотоннажными, а значит, и коммерчески выгодными реагентами являются азотная кислота, аммиак, мочевины [15].

Азотная кислота используется в реакциях электрофильного нитрования и в то же время является окислителем [11, 12]. Результаты исследований процессов, происходящих при взаимодействии лигнинов с азотной кислотой в различных условиях, обобщены в монографии [16].

Некоторое время широко проводились исследования по разработке азотнокислой варки целлюлозы, результаты которой были даже использованы в промышленных условиях. Из-за возникающих экологических проблем широкого применения этот способ варки не нашел, однако интерес к этому виду варочного процесса не потерял и в настоящее время [1]. Кроме того, обработка древесины азотной кислотой может быть использована для получения азотсодержащих препаратов, стимулирующих рост растений [6].

Азотная кислота используется для производства нитроцеллюлозы – основы порохов, лаков, эмалей, пластмасс [7]. В аналитической практике химии древесины известны различные направления использования азотной кислоты [8, 13]. Водно-спиртовой раствор азотной кислоты применяется при анализе древесного сырья для определения количественного содержания целлюлозы по методу Кюршнера и Хоффера [8].

Один из известных способов деполимеризации ГЛ – обработка его водным раствором азотной кислоты [4]. Для этого в реактор помещают ГЛ в растворе азотной кислоты и нагревают реакционную смесь при температуре $(83 \pm 2)^\circ\text{C}$ в течение 4 ч, для модификации используется 5...10 %-ая азотная кислота. После этого полученный продукт промывают до нейтральной реак-

ции среды и высушивают. Значительная часть ГЛ остается нерастворенной даже после 4 ч обработки. Экологическая нагрузка процесса нитрования лигнинов может быть снижена [5].

Цель исследования – изучение деполимеризующего действия азотной кислоты на гидролизный лигнин в водно-органо-растворительной среде.

Методическая часть

При выполнении экспериментов были использованы: азотная кислота (х. ч., 65 %); этанол (ректификат, 96 %); серная кислота (ч., 94 %); диоксан (х. ч.); диметилсульфоксид – ДМСО (х. ч.).

Эксперименты проведены на лабораторных образцах лигнина Класона ели (ЛКЕ), березы (ЛКБ) и фракции производственного ГЛ размерами 0,2...1,0 мм, который был промыт водой до нейтральной среды и высушен до воздушно-сухого состояния.

Количественное определение полисахаридов в техническом ГЛ (по величине РВ) было проведено в фильтрах после обработки технического ГЛ в соответствии с методом Класона по методике [3]. Лигнин Класона выделен из опилок еловой и березовой древесины (фракция 0,2...1,0 мм) по методике [8].

Реакцию ГЛ с азотной кислотой проводили в установке с обратным холодильником на водяной бане в течение заданного времени. Для этого в колбу помещали 2,5 г лигнина и заданный объем реагента. Реагент готовили путем смешения азотной кислоты концентрацией 65 % с растворителем в соотношении 1:4 по объему. По завершении реакции нерастворившуюся часть отделяли от раствора вакуум-фильтрованием. Осадок промывали водой до нейтральной реакции, затем сушили до постоянной массы в вакуум-эксикаторе. Эффективность деполимеризации оценивали по степени растворения лигнина.

Обсуждение результатов

Для сравнения действия азотной кислоты в водной и в водно-органо-растворительной среде на ГЛ были проведены опыты при продолжительности реакции 2 ч. Жидкостный модуль изменяли в диапазоне от 13 до 25 (табл. 1).

Таблица 1

Влияние на деполимеризацию условий проведения реакции ГЛ с азотной кислотой

Растворитель	Жидкостный модуль	Процент растворившегося лигнина
Этанол	13	69,6
»	17	55,6
»	19	44,0
»	21	40,8
»	23	56,0
»	25	61,2
Вода	25	70,4

Как видно из табл. 1, в водно-спиртовой среде деполимеризующее действие азотной кислоты проявляется несколько сильнее, чем в водной. Оптимальным с точки зрения деполимеризующего действия является жидкостный модуль от 19 до 21. Процент нерастворившегося ГЛ довольно высок, даже при большой длительности проведения реакции.

Технические ГЛ всегда содержат не только лигнинные соединения, но и полисахариды, которые могут принимать участие в химических процессах, протекающих при взаимодействии ГЛ с азотной кислотой, что затрудняет интерпретацию результатов. В образце ГЛ, используемом в эксперименте, содержание углеводов (по величине РВ) составило $(21,2 \pm 0,2)$ %. Поэтому для оценки воздействия азотной кислоты на полисахариды в условиях, аналогичных условиям обработки ГЛ, были проведены опыты с хлопковой целлюлозой и белеными сульфатными целлюлозами из лиственной и хвойной древесины (табл. 2).

Таблица 2

**Растворимость целлюлозы при взаимодействии с азотной кислотой
в различных растворителях**

Целлюлоза	Растворитель	Процент растворившейся целлюлозы
Хлопковая	Этанол	3,6
	Вода	9,1
Беленая сульфатная: лиственная	Этанол	9,4
	Вода	17,8
хвойная	Этанол	8,0
	Вода	7,9

Оказалось, что водный и водно-спиртовый растворы азотной кислоты по-разному действуют не только на лигнинные соединения, но и на полисахариды. В водной среде гидролизующее действие азотной кислоты проявляется сильнее, растворилось 9,1 % хлопковой, 17,8 % беленой лиственной и 7,9 % беленой хвойной сульфатной целлюлозы; в водно-спиртовой среде эти показатели составили 3,6; 9,4 и 8,0 % соответственно.

Чтобы исключить влияние полисахаридов на взаимодействие лигнина с азотной кислотой, были проведены опыты с конденсированными лигнинами Класона (ели и березы) лабораторного приготовления, в которых углеводные компоненты отсутствуют. Результаты этих опытов, приведенные в табл. 3, показывают, что продолжительность реакции существенно влияет на процесс деполимеризации не только ГЛ, но и лигнинов Класона. Поэтому в дальнейшем было изучено влияние продолжительности процесса на деполимеризацию самого ГЛ. Результаты этих опытов представлены в виде графиков на рис. 1.

Таблица 3

Влияние на деполимеризацию условий проведения реакции лигнина Класона с азотной кислотой

Лигнин Класона	Растворитель	Продолжительность обработки, мин	Процент растворившегося лигнина Класона
Еловый	Этанол	15	3,7
		120	43,6
	Вода	15	5,4
		120	32,1
	Диоксан	15	100,0
		ДМСО	15
Березовый	Этанол	15	26,0
		120	84,5
	Вода	15	23,1
		120	74,2
	Диоксан	15	100,0
		ДМСО	15

Как видно из рис. 1, деполимеризующее действие азотной кислоты в водной и водно-спиртовой средах примерно одинаково. Но при большой продолжительности процент растворившегося в водно-спиртовой среде ГЛ выше, чем при проведении реакции в водной среде. Скорость растворения ГЛ в водно-спиртовой среде слабо зависит от продолжительности реакции, а в водной среде наблюдается тенденция постоянного снижения скорости процесса. Даже за 2 ч растворяется только половина ГЛ. Решить задачу полной деполимеризации ГЛ путем проведения реакции в водной или водно-спиртовой средах, к сожалению, не удалось.

Известно, что на протекание реакции большое влияние оказывает сольватация. При изменении типа растворителя скорость химической реакции может измениться в 10^9 раз. Сольватация определяет относительную устойчивость таутомеров, конформеров, изомеров, влияя на механизм реакций [2]. Сильными сольватирующими свойствами обладают некоторые апротонные органические растворители, например диоксан, ДМСО. Можно было ожидать, что их применение даст положительный эффект. Это предположение полностью оправдалось с лигнинами Класона: уже через 15 мин и еловый, и березовый лигнины Класона полностью растворились. Полная депо-

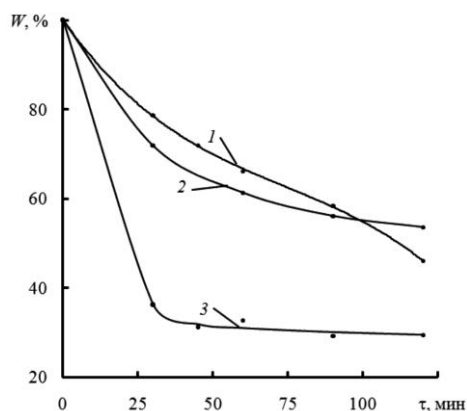


Рис. 1. Кинетика деполимеризации технического ГЛ азотной кислотой в водно-спиртовой (1), водной (2) и водно-диоксановой (3) средах (W – неразстворившийся остаток ГЛ от массы исходного лигнина; τ – продолжительность реакции)

лимеризация ГЛ азотной кислотой в водно-диоксановой среде проходит буквально за 20...30 мин (рис.1, кривая 3). Аналогичный эффект получен и при использовании в качестве растворителя ДМСО.

Нерастворимый остаток представляет собой светло-серую массу. В опытах с водным и водно-спиртовым растворами азотной кислоты нерастворившийся остаток ГЛ окрашен в краснокоричневый цвет. Большие различия наблюдаются и в ИК-спектрах (рис. 2). По сравнению с ИК-спектром исходного ГЛ в спектрах нерастворившейся части продуктов реакции ГЛ очень сильно уменьшено поглощение ароматических ядер при 1506 и 1593 см^{-1} , обусловленное скелетными колебаниями ароматического кольца, возрастает поглощение при 1720 см^{-1} , что обычно относят к валентным колебаниям карбонильных и карбоксильных групп.

Таким образом, впервые установлено, что азотная кислота быстро и полностью деполимеризует конденсированные лигнины, если реакция проводится в водно-диоксановой или водно-диметилсульфоксидной средах.

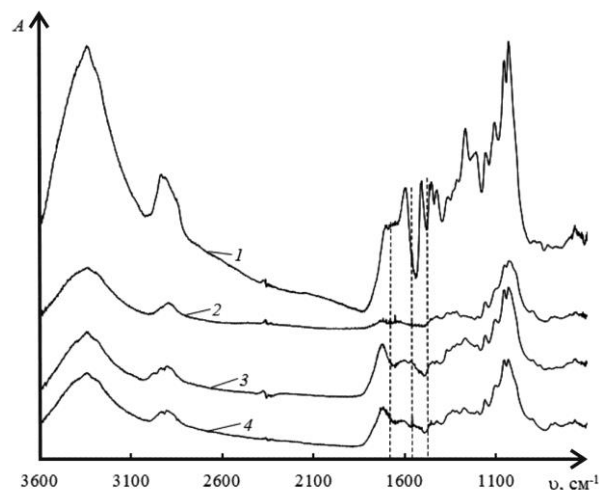


Рис. 2. ИК-спектры нерастворившихся остатков ГЛ после реакции с азотной кислотой: 1 – исходный ГЛ; 2 – водно-диоксановая; 3 – водно-спиртовая; 4 – водная среда (A – оптическая плотность, ν – волновое число)

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Будаева В.В., Гисматулина Ю.А., Золотухин В.Н., Роговой М.С., Мельников А.В. Физико-химические свойства целлюлозы из соломы льна-межеумка // Ползуновский вестн. 2013. № 3. С. 163–173.
2. Бургер К. Сольватация, ионные реакции и комплексообразование в неводных средах: пер. с англ. М.: Мир, 1984. 256 с.
3. Вешняков В.А., Хабаров Ю.Г., Камакина Н.Д. Сравнение методов определения редуцирующих веществ: метод Бертрена, эбулиостатический и фотометрический методы // Химия раст. сырья. 2008. № 4. С. 47–50.
4. Виноградова Л.М., Горбатенко И.В., Зильберглейт М.А., Кандыбович И.И., Кебич М.С., Федорова О.И. Конверсия технического лигнина растворами азотной кислоты // Материалы. Технологии. Инструменты. 1999. № 3. С. 87–89.

5. Гоготов А.Ф., Панасенков Ю.В., Панчуков И.Л., Шилкин Е.В., Бабкин В.А. Повышение экологической безопасности технологии нитрования лигнина // Химия в интересах устойчивого развития. 1996. № 4. С. 245–257.
6. Ефанов М.В., Галочкин А.И. Нитрование древесины осины при механохимической обработке // Лесн. журн. 2003. № 2–3. С. 112–116. (Изв. высш. учеб. заведений).
7. Коваленко В.И. Молекулярно-структурная неоднородность нитратов целлюлозы // Успехи химии. 1995. Т. 64, № 8. С. 803–817.
8. Оболенская А.В., Ельницкая З.П., Леонович А.А. Лабораторные работы по химии древесины и целлюлозы: учеб. пособие для вузов. М.: Экология, 1991. 320 с.
9. Резников В.М. Реакционная способность лигнина и его превращения в процессах делигнификации древесины // Химия древесины. 1977. № 3. С. 3–23.
10. Спирина Т.Н., Сапрыкина Н.Н., Андреева О.А., Куликова Е.М., Сазанов Ю.Н., Крутов С.М., Юдин В.Е. Морфология модифицированного гидролизного лигнина // ЖПХ. 2012. Т. 85, вып. 5. С. 794–798.
11. Топчиев А.В. Нитрование углеводов и других органических соединений. М.: Изд-во АН СССР, 1956. 488 с.
12. Фойер Г. Химия нитро- и нитрозогрупп. Т.2. М.: Мир, 1973. 301 с.
13. Хабаров Ю.Г., Песьякова Л.А. Аналитическая химия лигнина: моногр. Архангельск: Изд-во АГТУ, 2008. 172 с.
14. Холькин Ю.И. Технология гидролизных производств. М.: Лесн. пром-сть, 1989. 233 с.
15. Чудаков М.И. Промышленное использование лигнина. 3-е изд., испр. и доп. М.: Лесн. пром-сть, 1983. 200 с.
16. Шорыгина Н.Н., Резников В.М., Елкин В.М. Реакционная способность лигнина. М.: Наука, 1976. 368 с.

Поступила 12.02.14

УДК 66.095.268+661.632.12+665.947.4

Depolymerization of Condensed Lignins with Hydrogen Nitrate

U.G. Habarov, Doctor of Chemistry, Professor

D.E. Lakhmanov, Postgraduate Student

Northern (Arctic) Federal University named after M.V. Lomonosov, Naberezhnaya Severnoy Dviny, 17, Arkhangelsk, 163000, Russia, e-mail: dmi84339053@ya.ru

The aim of the work was studying depolymerizing action of hydrogen nitrate on condensed lignin in an aqueous-organosolvent medium. A comparative studies of technical hydrolytic lignin depolymerization in aqueous and aqueous-alcoholic medium with dilute hydrogen nitrate were carried out. It has been found that the reaction takes place about the same, full depolymerization of hydrolytic lignin is failed to reach even for 2 hours. In these conditions 50..60 % of hydrolytic lignin goes into solution. The fluid module 19...21 is optimal for performing the reaction in an aqueous-alcoholic medium. In aqueous medium hydrogen nitrate is stronger hydrolyze polysaccharides: 9,1 % cotton cellulose, 17,8 % bleached hardwood kraft pulp and 7,9 % bleached softwood kraft pulp. In aqueous-alcoholic medium these figures were 3,6, 9,4 and 8,0 %, respectively. We first have found that when using the aprotic solvents (dioxane, dimethylsulfoxide), full depolymerization of condensed lignins

goes in just 15...30 min. Undissolved residues are different in physical properties and have different IR spectra. The absorption at 1506 and 1593 cm^{-1} due to the aromatic ring skeletal vibrations is strongly reduced. The absorption at 1720 cm^{-1} relating to the valent vibrations of the carbonyl and carboxyl groups is increased. First it has been found that hydrogen nitrate depolymerize rapidly and completely condensed lignins if the reaction is carried out in aqueous-dioxane or aqueous-dimethylsulfoxide medium.

Keywords: Klason lignin, hydrolytic lignin, depolymerization, hydrogen nitrate, ethanol, dioxane, dimethylsulfoxide.

REFERENCES

1. Budaeva V.V., Gismatulina Yu.A., Zolotukhin V.N., Rogovoy M.S., Mel'nikov A.V. Fiziko-khimicheskie svoystva tsellyulozy iz solomy l'na-mezheumka [Physico-Chemical Properties of Cellulose from Straw Flax]. *Polzunovskiy vestnik*, 2013, no. 3, pp. 163-173.
2. Burger K. *Sol'vatatsiya, ionnyye reaksii i kompleksobrazovanie v nevodnykh sredakh* [The Solvation, Chelation, and Ionic Reactions in Nonaqueous Media]. Moscow, 1984. 256 p.
3. Veshnyakov V.A., Khabarov Yu.G., Kamakina N.D. Sravnenie metodov opredeleniya redutsiruyushchikh veshchestv: metod Bertrana, ebulliostaticheskiy i fotometricheskii metody [Comparison of Methods for the Determination of Reducing Substances: the Bertrand Method, Ebulliosstatic and Photometric Methods]. *Khimiya rastitel'nogo syr'ya*, 2008, no. 4, pp. 47-50.
4. Vinogradova I.M., Gorbatenko I.V., Zil'bergeyt M.A., Kandybovich I.I., Kebich M.S., Fedorova O.I. Konversiya tekhnicheskogo lignina rastvorami azotnoy kisloty [Conversion of Technical Lignin by Solutions of Hydrogen Nitrate]. *Materialy. Tekhnologii. Instrumenty*, 1999, no.3, pp. 87-89.
5. Gogotov A.F., Panasnikov Yu.V., Panchukov I.L., Shilkin E.V., Babkin V.A. Povyshenie ekologicheskoy bezopasnosti tekhnologii nitrovaniya lignina [Environmental Safety Enhancement of Nitration Technology of Lignin]. *Khimiya v interesakh ustoychivogo razvitiya*, 1996, no. 4, pp. 245-257.
6. Efanov M.V., Galochkin A.I. Nitrovanie drevesiny osiny pri mekhanokhimicheskoy obrabotke [Nitration of Aspen Wood under Mechanochemical Treatment]. *Lesnoy zhurnal*, 2003, no. 2-3, pp. 112-116.
7. Kovalenko V.I. Molekulyarno-strukturnaya neodnorodnost' nitratov tsellyulozy [Molecular Structural Heterogeneity of Cellulose Nitrates]. *Uspekhi khimii*, 1995, vol. 64, no. 8, pp. 803-817.
8. Obolenskaya A.V., El'nitskaya Z.P., Leonovich A.A. *Laboratornye raboty po khimii drevesiny i tsellyulozy* [Laboratory Works on the Chemistry of Wood and Cellulose]. Moscow, 1991. 320 p.
9. Reznikov V.M. Reaktsionnaya sposobnost' lignina i ego prevrashcheniya v protsessakh delignifikatsii drevesiny [Reactivity of Lignin and its Transformation into Wood Delignification]. *Khimiya drevesiny*, 1977, no. 3, pp. 3-23.
10. Spirina T.N., Saprykina N.N., Andreeva O.A., Kulikova T.M., Sazanov Yu.N., Krutov S.M., Yudin V.E. Morfologiya modifitsirovannogo gidroliznogo lignina [Morphology of Modified Hydrolytic Lignin]. *Zhurnal prikladnoy khimii*, 2012, vol. 85, no. 5, pp. 794-798.

11. Topchiev A.V. *Nitrovanie uglevodorodov i drugikh organicheskikh soedineniy* [Nitration of Hydrocarbons and Other Organic Compounds]. Moscow, 1956. 488 p.
 12. Foyer G. *Khimiya nitro i nitrozogrupp* [Nitro and Nitrose Groups Chemistry]. Moscow, 1973, vol. 2. 301 p.
 13. Khabarov Yu.G., Pes'yakova L.A. *Analiticheskaya khimiya lignina* [Analytical Chemistry of Lignin]. Arhangelsk, 2008. 172 p.
 14. Khol'kin Yu.I. *Tekhnologiya gidroliznykh proizvodstv* [Hydrolysis Technology Industries]. Moscow, 1989. 233 p.
 15. Chudakov M.I. *Promyshlennoe ispol'zovanie lignina* [Industrial Use of Lignin]. Moscow, 1983. 200 p.
 16. Shorygina N.N., Reznikov V.M., Elkin V.M. *Reaktionnaya sposobnost' lignina* [Reactivity of Lignin]. Moscow, 1976. 368 p.
-
-

УДК 676.15/16.054.1(075)

**КООРДИНАТЫ ТОЧЕК СКРЕЩИВАНИЯ РЕЖУЩИХ КРОМОК
ОКРУЖНЫХ НОЖЕЙ РАЗМОЛЬНОЙ ГАРНИТУРЫ**© *В.И. Ковалев, канд. техн. наук, доц.**Ю.Д. Алашкевич, д-р техн. наук, проф.*

Сибирский государственный технологический университет, пр. Мира, 82, г. Красноярск, Россия, 660049; e-mail: mapt@sibstu.kts.ru

Существенное влияние на качество готового полуфабриката оказывает процесс размола. Оценка качества готового полуфабриката напрямую связана с решением ряда частных задач, решение одной из которых представлено в данной статье. Для прямолинейных режущих кромок ножей ротора и статора эти и ряд других задач решены. Нами предлагается решение частной задачи для окружных единичных ножей ротора и статора. Представлены фрагменты схемы рабочей поверхности сопряжения сцентрированных дисков с пересекающимися окружными режущими кромками единичных ножей вращающегося ротора и неподвижного статора в исходном положении и произвольном, когда диск и режущая кромка единичного ножа ротора совершили поворот относительно совмещенного центра и режущей кромки статора на заданный угол. Составлены уравнения окружных режущих кромок единичных ножей ротора и статора. Решение системы этих уравнений имеет вид канонической формы квадратного уравнения. Корни данного уравнения являются искомым результатом, который при равномерном распределении ножей на рабочих поверхностях дисков ротора и статора создает исчерпывающие предпосылки для выяснения зависимости угла между касательными к режущим кромкам окружных ножей (в точке их скрещивания) от угла поворота диска ротора; расчета угла скрещивания между касательными к режущим кромкам окружных ножей (в точке их скрещивания); расчета коэффициента использования длины режущих кромок ножей и его экспериментальной проверки. При других распределениях (например, секторном) данная методика нуждается в специальной доработке. Для дальнейших исследований потребуются создание дополнительной математической базы и условий, направленных на выявление закономерностей влияния полезной части длины окружных режущих кромок ножей на основные бумагообразующие свойства целлюлозы, на показатели физико-механических свойств отливок, а также на технологические и энергосиловые характеристики работы ножевых размалывающих машин; выявление наиболее оптимальных значений полезной части длины прямолинейных режущих кромок ножей для различных древесноволокнистых полуфабрикатов с учетом их физико-механических характеристик и свойств; проведение корреляции основных технологических параметров с учетом полезной части длины режущих кромок ножей.

Ключевые слова: гарнитура, диск, координата, кромка, окружной нож, поверхность, радиус, распределение, режущая, точка скрещивания, трансцендентный, определенный угол.

Введение

Известно, что из всех стадий технологического процесса получения древесноволокнистой массы наиболее существенное влияние на качество готового полуфабриката оказывает процесс размола. Уровень качества напрямую связан с решением следующих прикладных задач:

определение координат произвольной точки скрещивания режущих кромок окружных единичных ножей ротора и статора;

определение угла скрещивания касательных к режущим кромок окружных единичных ножей ротора и статора в произвольной точке кольцевой размалывающей зоны;

определение коэффициента использования длины режущих кромок окружных ножей ротора и статора.

Для прямолинейных режущих кромок ножей ротора и статора эти и ряд других задач решены в [2, 3].

Постановка задачи

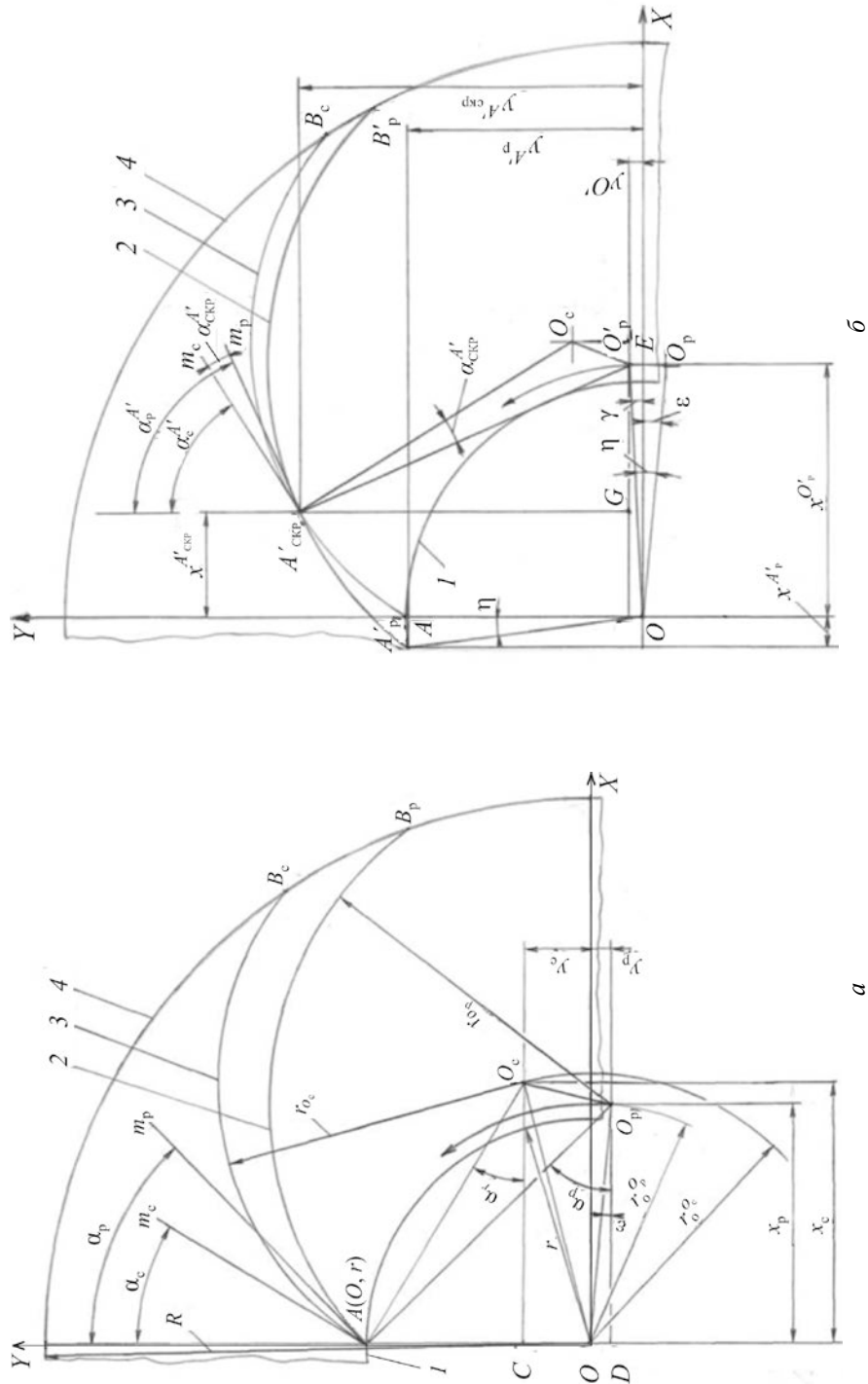
Распределение ножей на рабочих поверхностях дисков. Считаем, что окружные ножи равномерно распределены на рабочих поверхностях кольцевых дисков гарнитуры. Это значит, что касательные, проведенные к окружным режущим кромок в точках их пересечения с входной окружной кромкой диска, образуют одинаковые входные углы с радиусами, проведенными в эти точки из центра дисков; наклонены на одинаковый угол относительно аналогичных касательных к режущим кромок соседних ножей; равномерно расходятся от центра к периферии.

Воспользуемся фрагментом схемы (в системе декартовых координат $X - Y$) рабочей поверхности сопряжения сцентрированных кольцевых дисков ротора и статора с пересекающимися окружными режущими кромок их единичных ножей.

Расшифровка обозначений на рисунке, где представлены схемы с изображением режущих кромок единичных ножей ротора и статора, пересекающихся в исходном (см. рисунок, *а*) и промежуточном (см. рисунок, *б*) положениях.

Общие элементы и обозначения:

- 1 – входная окружная кромка сопряженных дисков ротора и статора;
- 2 и 3 – пересекающиеся окружные режущие кромок (AB_p) и (AB_c);
- O – центр пересечения осей координат $X - Y$;
- $O_p(x_p, y_p)$ – центр кривизны окружной кромок 2 (AB_p) ротора;
- $O_c(x_c, y_c)$ – центр кривизны окружной кромок 3 (AB_c) статора;
- 4 – выходная окружная кромка сопряженных дисков ротора и статора;
- $A(O, r)$ – входная точка пересечения кромок $1, 2$ и 3 с осью Y ;
- ε – угол между осью координат X и прямолинейным отрезком OO_p ;
- стрелка – направление вращения диска ротора.



Исходная (а) и произвольная (б) схемы контакта режущих кромок окружных ножей

Дополнительные элементы, изображенные в исходном положении:

r – радиус кромки 1;

R – радиус кромки 4;

r_{O_p} – радиус кривизны кромки 2;

r_{O_c} – радиус кривизны кромки 3;

$r_{O_p}^{O_p} = O - O_p$ – радиус вращения центра O_p относительно O ;

$r_{O_c}^{O_c} = O - O_c$ – условный радиус вращения центра O_c относительно O ;

m_p – касательная к кромке 2 (AB_p) в точке A ;

m_c – касательная к кромке 3 (AB_c) в точке A ;

α_p – входной угол между касательной m_p и отрезком $OA = r$;

α_c – входной угол между касательной m_c и отрезком $OA = r$;

$\alpha_{скр}$ – входной угол скрещивания в т. A , между m_p и m_c ;

т. D – проекция центра O_p на ось Y ;

т. C – проекция центра O_c на ось Y .

Дополнительные элементы, изображенные в промежуточном положении:

η – угол поворота кромки 2 из положения $A_p B_p$ в положение $A'_p B'_p$;

A'_p – положение т. A кромки AB_p после ее поворота на угол η ;

$A'_p B'_p$ – положение кромки 2 ротора после его поворота на угол η ;

$O'_p(x^{O'_p}; y^{O'_p})$ – промежуточное положение центра кривизны кромки 2;

γ – угол между осью X и отрезком OO'_p ;

$A'_{скр}(x^{A'_{скр}}; y^{A'_{скр}})$ – промежуточное положение точки скрещивания кромок 2 и 3 после поворота первой на угол η ;

m'_p – касательная к кромке 2 в точке $A'_{скр}$;

m'_c – касательная к кромке 3 в точке $A'_{скр}$.

Входные параметры:

$r_{O_p}^{O_p} = O - O_p = r_{O_p}^{O'_p} = O - O'_p$; $r_{O_c}^{O_c}$; r ; R ; r_{O_p} ; r_{O_c} ; α_p ; α_c ; η ; ε ; γ .

Выходные параметры:

$x^{A'_{скр}}$, $y^{A'_{скр}}$.

Материалы и методы исследования

На рисунке поворот ротора на угол η относительно т. O происходит одновременно с перемещением центра кривизны кромки 2 из положения O^p в положение O'_p ; кромки 2 из положения AB_p в положение $A'_p B'_p$; точки скрещивания по кромке 3 из положения A в положение $A'_{скр}$.

Уравнение кромки 3 статора [1]:

$$(x_c - x^{A'_{скр}})^2 + (y_c - y^{A'_{скр}})^2 = r_{O_c}^2.$$

Уравнение кромки 2 ротора [1]:

$$(x^{O_p} - x^{A_{\text{СКР}}})^2 + (y^{A_{\text{СКР}}} - y^{O_p})^2 = r_{O_p}^2.$$

Составим систему из данных уравнений:

$$\begin{cases} (x_c - x^{A_{\text{СКР}}})^2 + (y^{A_{\text{СКР}}} - y_c)^2 = r_{O_c}^2 \\ (x^{O_p} - x^{A_{\text{СКР}}})^2 + (y^{A_{\text{СКР}}} - y^{O_p})^2 = r_{O_p}^2 \end{cases}.$$

Решение и преобразование системы приводит к квадратному уравнению

$$a(y^{A_{\text{СКР}}})^2 + by^{A_{\text{СКР}}} + c = 0 \quad [1],$$

где коэффициенты

$$a = \frac{(y^{O_p} - y_c)^2}{(x^{O_p} - x_c)^2} + 1; \quad b = \frac{(y^{O_{\text{СКР}}} - y_c)(2x^{O_p}x_c + x_c^2 - y_c^2 - r_{O_c}^2)}{2(x^{O_p} - x_c)};$$

$$c = \frac{(2x^{O_p}x_c + x_c^2 - y_c^2 - r_{O_c}^2)^2}{4(x^{O_p} - x_c)^2} - r_{O_c}^2 + y_c^2$$

включают только входные параметры.

Решением данного квадратного уравнения являются координаты точки $A'_{\text{СКР}}$ режущих кромок 2 и 3 ножей соответственно ротора и статора [1]:

$$y_{1,2}^{A_{\text{СКР}}} = \frac{-b \pm \sqrt{b^2 - 4ac}}{2a}; \quad x_{1,2}^{A_{\text{СКР}}} = x_c - \sqrt{r_{O_c}^2 - \left(\frac{-b \pm \sqrt{b^2 - 4ac}}{2a} - y_c\right)^2}.$$

Значения $y^{A_{\text{СКР}}}$ и $x^{A_{\text{СКР}}}$ принимаются с учетом четверти декартовых координат, в которой расположены скрещивающиеся режущие кромки 2 и 3.

Обсуждение результатов

Таким образом, нами определены координаты точки скрещивания окружных режущих кромок ножей ротора и статора после поворота ротора на произвольно заданный угол. При равномерном распределении окружных ножей на рабочих поверхностях дисков ротора и статора полученный результат создает исчерпывающие предпосылки для нахождения угла скрещивания между касательными к режущим кромкам окружных ножей (в точке их скрещивания) [3]; зависимости угла скрещивания касательных к режущим кромкам окружных ножей от угла поворота диска [3]; коэффициента использования длины режущих кромок [3].

При других распределениях ножей на рабочих поверхностях дисков ротора и статора данная методика нуждается в специальной доработке.

Заключение

Можно предположить, что дальнейшие исследования потребуют создания дополнительной математической базы и условий, направленных, в частности, на решение следующих задач [2 – 4]:

выявление закономерностей влияния полезной части длины прямолинейных режущих кромок ножей на свойства целлюлозы, технологические и энергосиловые характеристики работы ножевых размалывающих машин;

нахождение полезной части длины окружных режущих кромок ножей;
корреляция основных технологических параметров с учетом полезной
части длины режущих кромок ножей.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Выгодский М.Я.* Справочник по высшей математике. М: Наука, 1977. 872 с.
2. *Ковалев В.И., Алашкевич Ю.Д., Васютин В.Г.* Обоснование построения рисунка гарнитуры ножевых размалывающих машин // Новые достижения в химии и химической технологии растительного сырья Кн. 3. Барнаул: Алт. ун-т 2007. С. 90–94.
3. *Ковалев В.И.* Размол волокнистых полуфабрикатов при различном характере построения рисунка ножевой гарнитуры: дис. ... канд. техн. наук. Красноярск, 2007. 76 с.
4. Пат. 2307883 Р.Ф. МПК51 D21D1/30, B02C 7/12. Размалывающая гарнитура / Алашкевич Ю.Д., Ковалев В.И., Харин В.Ф., Мухачев А.П.; заявитель и патентообладатель СибГТУ. № 2006110647/12.; заявл. 03.04.2006; опубл. 10.10.2007, Бюл. № 28. 5 с.

Поступила 18.03.14

УДК 676.15/16.054.1(075)

Crossing Point Data of Cutting Edges District of Blades Grinding Tacking

V.I. Kovalev, Candidate of Engineering, Associate Professor

Y.D. Alashkevich, Doctor of Engineering, Professor

Siberian State Technological University, Prospekt Mira, 82, 660049, Krasnoyarsk, Russia,
e-mail: mapt@sibstu.kts.ru.

The grinding process renders significant impact on the quality of semi-finished product. Assessment of quality semi-finished product is directly related to the solution of particular problems, solving one of which is presented in this paper. For straight cutting edges of rotor and stator blades, these and other problems have been solved. The fragments of circuit work surface of centered disk interface with concentric circle cutter unit of rotating rotor and fixed stator blades in the initial and arbitrary position are presented - when the drive unit and the cutting edge of the rotor blade made of combined rotation about the center and the cutting edge of the stator at a predetermined angle. Equations of the circumferential cutting edge of individual blades of the rotor and the stator are composed. The solution of these equations is the canonical form of a quadratic equation. The roots of this equation, is the sought result. The obtained result (with a uniform distribution on the blade of a disc rotor and stator) creates a comprehensive background for: determination the dependence of the angle between the tangent to the cutting edges of the circumferential blades (in their crossing point) from the angle of rotation of the rotor disc; calculation the angle between the tangent to the cutting edges of circumferential blades (in their crossing point); calculation of the use factor of the length of the cutting edges of blades; its experimental verification. For other compartitions (such as sectorial), these methods are required special elaboration. For further studies it is required the creation of additional mathematical framework and conditions, aimed, in particular, on the following tasks: identification of the influence of useful

portion of the circumference cutting edges of blades on the basic properties of papermaking pulp; physical-mechanical parameters of casting, as well as technological and energy-strength characteristics of the knife grinding machine, to identify the most optimal values of the useful length of the straight cutting edges for various blades of fiber semi-finished products, according to their physical-mechanical characteristics and properties; carrying out the correlation of main technological parameters considering the useful part of the length of the cutting edges of the blades.

Keywords: tacking, disc, point, edge, blade, circumferential, blade, surface, radius, distribution, cutting, crossing point, transcendental, certain angle.

REFERENCES

1. Vygodskiy M.Ya. *Spravochnik po vysshey matematike* [Handbook of Higher Mathematics]. Moscow, 1977. 872 p.
 2. Kovalev V.I., Alashkevich Yu.D., Vasyutin V.G. Obosnovanie postroeniya risunka garnitury nozhevykh razmalyvayushchikh mashin [Substantiation of Construction of Tacking Drawing of Knife Grinder]. *Novye dostizheniya v khimii i khimicheskoy tekhnologii rastitel'nogo syr'ya: materialy III Alt.* [New Achievements in Chemistry and Chemical Engineering of Plant Materials: Proc. of III Alt]. Barnaul, 2007, vol. 3, pp. 90-94.
 3. Kovalev V.I. *Razmol voloknistykh polufabrikatov pri razlichnom kharaktere postroeniya risunka nozhevoy garnitury*: dis....kand. tekhn. nauk [Grinding of Fibrous Half-Stuff at Different Character Sets for Constructing of Knife Tacking: dis.....Cand. Techn. Sci.]. Krasnoyarsk, 2007. 176 p.
 4. Alashkevich Yu. D., Kovalev V. I., Kharin V. F., Mukhachev A. P. *Razmalyvayushchaya garnitura* [Grind Tacking]. Patent RF, no. 2307883. MPK51 D21D1/30, B02C 7/12. 2007
-



ЮБИЛЕИ

УДК 06.091

ЮБИЛЕЙ ВЛИДИМИРА ИЛЬИЧА МОСЯГИНА

14 июня 2014 г. исполнилось 75 лет В.И. Мосягину, видному ученому-экономисту и высококвалифицированному преподавателю, широко известному в науке, лесном образовании и бизнес-сообществе. В.И. Мосягин – профессор С.-Петербургского лесотехнического университета, доктор экономических наук, действительный член Международной академии наук экологии и безопасности жизнедеятельности, член-корреспондент Международной академии наук высшей школы.



Родился В.И. Мосягин в Ленинграде, пережил все ужасы блокады. После окончания школы он поступил Ленинградскую лесотехническую академию (ЛТА). В 1963 г. его дипломный проект был удостоен золотой медали ВДНХ СССР. После окончания вуза работал инженером в институте «Гипрогидролиз», часто выезжал на предприятия, расположенные в различных регионах страны (Архангельск, Красноярск, Пермь, Свердловск, Тулун, Зима, Бирюса, Краснодар, Свердловск и др.).

В 1965 г. был приглашен в аспирантуру ЛТА. С этим вузом была связана практически вся его научная и педагогическая деятельность. Здесь он прошел путь от ассистента до заведующего кафедрой, защитил кандидатскую и докторскую диссертации.

Профессор В.И. Мосягин хорошо известен специалистам как ведущий ученый в области экономических исследований лесного комплекса, вторичных ресурсов и природоохранной деятельности. Он положил начало научным разработкам проблемы учета и анализа природоохранных затрат, внес много ценного в теорию и практику бухгалтерского учета производственных отходов. Велика его заслуга в области изучения эколого-экономической эффективности комплексного использования сырья и стоимостной оценки отходов лесопромышленной переработки. Большой интерес у специалистов вызывают его научные работы: «Экономические проблемы использования лигнина» (1981 г.), «Вторичные ресурсы целлюлозно-бумажной и гидролизной промышленности» (1987 г.), «Охрана природы в отраслях химической переработки древесины» (1993 г.), «Вторичные ресурсы лесного комплекса» (1998 г.), «Экономические проблемы экологизации лесного комплекса» (1999 г.).

В последние годы научные интересы Владимира Ильича сосредоточены на таких приоритетных направлениях рыночной экономики, как ценообразование и развитие производственного предпринимательства. Большой вклад внес профессор Мосягин в решение проблем договорного ценообразования в производственном предпринимательстве, страхования договорных цен, экономического обоснования хозяйственных договоров. Для успешного функционирования на рынке предприятий лесного комплекса им были опубликованы следующие работы: «Теория и практика рыночного ценообразования» (2001 г.), «Ценообразование в ЦБП» (2008 г.), «Экономическое обоснование договоров поставок» (2010 г.), «Основные факторы формирования конкурентоспособности продукции лесного комплекса» (2010 г.) и др. Всего по результатам научных исследований профессором В.И. Мосягиным издано более 120 научных трудов, ряд из которых опубликованы за рубежом или переведены на иностранные языки. Важно отметить, что результаты выполненных автором исследований не только отличаются научной новизной, но и находят широкое применение на практике.

Научно-исследовательская работа В.И. Мосягина тесно связана с его педагогической деятельностью, которой он занимается более 50 лет. По мнению коллег, он является образцом преподавателя высшей школы, опытным и высококвалифицированным методистом, блестяще читает лекции, обладает широким научным кругозором и эрудицией. Об этом свидетельствуют написанные им учебники: «Организация, планирование и управление на лесохимических и гидролизных предприятиях» (1983 г.), «Организация, планирование и управление на деревоперерабатывающих и лесохимических предприятиях» (1990 г.), «Экономика деревообрабатывающей промышленности» (1991 г.), «Производственное предпринимательство: основные виды деятельности» (2002 г., 2009 г.), «Цены и ценообразование в лесном комплексе» (2008 г., 2012 г.), которые в полной мере отвечают современным экономическим теориям и методическим требованиям.

Важным направлением педагогической деятельности профессора В.И. Мосягина является подготовка магистров, работа с аспирантами и соискателями. Он руководит магистерской программой по маркетингу, подготовил 14 кандидатов наук, которые успешно трудятся как в России, так за ее пределами. Много сил и внимания уделяет студентам и аспирантам, приехавшим на учебу из других стран. Результат научной и педагогической деятельности В.И. Мосягина – это его монографии, учебники и учебные пособия, журнальные статьи и др., которые широко используются студентами и преподавателями, научными работниками и предпринимателями.

Владимир Ильич принимает активное участие в общественной работе. Более 20 лет руководил студенческим научным обществом, которое рассматривал как один из важнейших элементов учебно-воспитательного процесса и приобщения студентов к научно-исследовательской работе. Он проводит беседы и читает лекции по актуальным проблемам экономики, возглавляет кон-

курсы, конференции, выставки и проводит студенческие олимпиады по бухгалтерскому учету.

Активную роль В.И. Мосягин сыграл в организации выпускающей кафедры бухгалтерского учета и анализа хозяйственной деятельности, которую возглавлял на протяжении 13 лет. С 1967 г. и до настоящего времени он сотрудничает с «Лесным журналом» в качестве автора и рецензента, является членом диссертационного совета, председателем проблемного совета по экологии, экспертом Минэкономки РФ.

Профессор В.И. Мосягин, как натура удивительно работоспособная и устремленная в будущее не очень любит вспоминать прошлое. Его больше интересует завтрашний день, чтобы продолжить то, что он делает всю жизнь. Желаем юбиляру крепкого здоровья, неиссякаемой энергии, оптимизма и дальнейших творческих успехов.

© *А.И. Кorableв, канд. эконом. наук, проф.*

Н.В. Мурашкин, д-р. эконом. наук., проф.

Д.Р. Тростинский, канд. эконом. наук., доц.

З.А. Дикая, канд. эконом. наук, проф.

В.М. Евдокимов, канд. эконом. наук., доц.

С.-Петербургский государственный лесотехнический университет
имени С.М. Кирова

Birthday Anniversary of Vladimir Mosyagin

A.I. Korablev, Candidate of Economics, Professor

N.V. Murashkin, Doctor of Economics, Professor

D.R. Trostinskiy, Candidate of Economics, Associate Professor

Z.A. Dikaya, Candidate of Economics, Professor

V.M. Evdokimov, Candidate of Economics, Associate Professor

Saint Petersburg State Forest Technical University named after S.M. Kirov, Institutskiy per,
5, Saint Petersburg, 194021, Russia



ПАМЯТИ УЧЕНЫХ

ПАМЯТИ НИКОЛАЯ ИВАНОВИЧА АФАНАСЬЕВА (1959–2014 гг.)

28 июля 2014 г. на 55 году жизни скоропостижно скончался блестящий ученый, талантливый руководитель, доктор химических наук Николай Иванович Афанасьев.

Николай Иванович родился 21 ноября 1959 г. в г. Усолье Пермского края. В 1982 г. он успешно окончил химико-технологический факультет Пермского политехнического института по специальности «Химическая технология целлюлозно-бумажного производства» с присвоением квалификации инженер-химик-технолог. Во время учебы в институте Николай Иванович был членом сборной Пермского политехнического института по конькобежному спорту и имел звание мастера спорта.

После окончания института был направлен инженером в лабораторию лигносвязующих материалов Пермского филиала ВНПОБумпрома. В 1985 г. поступил в аспирантуру Латвийского государственного института химии древесины (ЛГ ИХД) АН ЛатвССР и в 1988 г. защитил диссертацию с присвоением степени кандидата химических наук.

Стремление находить новые решения проявились уже в начале его научной карьеры, когда он учился в аспирантуре. Результаты исследований поверхностно-активных свойств лигносульфонатов, проведенных Н.И. Афанасьевым в период его учебы в аспирантуре, внесли существенный научный вклад в систему количественных критериев оценки эффективности действия лигнинов как поверхностно-активных веществ. Самостоятельность в исследованиях, настойчивость в достижении цели, самодисциплина, доброжелательность и готовностью помочь привлекали к нему коллег и способствовали развитию длительных плодотворных творческих и личных контактов, которые не только сохранились после окончания его работы в ЛГ ИХД, но и получили дальнейшее развитие в рамках различных проектов.

Талантливый и целеустремленный исследователь, ученый, глубоко знающий научные проблемы целлюлозно-бумажной промышленности, для решения которых он работал всю свою жизнь, Н.И. Афанасьев отличался способностью организовывать и направлять усилия коллектива на решение возникающих проблем, что являлось основой его успешной деятельности.

В 1989 – 1990 гг. Николай Иванович возглавлял научную работу в Пермском ВНИИБ, затем был переведен в Институт экологических проблем



Севера (ИЭПС) УрО РАН (г. Архангельск) где работал со дня его основания и до 2008 г. В 1991 г. он создал в структуре института лабораторию химии лигнина. В 1997 г. защитил докторскую диссертацию по теме «Структура макромолекул в растворах, на границах раздела фаз и поверхностно-активные свойства лигносульфонатов». Николай Иванович создал научную школу по направлению «Структура и свойства макромолекул технических и модифицированных лигнинов и сопутствующих компонентов древесины»; сделал фундаментальные выводы о топологической структуре и конформационных свойствах лигносульфонатов, позволяющие охарактеризовать основные направления трансформации макромолекул в процессе сульфитной делигнификации, предложить механизмы формирования адсорбционных слоев и диспергирующего действия лигносульфонатов в гетерогенных системах, дать научное обоснование способов регулирования поверхностной активности технических продуктов; разработал научный подход к оценке, прогнозированию и регулированию поверхностно-активных свойств лигносульфонатов, основанный на системном изучении структуры их макромолекул в растворах, на границах раздела фаз и параметров адсорбционных слоев. Результаты его работ представлялись на многих всероссийских, всемирных и европейских конференциях.

Вклад Н.И. Афанасьева в развитие лаборатории химии лигнина трудно недооценить, он руководил лабораторией в самые сложные годы (экономический кризис 90-х гг.).

В должности заместителя директора по научной работе Николай Иванович проводил и координировал научные исследования научных подразделений института, представлял их в УрО РАН, администрации области, на промышленных предприятиях, входил в состав объединенного ученого совета УрО РАН по химии, курировал подготовку кадров высшей квалификации в институте. Научная деятельность Н.И. Афанасьева была тесно связана с подготовкой высококвалифицированных кадров. Под его руководством защищено 9 кандидатских диссертаций. Сотрудники института помнят его как большого ученого и талантливого руководителя. Для многих он – учитель, давший старт в науку.

Николай Иванович являлся автором более 300 научных работ и был членом диссертационного совета Д.212.008.02 Северного (Арктического) федерального университета имени М.В. Ломоносова.

Без отрыва от руководства научным направлением в ИЭПС УрО РАН Н.И. Афанасьев организовал на Архангельском ЦБК промышленное производство дисперсионного клея «Сакоцелл 309» в рамках совместного предприятия ЗАО «Кемира-Ново» и перевел его на использование только отечественного сырья.

Научные результаты деятельности лаборатории химии лигнина Николай Иванович применил при организации производства таллового масла на Архангельском ЦБК в рамках созданного им предприятия «ХТС-Талойл». В 2006 г. Николай Иванович становится соучредителем бумажной фабрики «Коммунар». Предприятие за те четыре года, что он был в должности генерального директора, с уровня банкротства при покупке стало лидером по производству макулатурного флютинга в России. При этом предприятие под его

руководством не только выдержало экономический кризис 2008 г., но и было модернизировано, что позволило достичь тех результатов, которые оно имеет в настоящий момент. В последние годы он сотрудничал с польской компанией «TSC International», осуществляя поставки химикатов ведущих европейских представителей на целлюлозно-бумажные предприятия России.

Н.И. Афанасьевым апробированы и внедрены технологии получения связующих материалов повышенной водостойкости для нужд автодорожного строительства (Сясьский ЦБК, 1985 г.), пластифицирующих и активирующих добавок для бетонов и цементогрунтов (Слокский ЦБЗ, 1987 г., Пермский ЦБК, 1989 г.), дисперсионного клея «Сакоцелл 309» (Архангельский ЦБК, 1997 г.), ультрафильтрационной очистки лигнинсодержащих сточных вод (Архангельский ЦБК, 1993 г.; Котласский ЦБК, 1995 и 2000 гг.).

Николай Иванович являлся лауреатом многих российских и зарубежных премий за научную и предпринимательскую деятельность. За вклад в развитие отечественной науки Н.И. Афанасьев награжден медалью ордена «За заслуги перед Отечеством II степени», отмечен благодарностью Президиума РАН. Ему дважды присуждалась областная первая премия конкурса научно-исследовательских работ имени М.В. Ломоносова. В 2005 г. отмечен наградой «Prix Chartal» французского общества поддержки промышленности за выдающиеся руководительские качества.

Душевные качества Николая Ивановича проявлялись и в благотворительной деятельности. Он поддерживал спортивную деятельность в Архангельской области, сборную России по конькобежному спорту. Являлся членом попечительского совета Церкви Сошествия Святого Духа в г. Новодвинске, Храма святого равноапостольного великого князя Владимира (г. Коммунар). Эта деятельность была лично отмечена благодарственным письмом Патриарха Московского и всея Руси Алексия Второго.

Светлая память об Афанасьеве Николае Ивановиче – добром, мудром и обаятельном человеке, талантливом ученом и учителе, навсегда останется в сердцах его коллег, друзей и учеников.

К.Г. Боголицын,

д-р хим. наук, проф., директор
Института экологических проблем Севера УрО РАН

Г.М. Тельшева,

д-р хим. наук, проф.
Латвийского государственного института химии древесины

In Memory of Nikolay Afanas'ev

K.G. Bogolitsyn, Doctor of Chemistry, Professor

Institute of Environmental Issues on the North of Russian Academy of Sciences department
in the Ural Region, Naberezhnaya Severnoy Dviny, 23, Arkhangelsk, 163002, Russia

G.M. Telysheva, Doctor of Chemistry, Professor

Latvian State Institute of Wood Chemistry Dzīrbenes iela 27, Riga, LV-1006, Latvia