

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

4/346

2015

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 РАН (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. РАН (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

Lesnoy 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

4/346

2015

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 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 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>А.С. Чеканьшикин, А.А. Лепёхин.</i> Состояние защитного лесоразведения в Центрально-Черноземной зоне.....	9
<i>И.И. Степаненко.</i> Критерии и индикаторы роста, продуктивности лесных насаждений при их интенсивном выращивании.....	18
<i>Б.П. Чураков, И.Т. Замалдинов, Р.А. Чураков.</i> Влияние средцевинной гнили на продукцию древостоев осины разных форм.....	30
<i>М.В. Сурсо, О.С. Барзут, А.И. Зайцев, Е.А. Пинаевская.</i> Морфологическая характеристика и динамика радиального роста можжевельника сибирского (<i>Juniperus sibirica</i> Burgsd.) на Сахалине и Камчатке.....	44
<i>П.А. Феклистов, Д.Н. Клевец, Ф.А. Кунников, Е.П. Хабарова, И.Б. Амосова.</i> Динамика продуктивности сосновых древостоев разного происхождения.....	55
<i>О.Н. Тюкавина.</i> О методах интерпретации результатов акустической томографии древесины сосны.....	61
<i>Дж.С. Мехтиев.</i> Вопросы использования лидаров для контроля лесных пожаров в горных массивах.....	68
<i>А.А. Бахтин, Н.Н. Соколов.</i> Типы возрастной структуры заболоченных сосняков Архангельской области.....	76

ЛЕСОЭКСПЛУАТАЦИЯ

<i>А.П. Соколов.</i> Оперативное логистическое управление транспортным процессом лесозаготовительного предприятия.....	87
<i>С.В. Посыпанов.</i> Определение усилий в гибких связях пакетного лесосплавного пучка, находящегося на суше.....	104

*МЕХАНИЧЕСКАЯ ОБРАБОТКА ДРЕВЕСИНЫ
И ДРЕВЕСИНОВЕДЕНИЕ*

<i>Е.А. Памфилов, Е.В. Алексеева.</i> Перспективные материалы для узлов трения деревоперерабатывающего оборудования.....	113
<i>Г.Ф. Прокофьев, О.Л. Коваленко, С.А. Черепанов.</i> Определение коэффициента концентрации напряжений в межзубовых впадинах ленточных пил при изгибе.....	125
<i>С.В. Иванов, Е.С. Шарипов, А.С. Королев.</i> Функционально-элементный анализ простого резца.....	137

ХИМИЧЕСКАЯ ПЕРЕРАБОТКА ДРЕВЕСИНЫ

<i>А.И. Захарова, С.И. Третьяков, Н.А. Кутакова, Е.Н. Коптелова.</i> Выделение экстрактивных веществ из луба коры березы при воздействии СВЧ-поля.....	148
--	-----

<i>В.А. Удальцов, Г.А. Пазухина.</i> К вопросу о делигнификации древесины березы в системе гидроксид калия–гидразин–изобутиловый спирт–вода.....	156
<i>ЭКОНОМИКА И ОРГАНИЗАЦИЯ ПРОИЗВОДСТВА</i>	
<i>В.И. Мосягин.</i> К вопросу о страховании договорных цен в лесопромышленном комплексе.....	166
<i>С.В. Еришов.</i> К вопросу построения модели ажиотажного спроса.....	174
<i>ИСТОРИЯ НАУКИ</i>	
<i>Н.А. Моисеев.</i> Двухсотлетний фрагмент истории Беломорской тайги.....	180
<i>КРИТИКА И БИБЛИОГРАФИЯ</i>	
<i>И.В. Евдокимов.</i> Ценная книга для охотничьего и лесного хозяйства.....	186



CONTENTS

FORESTRY

<i>A.S. Chekanyshkin, A.A. Lepyohin.</i> Condition of Protective Afforestation in Central Black Earth Territories.....	9
<i>I.I. Stepanenko.</i> Criteria and Indicators of Growth, Productivity of Forest Stands Under Their Intensive Cultivation.....	18
<i>B.P. Churakov, I.T. Zamaldinov, R.A. Churakov.</i> The Influence of the Decay Core on Efficiency of Aspen Forest Stands of Different Forms.....	30
<i>M.V. Surso, O.S. Barzut, A.I. Zaitsev, E.A. Pinaevskaya.</i> The Morphological Characteristic and Dynamics of Radial Growth of the Siberian Juniper (<i>Juniperus Sibirica</i> Burgsd.) of Sakhalin and Kamchatka.....	44
<i>P.A. Feklistov, D.N. Klevtsov, F.A. Kunnikov, E.P. Habarova, I.B. Amosova.</i> Productivity Dynamics of Different Origin Pine.....	55
<i>O.N. Tyukavina.</i> About Interpretation Methods of Acoustic Tomography Results of Pine Wood.....	61
<i>J.S. Mekhtiyev.</i> Questions on Use of Lidars for Control and Detection of Forest Fires in Mountainous Zones.....	68
<i>A.A. Bakhtin, N.N. Sokolov.</i> Types of Age Structure of Waterlogged Pine Forests in the Arkhangelsk Region.....	76

WOODEXPLOITATION

<i>A.P. Sokolov.</i> Operational logistics management of transport processes in wood harvesting companies.....	87
<i>S.V. Posypanov.</i> Strains determination in the flexible tie of a packaged log rafting overland bundle.....	104

MECHANICAL TECHNOLOGY OF WOOD AND WOODSCIENCE

<i>E.A. Pamfilov, E.V. Alekseeva.</i> The perspective materials for friction assemblies of wood industry equipment.....	113
<i>G.F. Prokofev, O.L. Kovalenko, C.A. Черепанов.</i> Test of Bulging Stress Concentration Factors in the Band Saw Notches.....	125
<i>S.V. Ivanov, E.S. Sharapov, A.S. Korolev.</i> Functional and Element Analysis of a Simple Cutter.....	137

CHEMICAL TECHNOLOGY OF WOOD

<i>A.I. Zakharova, S.I. Tret'yakov, N.A. Kutakova, E.N. Koptelova.</i> Extractives Isolation Procedure from Birchbark Bast on Exposure to the Microwave Field.....	148
<i>V.A. Udaltsov, G.A. Pazukhina.</i> Revisiting the Question of Birch Wood Delignification in the Potassium Hydroxide–Hydrazine–Isobutyl Alcohol–Water System.....	156

ECONOMICS AND MANAGEMENT

- V.I. Mosyagin.* Revisited the Insurance of Contractual Prices in the Timber Processing Complex..... 166
S.V. Ershov. Revisited the Constructing a Model of an Excessive Demand..... 174

HISTORY OF SCIENCE

- N.A. Moiseev.* Bicentennial Fragment of the White Sea Taiga History..... 180

CRITIQUE AND BIBLIOGRAPHY

- I.V. Evdokimov.* A valuable book for hunting and forestry..... 186
-
-



УДК 630*232: 631.6(470.32)

СОСТОЯНИЕ ЗАЩИТНОГО ЛЕСОРАЗВЕДЕНИЯ В ЦЕНТРАЛЬНО-ЧЕРНОЗЕМНОЙ ЗОНЕ

© *А.С. Чеканышкин, канд. с.-х. наук, ст. науч. сотр.*

А.А. Лепёхин, канд. биол. наук, вед. науч. сотр.

Воронежский научно-исследовательский институт сельского хозяйства Центрально-Черноземной полосы имени В.В. Докучаева, пос. 2-го участка Института им. В.В. Докучаева, д. 81, кв. V, Таловский р-он, Воронежская обл., Россия, 397463; e-mail: niish1c@mail.ru

Вопросы защиты сельскохозяйственных земель от деградации приобретают в последние десятилетия все большую актуальность. К настоящему времени обоснованы принципы адаптивно-ландшафтного земледелия, важнейшим из которых является применение комплекса противодеградационных мероприятий – организационно-хозяйственных, лесо- и лугомелиоративных, агро- и гидротехнических и др. Организующей основой (каркасом) адаптивно-ландшафтного земледелия является защитное лесоразведение. Однако современные темпы и качество лесомелиоративных и лесохозяйственных работ в защитном лесоразведении низки, они часто носят не комплексный, а фрагментарный характер. На большой площади лесные полосы находятся в запущенном состоянии, повреждаются, отмирают, необходимы неотложные меры по оздоровлению и обеспечению качественной смены поколений древостоя, усилению их охраны. Цель работы – оценка состояния защитного лесоразведения в Центральном Черноземье. Приводится распределение площадей защитных лесонасаждений по категориям, согласно их функциональному назначению. Дана характеристика защитных лесных насаждений по возрастным группам, породному составу, их ширине, конструктивным особенностям. Рекомендован перечень древесных пород, обеспечивающих получение устойчивых, долговечных и экологически емких насаждений. Предлагаются перспективные способы создания защитных лесонасаждений. Обозначены проблемы и задачи защитного лесоразведения. Особенно важны подготовка и принятие федерального закона о защитном лесоразведении, который должен обеспечить создание системы единого государственного управления, контроля и регулирования деятельности в области защитного лесоразведения. Все это позволит прекратить деградацию лесных насаждений в усиливающемся режиме и максимально результативно повысить их эффективность по обеспечению благоприятной экологической обстановки в агрофере региона.

Ключевые слова: защитное лесоразведение, лесные насаждения, древесные породы, экологическая обстановка, рубки ухода, санитарные рубки, состояние и сохранность лесных насаждений.

На современном этапе развития сельского хозяйства Центрально-Черноземной зоны (ЦЧЗ) практически все природные экосистемы на территориях сельскохозяйственного освоения замещены антропогенными с доминированием упрощенных культурных агроценозов и невысокой степенью реализации экологического потенциала. Высокая сельскохозяйственная освоенность территории (с долей пашни 80 % и более), упрощение ландшафтной структуры, расширение монокультуры, возрастание доз химических средств защиты растений от вредителей, болезней и сорняков приводят к усилению эрозионных процессов, ухудшению водного режима, загрязнению окружающей среды, деградации почв, снижению продуктивности агроландшафтов. В частности, за последние 100 лет содержание гумуса в почве снизилось на 30...40 %, ежегодная убыль гумуса на пашне в среднем составляет 0,62 т/га [2].

Одним из наиболее реальных приемов решения экологических проблем современных агроландшафтов при адаптивно-ландшафтном земледелии является защитное лесоразведение, которое по современным представлениям может быть не только самостоятельным мероприятием, но и входить в другие комплексы различных защитных и мелиоративных мероприятий более высокого иерархического уровня (например, в водоохранный, почвозащитный, оздоровительный, рекреационный комплексы и т. д.).

Многолетними исследованиями в Каменной Степи* (Таловский р-он Воронежской обл.) и других научных учреждениях накоплен обширный фактический материал, с высокой достоверностью раскрывающий сущность влияния лесных полос на микроклимат, снегоотложение и водный режим прилегающих к ним территорий, повышение их продуктивности.

Влияние лесных полос проявляется в существенном снижении скорости ветра в приземном слое. В зимний период в межполосном пространстве, благодаря ветроломной роли лесных полос, обеспечивается большее (на 20...50 % и более) накопление снега по сравнению с незащищенным полем, что способствует меньшему промерзанию почвы, скорейшему ее оттаиванию весной и дополнительному увлажнению корнеобитаемого слоя [1, 3]. В летний период под защитой лесных полос повышается относительная влажность воздуха на 4...8 %, уменьшается расход влаги на физическое испарение с поверхности почвы и транспирацию сельскохозяйственными культурами на 15...25 %.

Улучшение экологических условий на полях под влиянием лесных полос обеспечивает повышение урожайности сельскохозяйственных культур, %: зерновых – на 18...23, технических – на 20...26, кормовых – на 29...41.

Основные работы по созданию защитных лесных насаждений (ЗЛН) в регионе были начаты еще в 1918 г. [4]. Общая площадь существующих ЗЛН составляет около 500 тыс. га, распределение которой приводится по областям согласно их функциональному назначению (табл. 1).

*Территория землепользования Научно-исследовательского института сельского хозяйства Центрально-Черноземной полосы им. В.В. Докучаева, в пределах которой расположен заказник аналогично названия.

Таблица 1

Площади (га) защитных лесных насаждений ЦЧЗ

Категории ЗЛН	Всего	В том числе по областям				
		Белго-родская	Воро-нежская	Кур-ская	Липе-цкая	Тамбов-ская
Полезащитные	148 624	18 148	57 109	21 804	18 804	32 759
Противоэрозионные	242 757	64 622	53 005	47 865	50 593	26 672
Прочие	96 838	3 765	60 734	10 045	3 639	18 655
<i>Итого</i>	488 219	86 535	170 848	79 714	73 036	78 086

Наибольшие площади защитных лесонасаждений находятся в Воронежской (170,8 тыс. га) и Белгородской (86,5 тыс. га) областях. Полезащитные лесные полосы занимают 30,4 % от всех видов ЗЛН, противоэрозионные функции выполняют 49,7 %, на прочие насаждения приходится 19,9 %.

Защитные лесные насаждения создавались различной ширины с количеством рядов деревьев и кустарников от 3 до 15. Для полезащитных лесных полос ширина в основном составляет 10...20 м, прибалочных и приовражных – 16...30 м, вокруг водоемов – до 15 м, насаждения по откосам, дну оврагов и балок, на песках – массивные (табл. 2).

Таблица 2

Распределение (%) защитных лесных насаждений по ширине

Категории ЗЛН	Ширина насаждений, м					Массивы
	< 10	10...15	16...20	21...30	> 30	
Полезащитные лесные полосы	7,1	31,3	41,3	10,9	9,4	–
Прибалочные и приовражные лесные полосы	1,4	10,1	14,2	68,2	6,1	–
Насаждения:						
по откосам, дну оврагов и балок	–	–	–	–	–	100,0
вокруг водоемов	45,0	55,0	–	–	–	–
на песках	1,2	7,8	8,7	–	–	82,3

По конструкции защитные лесные насаждения всех категорий на 62,5 % площади представлены плотными, ажурные насаждения занимают 27,7 %, продуваемые и ажурно-продуваемые – соответственно 9,0 и 0,8 %. Полезащитные лесные полосы плотной конструкции составляют 38,9 %, ажурной – 34,6 %, продуваемой – 24,4 %, ажурно-продуваемой – 2,1 %. Прибалочные и приовражные насаждения плотной конструкции составляют 65,8 %, ажурной – 28,4 %, продуваемой – 4,8 %.

На протяжении всего периода развития защитного лесоразведения наблюдается изменение процента участия древесных пород в составе защитных лесных насаждений. В возрастных стадиях по породному составу их можно объединить в 4 группы. К первой группе относятся насаждения (5...20 лет), площадь которых в областях региона составляет 15...17 %. По породному

составу большинство лесных полос этой группы создавались из быстрорастущих пород – тополь, береза, акация белая. Вторая возрастная группа лесных полос (21...45 лет) занимает до 45 % площадей с участием дуба, ясеней, березы, сосны и вяза. Лесные полосы третьей возрастной группы (46...60 лет) составляют до 40 %. Набор древесных пород в этих лесных полосах представлен преимущественно дубом, ясенем, вязом, кленом ясенелистным и значительным участием кустарников (акация желтая, жимолость, лох, бузина и др.). Насаждения четвертой возрастной группы (> 80 лет, лесомелиоративные работы довоенного периода) занимают небольшие площади.

Оценивая сложившуюся агроэкологическую обстановку в регионе, следует признать, что проблема лесомелиоративной оптимизации природопользования сельскохозяйственных угодий остается пока не решенной. Проведенные в ЦЧЗ исследования показывают, что при существующей облесенности пашни в пределах 1,5...2,0 % лесные насаждения защищают не более 40 % ее территории. Создание устойчивой агроэкологической обстановки возможно при облесенности пашни в лесостепи до 3,0...3,5 % и в степи до 3,5...4,5 % с размером полей 60...70 га на плакоре и 30...40 га на склоне [6].

Согласно Федеральной программе развития агролесомелиоративных работ в России [7], для оптимизации природопользования аграрных ландшафтов требуется в ЦЧЗ до 2015 г. создать, дополнительно к существующим, свыше 220 тыс. га ЗЛН, что приблизит к оптимальному соотношению лесонасаждений и других угодий (табл. 3).

Таблица 3

Потребность в создании защитных лесных насаждений (га)

Категории ЗЛН	Всего	В том числе по областям				
		Белгородская	Воронежская	Курская	Липецкая	Тамбовская
Полезатитные	118 037	23 101	28 993	24 587	20 385	20 971
Противоэрозионные	49 175	7 524	16 407	1 500	2 444	21 300
Насаждения:						
на песках	8 192	360	400	5 132	1 000	1 300
на берегах рек	43 126	6 657	13 389	1 300	3 766	18 014
озеленительные	2 388	578	725	50	510	525
<i>Итого</i>	220 918	38 220	59 914	32 569	28 105	62 110

Реализация таких объемов лесомелиоративных работ в современных политических и социально-экономических условиях представляется проблематичной, так как работы по защитному лесоразведению в последние годы практически свернуты. Их выполнение осуществляется в небольших объемах. Создание защитных лесных насаждений ведется с применением ограниченного ассортимента древесных пород, преимущественно чистыми (однопородными) по составу и узкими (3-4-рядными) из тополя, березы и других менее ценных пород, которые в сухих условиях повышенных плато своими биологическими особенностями роста и развития зачастую способствуют интенсив-

ному задернению почвы, уступают (минимум в 2–3 раза) по долговечности другим рекомендованным для ЦЧЗ древесным породам и менее эффективно выполняют защитную роль. Кроме того, отсутствие в насаждениях ширококронных древесных пород и кустарников снижает их экологическую емкость (концентрацию орнито- и энтомофауны), не обеспечивает оптимальной среды обитания. Лесные полосы из березы и тополя можно создавать при хорошем увлажнении местопроизрастания.

Известно, что смешанные насаждения более устойчивы и продуктивны, чем чистые, меньше повреждаются вредителями и болезнями, эффективнее проявляют средообразующие и защитные функции. Поэтому при создании защитных лесных насаждений, особенно в лучших условиях местопроизрастания, приоритет следует оставлять за смешанными древостоями.

В связи с этим лесхозам и лесничествам, вместо шаблонно популярных быстрорастущих древесных пород, необходимо использовать незаслуженно забытые рекомендованные породы деревьев и кустарников, обеспечивающие получение устойчивых, долговечных и экологически емких насаждений. Для этого особое внимание надо уделять созданию лесосеменной базы и выращиванию посадочного материала.

На черноземных почвах ЦЧЗ в качестве главной породы целесообразно высаживать дубы черешчатый и красный, ясень обыкновенный, лиственницу сибирскую, на песчаных почвах – сосну обыкновенную; в качестве сопутствующей – клены остролистный и полевой, липу мелколистную, грушу лесную, ясень зеленый, рябину обыкновенную; в качестве быстрорастущей – березу повислую и тополь (лучше пирамидальной формы). Из кустарников в состав лесных насаждений следует вводить клен татарский, акацию желтую, смородину золотистую, жимолость татарскую и др.

Важным условием создания устойчивых и высокопродуктивных лесных насаждений с высокими защитными свойствами является установление их оптимального состава и густоты в соответствии с особенностями местопроизрастания, способами посадки и выращивания. При этом большое значение имеет характер их размещения на лесокультурной площади, цель которого – создать оптимальные условия водного, питательного и светового режимов для главной породы, не допустить угнетения породы породой, наиболее полно использовать лесообразующие свойства каждого компонента насаждения.

Научные исследования по защитному лесоразведению в Каменной Степи позволяют успешно выращивать устойчивые, долговечные и высокопродуктивные лесные насаждения, представляющие пример для создания таковых на территории ЦЧЗ.

Среди главных пород насаждений разных периодов создания преобладает дуб черешчатый, имеющий преимущество в долговечности, производительности и успешно растущий практически на всех разностях почв. Например, на обыкновенных черноземах насаждения с преобладанием дуба на плато в возрасте 80...85 лет имеют высоту 25...27 м, высокую продуктивность (средний запас древесины – 350...400 м³/га) и относятся к I и II классам бонитета [5].

На склонах со смытыми черноземными почвами продуктивность насаждений на 20...25 % меньше, а бонитет соответствует в основном II и III классам. На южных (световых) склонах насаждения растут хуже, продуктивность их на 10...15% меньше, чем на склонах других экспозиций. В пределах склона, на нижних участках, за счет лучших лесорастительных условий сохранность деревьев и продуктивность насаждений выше. Теоретический прогноз долговечности дуба (возраста достижения нулевого прироста годичного кольца или начала усыхания) в лесных полосах на плакоре составляет 139...176 лет, на склонах – 119...138 лет.

Древостои с преобладанием ясеня обыкновенного на плато по долговечности и производительности практически не уступают дубовым. Их расчетный предельный возраст – 148 лет. Ясень пушистый в силу биологической особенности роста характеризуется меньшей продуктивностью и долговечностью. Склоновые насаждения с преобладанием ясеня, по сравнению с дубовыми, имеют меньшую (на 5...10 %) продуктивность. Показатели роста ясеня обыкновенного на склонах теневых экспозиций в 1,5 раза выше, чем показатели ясеня пушистого.

У лучших деревьев клена остролистного расчетная долговечность определяется 130...140 годами.

В настоящее время на территории землепользования хозяйств рекомендуется усовершенствованный коридорный способ посадки дуба – «уплотненный коридор», основанный на рядовой посадке семян и позволяющий увеличить участие дуба в составе насаждений до 60 %. Этот способ предусматривает высаживание в крайний ряд инсолируемой стороны оптимальных по ширине 5-рядных лесных полос сопутствующей породы (клен остролистный, липа мелколистная, груша лесная). В три средних ряда высаживают главную породу – дуб черешчатый, крайний теневой ряд – быстрорастущую (береза повислая и тополь). Расстояние между рядами составляет 2,5...3,0 м, между растениями в ряду, м: для главной породы – 0,7...1,0, для сопутствующей – 1,0...1,5, для быстрорастущей – 1,5...2,0.

Хорошие результаты мелиоративного действия и лесоводственно-биологических свойств лесных насаждений достигнуты при рядовом блочном способе их создания [8]. Сущность первого варианта заключается в их рядовой посадке с чередованием деревьев и кустарников отдельными блоками протяженностью, равной ширине насаждения, но не менее 10...15 м. Древесные блоки формируют по древесно-теневому типу смешения с участием в центральных рядах дуба, ясеня обыкновенного, в крайнем теневом ряду – березы, тополя (пирамидальной формы), в крайнем световом ряду – клена остролистного, липы. Древесные блоки можно формировать также из лиственницы сибирской (в чистом виде). В кустарниковые блоки высаживают смородины золотистую и черную, кизильник, калину и др. Введение в кустарниковые блоки плодово-ягодных и декоративных видов повышает социальную роль насаждений, их экологическую емкость и эстетичность.

Во втором варианте рядовой блочной посадки блоки долговечной породы (дуб) чередуются с блоками быстрорастущих пород (береза, тополь, лиственница).

С лесоводственно-биологических позиций блочная (макробиогрупповая) посадка позволяет снижать конкурентные отношения в узких лесных полосах между главными, сопутствующими и быстрорастущими породами.

Не менее проблематичным является положение дел с состоянием и сохранностью защитных лесных насаждений. Из-за отсутствия продолжительное время (более 20 лет) лесохозяйственного обслуживания ухудшилось состояние и утрачена защитная эффективность ЗЛН. Они нередко загрязнены бытовыми и промышленными отходами, повреждены пожарами, самовольными рубками, болезнями и вредителями. В них прогрессируют процессы задернения почвы, изреживания и т. п.

В существующих защитных лесных насаждениях необходимо проведение лесохозяйственных мероприятий на общей площади 103 776 га. Наибольшие объемы работ (табл. 4) связаны с выполнением рубок ухода (57,4 %) и санитарных рубок (28,0 % от общей площади).

Таблица 4

Лесохозяйственные мероприятия в защитных лесных насаждениях (га)

Мероприятия	Всего	В том числе по областям				
		Белгородская	Воронежская	Курская	Липецкая	Тамбовская
Рубки ухода	59 533	9 228	19 012	10 564	8 742	11 987
Санитарные рубки	29 038	4 507	9 329	5 134	4 254	5 814
Возобновительные рубки	12 032	1 871	3 833	2 141	1 770	2 417
Реконструкция и восстановление	3 173	493	1 011	565	466	638
<i>Итого</i>	103 776	16 099	33 185	18 404	15 232	20 856

Ситуацию усугубляет и то, что разрушена вертикаль управления защитным лесоразведением на землях сельскохозяйственного назначения. К сожалению, в настоящее время на государственном уровне законодательно не решено, кто должен заниматься необходимыми лесохозяйственными уходами.

Логично было бы, учитывая передовой опыт предыдущих периодов защитного лесоразведения в хозяйствах областей ЦЧЗ, создать специализированные учреждения для проведения лесохозяйственных уходов в существующих лесных насаждениях и посадки новых, необходимых для оптимизации природопользования агроландшафтов.

Для правового обеспечения защитного лесоразведения требуется подготовка и принятие федерального закона о защитном лесоразведении. Должна быть создана система единого государственного управления, контроля и регулирования деятельности в области защитного лесоразведения с должным, а не по остаточному принципу, финансированием. В противном случае деградация лесных насаждений будет происходить в усиливающемся режиме, что негативно отразится на экологической обстановке в агросфере с колоссальным ущербом для всего агропромышленного комплекса региона.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Каргов В.А.* Лесные полосы и увлажнение полей. М.: Лесн. пром-сть, 1971. 120 с.
2. *Кулик К.Н., Иванов А.Л., Свинцов И.П., Барабанов А.Т., Манаенков А.С., Васильев Ю.И., Жданов Ю.М., Зыков И.Г., Кулик Н.Ф., Крючков С.Н., Маланина З.И., Павловский Е.С., Петров В.И., Рулев А.С., Степанов А.М., Семенютина А.В., Сухорукых Ю.И., Шульга В.Д., Юферев В.Г.* Стратегия развития защитного лесоразведения в Российской Федерации на период до 2020 г. Волгоград: ВНИАЛМИ, 2008. 34 с.
3. *Митрюшкин К.П., Павловский Е.С.* Лес и поле. М.: Колос, 1979. 279 с.
4. *Михин В.И.* Полезаститное лесоразведение в Центральном Черноземье России: дис. ... д-ра с.-х. наук. Воронеж, 2013. 350 с.
5. *Скачков Б.И.* Состояние и долговечность лесокультурных ландшафтов // Каменная Степь: лесоаграрные ландшафты. Воронеж, 1992. С. 48–63.
6. *Скачков Б.И.* К концепции лесомелиоративной оптимизации природопользования аграрных ландшафтов Черноземья // Проблемы агролесомелиорации на черноземмах России: материалы Всерос. науч.-практ. конф. Воронеж: ВГЛТА, 1998. С. 15–16.
7. Федеральная программа развития агролесомелиоративных работ в России. Волгоград: ВНИАЛМИ, 1995. 245 с.
8. *Чеканьшкин А.С.* Новый способ выращивания защитных лесонасаждений на пашне юго-востока ЦЧЗ: автореф. дис. ... канд. с.-х. наук. Воронеж, 1999. 22 с.

Поступила 17.06.14

UDC 630*232: 631.6(470.32)

Condition of Protective Afforestation in Central Black Earth Territories

A.S. Chekanyshkin, Candidate of Agriculture, Senior Researcher

A.A. Lepyohin, Candidate of Biology, Leading Researcher

The Voronezh Research Institute of Agriculture of a name of V.V. Dokuchayev, settlement of 2nd district of Institute of V.V. Dokuchayev, 81, quarter V, Talovsky area, the Voronezh Region, 397463, Russia; e-mail: niish1c@mail.ru

Questions of farmlands protection from degradation get the actuality at last decades. Principles of adaptable-landscape agriculture, major of which is complex application against degradation actions – organizational-economic, forestmelioration, agrotechnical, pratummelioration, hydraulic engineering are by this time well-founded. Organising basis (skeleton) of adaptable-landscape agriculture is protective afforestation. However, modern rates and quality of forest melioration and forest economic works in protective afforestation are low, they often have not complex, fragmentary character. On the big area wood strips are in the deserted state, are damaged, die off, urgent measures on improvement and maintenance of qualitative digenesis of a stand of trees, intensifying of their preservation are necessary. The work purpose – is an assessment of a state protective afforestation in the Central Black Earth territories. Allocation of the areas of shelter forests on categories, according to their functional purpose is resulted. The characteristic of protective wood plantations on age-grades, pedigree composition, their width, design features is yielded. The list of the tree species, providing reception of steady, longevous and ecologically capacious plantations is recommended. Perspective means of building of shelter forests are offered. Problems and tasks of protective afforestation are designated. The special importance is preparation and

acceptance of the federal law about protective afforestation which should provide the building of system of the uniform government, control and regulation of activity in the field of protective afforestation. All of this allow to stop the degradation of wood plantations in a strengthening mode and maximally productively to raise their efficiency on maintenance of the congenial ecological situation in region agrosphere.

Keywords: protective afforestation, wood plantings, tree species, ecological situation, cleaning cutting, environmental harvesting, a condition and safety of wood plantings.

REFERENCES

1. Kargov V.A. *Lesnye polosy i uvlazhnenie poley* [Wood Strips and Humidification of Fields]. Moscow, 1971. 120 p.
2. Kulik K.N., Ivanov A.L., Svintsov I.P., Barabanov A.T., Manaenkov A.S., Vasil'ev Yu.I., Zhdanov Yu.M., Zykov I.G., Kulik N.F., Kryuchkov S.N., Malanina Z.I., Pavlovskiy E.S., Petrov V.I., Rulev A.S., Stepanov A.M., Semenyutina A.V., Sukhorukikh Yu.I., Shul'ga V.D., Yuferev V.G. *Strategiya razvitiya zashchitnogo lesorazvedeniya v Rossiyskoy Federatsii na period do 2020 goda* [Strategy of Development of Protective Forestation in the Russian Federation for the Season Till 2020]. Volgograd, 2008. 34 p.
3. Mitryushkin K.P., Pavlovskiy E.S. *Les i pole* [Forest and a Field]. Moscow, 1979. 279 p.
4. Mikhin V.I. *Polezashchitnoe lesorazvedenie v Tsentral'nom Chernozem'e Rossii*: dis. ... dokt. s.-kh. nauk [Field-Protective Forestation in the Central Black Earth Region of Russia: Doct. Agric. Sci. Diss.]. Voronezh, 2013. 350 p.
5. Skachkov B.I. Sostoyanie i dolgovechnost' lesokul'turnykh landshaftov [Condition and Longevity of Forestcultural Landscapes]. *Kamennaya Step': lesoagrarnye landshafty* [Stone Steppe: Forestagrarian Landscapes]. Voronezh, 1992, pp. 48–63.
6. Skachkov B.I. K kontseptsii lesomeliorativnoy optimizatsii prirodopol'zovaniya agrarnykh landshaftov Chernozem'ya [To the Conception of Forestmelioration Optimisation of a Natural Management of Agrarian Visual Environments of Black Earth Region]. *Problemy agrolesomelioratsii na chernozemakh Rossii: materialy Vserossiyskoy nauchno-prakticheskoy konferentsii* [Agricultural Amelioration Problems on Black Earth of Russia: Materials of the All-Russia Scientific-Practical Conference]. Voronezh, 1998, pp. 15–16.
7. *Federal'naya programma razvitiya agrolesomeliorativnykh rabot v Rossii* [The Federal Program of Development Agroforest Melioration Works in Russia]. Volgograd, 1995. 245 p.
8. Chekanyshkin A.S. *Novyy sposob vyraschivaniya zaschitnykh lesonasazhdeniy na pashne yugo-vostoka TSCHZ: avtoref. dis. ... kand. s.-kh. nauk* [A New Mean of Cultivation of Shelter Forests on a Southeast TSCHZ Arable Land: Cand. Agric. Sci. Diss. Abs.]. Voronezh, 1999. 22 p.

Received on June 17, 2014

УДК 630*187+630*55:630*81

**КРИТЕРИИ И ИНДИКАТОРЫ РОСТА,
ПРОДУКТИВНОСТИ ЛЕСНЫХ НАСАЖДЕНИЙ
ПРИ ИХ ИНТЕНСИВНОМ ВЫРАЩИВАНИИ***

© *И.И. Степаненко, д-р с.-х. наук, доц., зам. начальника отдела развития лесного комплекса и реализации проектов и программ*

Комитет лесного хозяйства Московской области, б-р Строителей, д. 1, г. Красногорск, Московская обл., Россия, 143407; e-mail: moslescomsi@mail.ru

Важной задачей лесной науки и практики является разработка и использование новых подходов, методов критериев и индикаторов в лесном хозяйстве, управлении лесами при интенсивном выращивании лесных насаждений. Цель работы – исследование влияния природных факторов (тип леса, возраст древостоев) и интенсивного метода выращивания леса с внесением удобрений на макроструктуру древесины сосны для целевого выращивания сосновых насаждений определенного строения и качества и обоснование целесообразности применения показателей макроструктуры древесины для характеристики индикатора – качества древесины при интенсивном ведении лесного хозяйства. Исследования проводили в подзоне южной тайги (Костромская, Нижегородская области) в удобренных и контрольных (неудобренных) сосняках разных типов леса: брусничном, лишайниковом, черничном, долгомошном. Удобрения вносили в два приема. В сосняках брусничных и лишайниковых изучали спелые древостои (90...100 лет), в долгомошных – приспевающие древостои (70 лет). В первый прием (1982 г.) применяли азотные, фосфорные, калийные и смешанные удобрения в дозах 100, 150, 200 кг/га действующего вещества, во второй прием (1987 г.) – азотные удобрения в дозе 150 кг/га на части опытных участков. В исследованиях и при обработке экспериментальных данных использовали стандартные методики. Показаны основные критерии и индикаторы устойчивого управления лесами и лесопользования, применяемые для характеристики древостоев при интенсивном выращивании леса, особое внимание уделено качеству древесины по показателям макроструктуры древесины. Установлена зависимость показателей макроструктуры древесины сосны от типа леса, возраста древостоя по этапам онтогенеза и интенсивного метода выращивания леса с внесением удобрений. Исследования показали, что в естественных сосняках преобладающих типов леса подзоны южной тайги формируется древесина высокого качества с оптимальными показателями микроструктуры для получения деловой древесины, в том числе пиловочника. В сосняках брусничных, черничных, лишайниковых азотные и смешанные удобрения значительно изменяют показатели макроструктуры древесины сосны (ширину годичных слоев увеличивают в 1,3–2,2 раза, процент поздней древесины – на 9,6...30,7, число годичных слоев снижают в 1,2–2,2 раза), способствуют формированию менее равномерных годичных слоев по сравнению с контрольными (неудобренными) древостоями. Для оценки качества древесины предложено использовать классы качества по комплексному показателю, включающему основные элементы макроструктуры древесины: ширину годичных слоев, процент поздней древесины, число годичных слоев в 1 см.

*Работа продолжает дело выдающегося русского лесоведа И.С. Мелехова и посвящена его памяти.

Результаты исследований могут быть применены в практике лесного хозяйства и лесной промышленности при оценке строения и качества древесины сосны, получаемой в результате интенсивного лесовыращивания, для ее сортировки и сертификации, а также в лесном планировании и управлении лесами.

Ключевые слова: критерии, индикаторы, интенсивное выращивание леса, минеральные удобрения, качество древесины, макроструктура древесины, онтогенез, возраст древостоев, типы леса.

Важной задачей лесной науки и практики является разработка и использование новых подходов, методов подбора критериев и индикаторов в лесном хозяйстве, управлении лесами при интенсивном выращивании лесных насаждений. Выдающийся русский лесовод-энциклопедист И.С. Мелехов внес существенный вклад в развитие лесного хозяйства, в том числе в разработку и использование новых подходов, методов, критериев и индикаторов в лесоведении, лесоводстве, управлении лесами, древесиноведении и других лесных дисциплинах [3–5]. Его разработки способствовали динамичному развитию лесного комплекса России. Идеи И.С. Мелехова широко применяются в настоящее время в лесном планировании и устойчивом управлении лесами и продолжают воплощаться в жизнь его учениками и последователями [2, 6–8].

Устойчивое управление лесами – это целенаправленное, долговременное, экономически выгодное взаимоотношение человека и лесных экосистем [2]. Критерии сохранения и устойчивого управления лесами – стратегические направления практической деятельности для осуществления принятых принципов. Они реализуются на уровне практического ведения лесного хозяйства и могут контролироваться по соответствующим индикаторам – количественным и описательным характеристикам критериев устойчивого управления лесами. Совокупность индикаторов позволят оценивать направление изменений в управлении лесами, соответствующих конкретному критерию [2].

Применение интенсивных методов выращивания леса с внесением минеральных удобрений вызывает значительные изменения в параметрах роста растений, их устойчивости и продуктивности. В зависимости от направлений применения минеральных удобрений и этапов возобновления и формирования леса используют различные критерии и индикаторы. При внесении удобрений для повышения урожайности семян на постоянных лесосеменных участках (ПЛСУ) и плантациях (ЛСП) на этапе получения лесосеменного сырья критерием является наличие кондиционных семян с хорошими наследственными характеристиками, соответствующими классу качества, и индикаторами – масса, размер, всхожесть семян и др. показатели. Для улучшения минерального питания, роста сеянцев и саженцев в питомнике на этапе получения посадочного материала критерием является стандартный посадочный материал, индикаторами – количество саженцев и сеянцев с 1 погонного метра, их размеры, фитомасса, охвоение, развитие корневой системы. Для улучшения минерального питания, ростовых процессов, продуктивности лесных

культур, плантаций на этапах индивидуального и интенсивного роста, формирования молодняков, средневозрастных, приспевающих древостоев в качестве главного критерия используют древостой, в качестве индикаторов – параметрические показатели его продуктивности и роста в высоту, по диаметру, запасу; комплексный показатель – бонитет (по возрасту, высоте и происхождению). Для содействия естественному предварительному возобновлению под пологом древостоев на этапе сформировавшегося типа леса, последующему возобновлению на этапах, предшествующих образованию леса, критерием является подрост, параметрами – его количество, встречаемость, качество. Главными критериями устойчивости лесных насаждений к неблагоприятным природным и антропогенным воздействиям принято считать древостой, лесное насаждение и его структуру, индикаторами для древостоя – параметрические показатели его продуктивности и роста в высоту, по диаметру, запасу, макроструктура древесины; индикаторами для лесного насаждения (помимо перечисленных) – ярусность, состав, разновозрастность, биоразнообразие видов биогеоценоза.

В лесоводстве, кроме перечисленных выше критериев и индикаторов продуктивности и роста древостоев, при целевом выращивании насаждений на пиловочные сортименты и балансы (для целлюлозно-бумажного производства) также используется индикатор – качество древесины. В соответствии со стандартом ИСО 8402 [1] качество – это совокупность свойств и характеристик продукции, которые придают ей способность удовлетворять обусловленные или предполагаемые потребности.

В России И.С. Мелехов впервые в начале 30-х гг. прошлого столетия [3–5] сформулировал и поставил задачу выращивания леса для получения древесины с заданным строением, качеством и свойствами, определения и создания для этого оптимальных (в том числе почвенных и климатических) условий. Но практическое применение эта идея получила только в 60-е гг. прошлого столетия. В настоящее время она воплощена в ведущих лесных странах. В Финляндии, Швеции, США и Канаде в 80-х гг. прошлого столетия были разработаны и стали использоваться в практике лесного хозяйства целевые программы по выращиванию леса и лесных плантаций с определенными товарной структурой, строением, качеством и свойствами древесины [10–18]. В связи с возрастанием потребления древесины, получаемой в результате интенсивного лесовыращивания, прежде всего с применением минеральных удобрений, актуально стало целевое выращивание древесины высокого качества с заданными строением и свойствами.

Наши исследования влияния лесоводственных факторов и интенсивных методов выращивания леса с внесением удобрений проводились в сосняках преобладающих типов леса подзоны южной тайги (Костромская, Нижегородская области): брусничном, лишайниковом, черничном, долгомошном. Для сосняков брусничного и черничного характерны соответственно свежие (B_2) и влажные (B_3) условия произрастания, для лишайникового – сухие ($A_1 - B_1$),

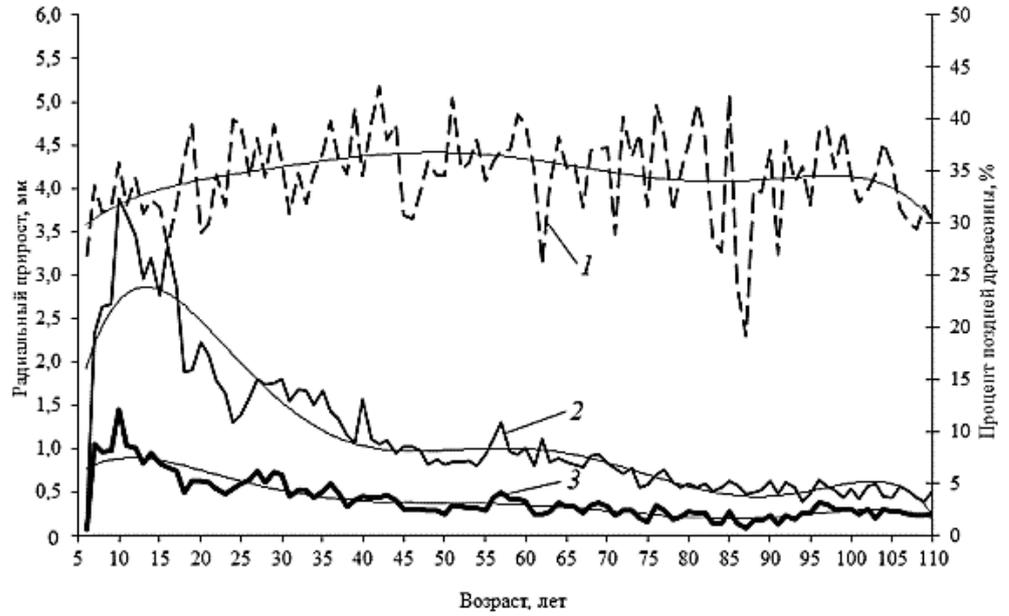
дерново-средне- и слабоподзолистые песчаные и супесчаные почвы, для долгомошного – сырые условия произрастания (В₄), глеевые слабо дренированные песчаные почвы. Изучаемые древостои имели следующие таксационные показатели: сосняк брусничный – состав древостоя 10С, возраст 100 лет, класс бонитета II, средняя высота 26 м, средний диаметр 32 см, полнота 0,7, запас 370 м³; сосняк лишайниковый – соответственно 9С + Б, 105 лет, II класс бонитета, 25 м, 30 см, полнота 0,7, 330 м³; сосняк черничный – 10С, 100 лет, II класс бонитета, 27 м, 31 см, полнота 0,9, 420 м³; сосняк долгомошный – 8С2Б + Е, 90 лет, III класс бонитета, 24 м, 26 см, полнота 0,7, 240 м³.

Удобрения вносили в лесные насаждения в два приема: в первый прием (1982 г.) применяли азотные (N), фосфорные (P), калийные (K) и смешанные (NPK) удобрения в дозах 100, 150, 200 действующего вещества (д.в.) кг на 1 га; во второй прием (1987 г.) – азотные удобрения (N) в дозе 150 кг д.в./га на опытные участки: N100, N150, (NPK)150, P150, K150.

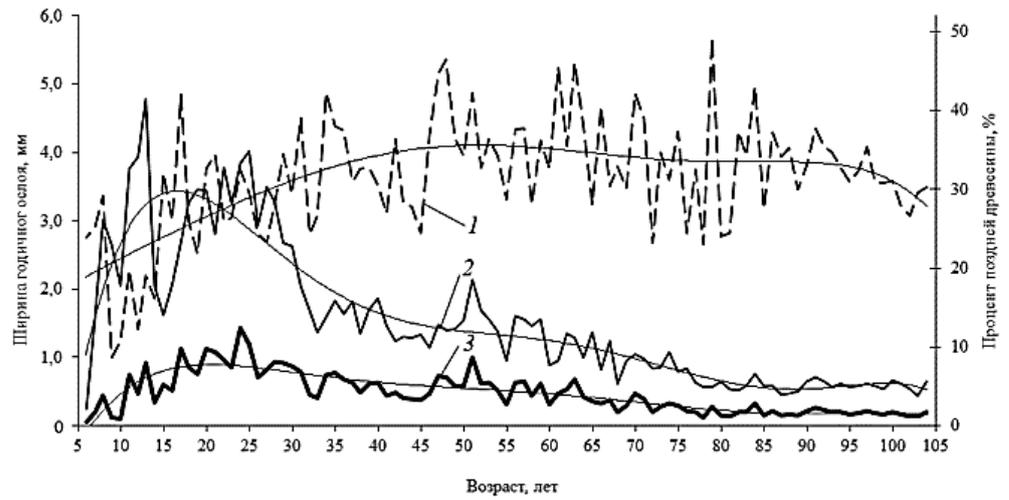
Изучение динамики признаков макроструктуры древесины (радиальный прирост, или ширина годичного слоя (ШГС), ширина ранней (ШРД) и поздней (ШПД) древесины, процент поздней древесины, число годичных слоев в 1 см) за период жизни древостоев выполнено для каждого типа леса на 25...30 образцах древесины сосны, взятых у шейки корня.

Исследования формирования древесины сосны в преобладающих типах леса подзоны южной тайги проведены в онтогенезе – индивидуальном развитии за весь период жизни древостоев. Различия в строении последовательно откладываемых камбием годичных колец, начиная от сердцевины, отражает изменение признаков макро- и микроструктуры древесины в онтогенезе растений [9]. Влияние типов леса на показатели макроструктуры древесины сосны в динамике возраста представлено на рис. 1.

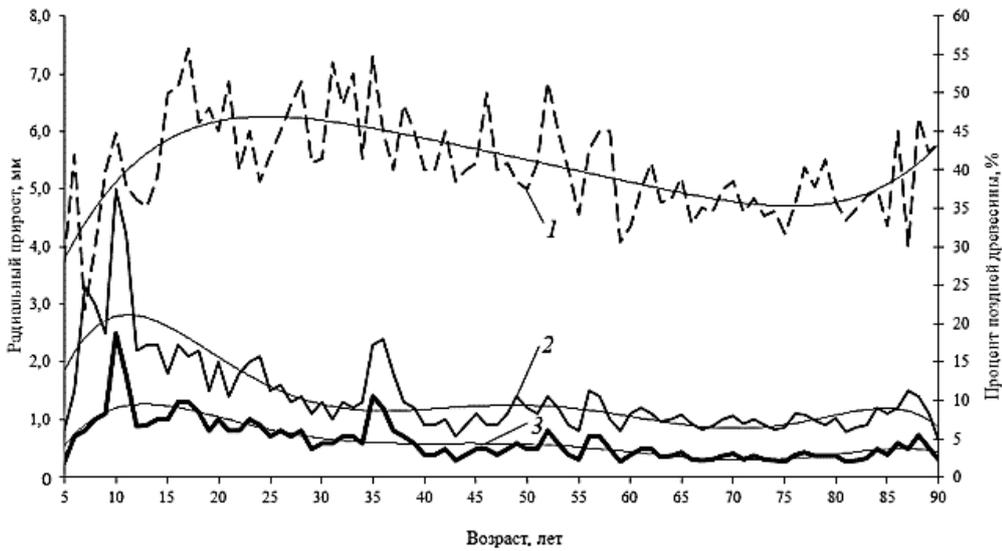
Результаты исследований показали, что в зависимости от типа леса и возраста древостоев происходят различные изменения в строении древесины. В изучаемых сосняках 1-й этап ювенильной древесины продолжается 5...8 лет. Когда древесина обретает типичные черты, следует 2-й этап – молодой древесины, характеризующейся формированием размеров ее элементов. Он отличается своей продолжительностью в зависимости от типа леса. В начале этого этапа (с 6 лет) происходит увеличение ШГС, ШРД и ШПД, которое в сосняке брусничном длится до 13, лишайниковом – 16, черничном – 11...12, долгомошном – 10 лет. За периодом подъема ШГС следует более длительный этап уменьшения и стабилизации этого показателя, в сосняке черничном он продолжается до 30, брусничном – 40, лишайниковом – 45, долгомошном – 50 лет. 3-й этап зрелой дефинитивной древесины наиболее продолжительный по сравнению с другими этапами онтогенеза. В зависимости от типа леса он начинается с 30...50 лет после стабилизации ШГС и процента поздней древесины с последующим их снижением до 110 лет (наибольший возраст изучаемых сосняков).



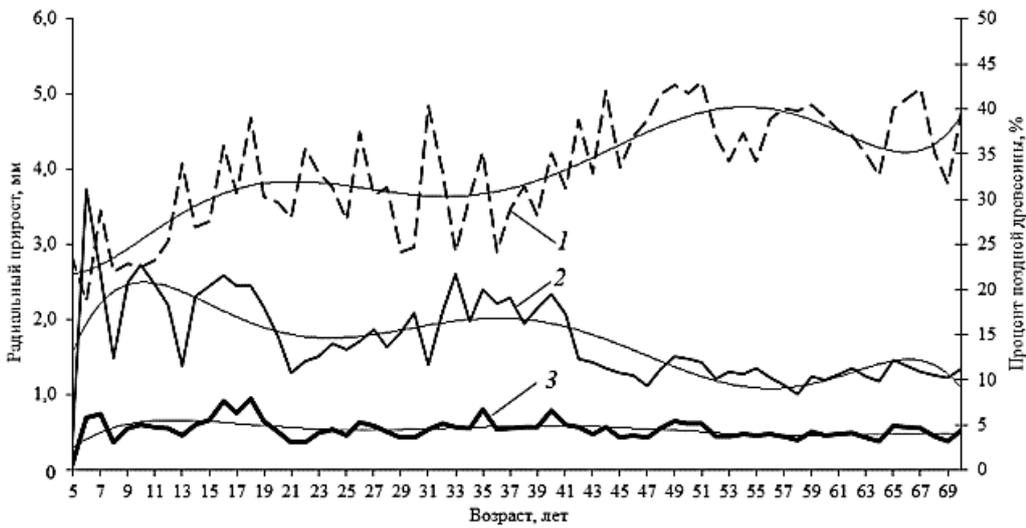
a



б



б



г

Рис. 1. Формирование древесины сосны (фактические данные и тренды) за период жизни в сосняках приобладающих типов леса подзоны южной тайги: а – сосняк брусничный, б – лишайниковый, в – черничный, г – долгомошный; 1 – ШГС и его тренд; 2 – ШПД и его тренд; 3 – процент поздней древесины и его тренд

С наступлением 3-го этапа происходит дальнейшая редукция годичного слоя, связанная с уменьшением ШГС и увеличением (до 50...55 лет), а затем снижением процента поздней древесины. На этом этапе показатели макроструктуры во всех изучаемых типах леса имеют оптимальные значения, максимальные из них – в сосняке черничном, произрастающем в наиболее благоприятных лесорастительных условиях.

В результате исследований установлено, что в сосняках преобладающих типов леса подзоны южной тайги формируется древесина высокого качества с оптимальными показателями микроструктуры для получения деловой древесины, в том числе пиловочника.

Применение минеральных удобрений в приспевающих и спелых сосняках брусничных, черничных и лишайниковых вызывает значительные изменения в макроструктуре древесины сосны. Наиболее эффективны азотные и смешанные удобрения в дозах 150 и 200 кг/га. Они увеличивают ширину годичных слоев в 1,3–2,2 раза, процент поздней древесины – на 9,6...30,7, снижают число годичных слоев в 1,2–2,2 раза, формируют менее равномерные годичные слои по сравнению с контрольными (неудобренными) древостоями [6–8]. Влияние удобрений на показатели макроструктуры древесины сосны в динамике показано на примере однократного (рис. 2) и повторного (рис. 3) внесения азотных удобрений в сосняках брусничных.

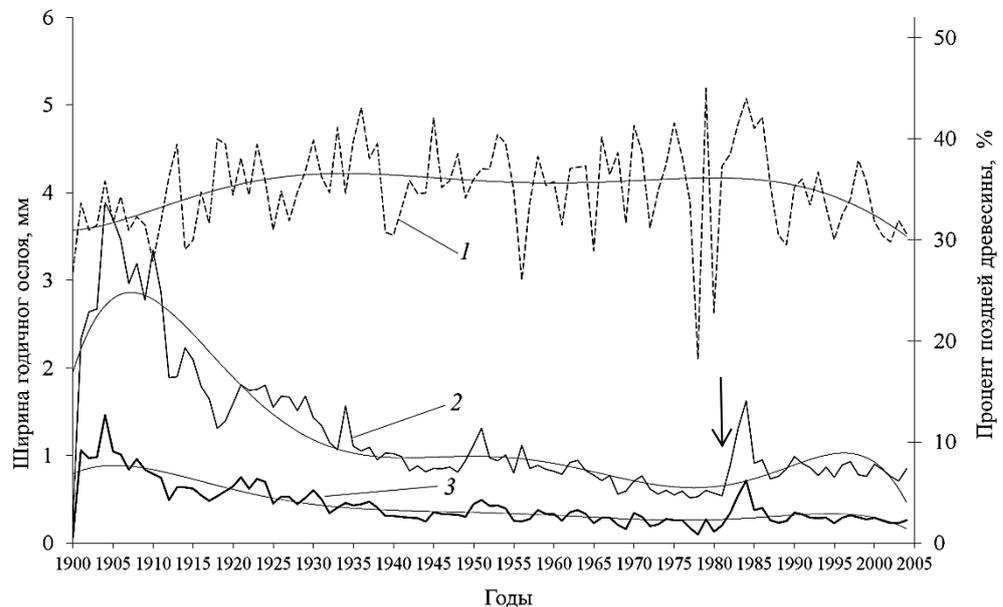


Рис. 2. Формирование древесины сосны (фактические данные и тренды) в опытах с однократным внесением удобрений (N200) в сосняке брусничном: 1 – ШГС и его тренд; 2 – ШПД и его тренд; 3 – процент поздней древесины и его тренд (1982 г. – год внесения удобрений)

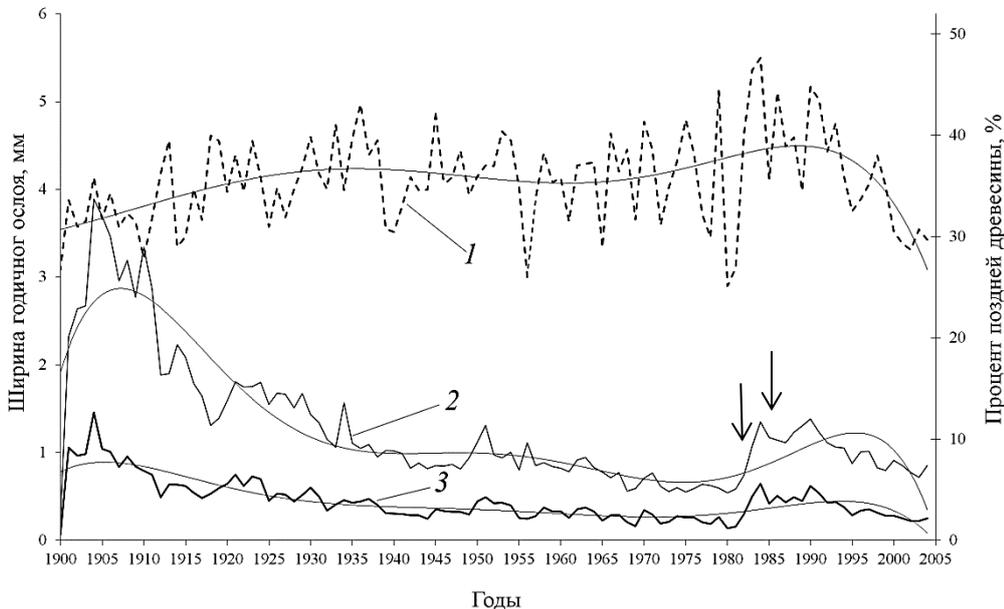


Рис. 3. Формирование древесины сосны (фактические данные и тренды) в опытах с повторным внесением удобрений (N150 + N150) в сосняке брусничном: 1 – ШГС и его тренд; 2 – ШПД и его тренд; 3 – процент поздней древесины и его тренд (1982 и 1987 гг. – годы внесения удобрений)

Поэтому для оценки строения и качества древесины в лесных насаждениях необходимо использовать комплексный индикатор – качество древесины, включающий показатели макро- (ширина годичных слоев, ШПД, число годичных слоев в 1 см) и микроструктуры древесины (диаметр, толщина стенок, длина трахеид), физические (плотность, усушка и др.), механические (прочность при сжатии, растяжении, статистическом изгибе и др.) свойства древесины, наличие пороков (сучки, трещины, пороки формы ствола и строения древесины и др.). Для характеристики качества древесины сосны наиболее удобными в применении и легко определяемыми являются показатели макроструктуры древесины, поэтому они и были предложены нами для использования.

В зависимости от изменений в макроструктуре годичных слоев рекомендовано выделять три класса индикатора качества древесины:

1 класс (высокое качество) – ШГС – 0,5...1,5 мм; процент поздней древесины – 30...40 и более; число годичных слоев в 1 см – 7...20 шт./см;

2 класс (среднее) – ШГС – 1,5...3,5 мм; процент поздней древесины – 20...35 и более; число годичных слоев в 1 см – 3...7 шт./см;

3 класс (низкое) – ШГС – более 3,5 мм; процент поздней древесины – 25 и менее; число годичных слоев в 1 см – менее 3 шт./см.

Предлагаемые классы качества древесины по комплексному показателю ее макроструктуры могут найти применение в практике лесного хозяйства и лесной промышленности при оценке строения и качества древесины сосны, получаемой в результате интенсивного лесовыращивания, для ее сортировки и сертификации, а также в лесном планировании и управлении лесами как качественный показатель в целевых государственных программах и нормативных документах.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. ИСО 9000 – НСО 8402. Управление качеством продукции. М.: Изд-во стандартов, 1988. 96 с.
2. Критерии и индикаторы устойчивого управления лесами Российской Федерации. М.: Федеральная служба лесного хозяйства России, 1998. 7 с.
3. Мелехов И.С. О качестве северной сосны. Архангельск: Севгиз, 1932. 20 с.
4. Мелехов И.С. Лесоведение: учеб. для вузов. М.: Лесн. пром-сть, 1980. 406 с.
5. Мелехов И.С. Лесоводство: учеб. для вузов. М.: Госагропромиздат, 1989. 302 с.
6. Степаненко И.И. Влияние удобрений на анатомическое строение древесины сосны в разных типах леса // Лесн. журн. 2000. № 4. С. 126–134. (Изв. высш. учеб. заведений).
7. Степаненко И.И. Повышение продуктивности сосновых насаждений в результате внесения минеральных удобрений // Лесн. журн. 2005. № 4. С. 61–69. (Изв. высш. учеб. заведений).
8. Степаненко И.И. Интенсификация целевого выращивания сосновых насаждений в южно-таежном лесном районе таежной зоны европейской части России: дис. ...д-ра с.-х. наук. Архангельск, 2010. 295 с.
9. Чавчавадзе Е.С. Древесина хвойных: морфологические особенности, диагностическое значение. Л.: Наука, 1979. 190 с.
10. Cabbage F.W., Siry J.P. Certification of fast-grown pine plantations in the U.S. South: Environmental benefits and economic sustainability // XXII IUFRO World Congress: abstracts. Brisbane, Australia, 2005. P. 201.
11. Guo J., Wang J.R. Height growth and growth intercepts for estimating site quality for young jack pine plantations in Northern Ontario // XXII IUFRO World Congress: abstracts. Brisbane, Australia, 2005. P. 368.
12. Harding K.J., Copley T.R., Toon P.G. Potential gains in wood quality from matching taxa to sites: The Queensland pine plantation experience // XXII IUFRO World Congress: abstracts. Brisbane, Australia, 2005. P. 171.
13. Kee Seng G., Lim S.C. Sound absorption coefficient of plantation timber – Acacia mangium and rubberwood // XXII IUFRO World Congress: abstracts. Brisbane, Australia, 2005. P. 32.
14. Raymond C.A., Munen A. Effect of fertilizer on wood properties of Eucalyptus globules // Canad.J. Forest. Res. 2000. Vol. 30, N 1. P. 136–144.
15. Tesch S.D., Filip G.M., Fitzgerald S.A. Silvicultural treatments for enhancing tree value, vigor and growth in 70 to 120-year old stands dominated by noble fir on the Warm Springs Indian Reservation: A synthesis of the literature. Oreg., 1994. 21 p.

16. Valinger E. Effect of thinning and nitrogen fertilization on growth of Scots pine trees: total annual biomass increment, needle efficiency, and aboveground allocation of biomass increment // *Canad. J. Forest Res.* 1993. Vol. 23, N 28. P. 1639–1644.

17. Westfall J.A., Burkhart H.E., Allen H.L. Young stand modeling for intensively-managed loblolly pine plantations in Southeastern U.S. // *Forest. Sc.* 2004. Vol. 50, N 6. P. 823–835.

18. Zhang S. Breeding for quality wood production: Challenges and opportunities // XXII IUFRO World Congress: abstracts. Brisbane, Australia, 2005. P. 157.

Поступила 11.12.13

UDC 630*187+630*55:630*81

Criteria and Indicators of Growth, Productivity of Forest Stands Under Their Intensive Cultivation

I.I. Stepanenko, Doctor of Agriculture, Associate Professor, Alternate Director of Branch of Forest Complex Development and Program Realization

Moscow region Forestry (State) Committee, Boulevard Stroiteley, 1, Krasnogorsk, Moscow region, 143407, Russia; e-mail: moslescomsi@mail.ru

An important task of forest science and practice is the development and use of new approaches, methods, criteria and indicators in forestry, forest management under intensive cultivation of forest stands. The purpose was to study the influence of environmental factors, such as forest types, forest stands age and intensive method of growing forest fertilization on pine wood macrostructure for pine stands growing target specific structure and quality, and the rationale for the use of indicators to characterize the wood macrostructure indicator - quality wood in intensive forestry. This work continues the cause of Ivan Stepanovich Melekhov - an outstanding Russian forester and dedicated to his memory. The studies were conducted in the southern taiga subzone (Kostroma, Nizhny Novgorod region) in fertilized and control (unfertilized) pine forests of different types: cowberry (*Pinetum vacciniosum*), bilberry (*Pinetum myrtillosum*), lichen (*Pinetum cladinosum*), long-moss (*Pinetum polytrichosum*). The mature stands (90-100 years) were studied in *Pinetum vacciniosum*, *Pinetum myrtillosum* and *Pinetum cladinosum*, maturing stands (70 years) - *Pinetum polytrichosum*. The fertilizers were applied in two steps. In the 1-st receiving (1982) were applied nitrogen (N), phosphorus (P), potassium (K), mixed (NPK) fertilizer in doses of 100, 150, 200 kg /hectare of active ingredient (a.i.) in the 2-nd receiving (1987) - nitrogen fertilizer (N) at 150 kg /hectare a.i. on experimental plots: N100, N150, (NPK) 150, P150, K150. In the research and analysis of the experimental data were used standard techniques. The article shows the main criteria and indicators for sustainable forest management and forest management used to characterize the stands under intensive cultivation of forests, special attention is given to the indicator – wood quality in parameters of macrostructure wood. The dependence of the performance of the macrostructure pine forest type, stand age in stages of ontogeny and intensive cultivation methods forest fertilization is established. Studies have shown that in natural pine of forest types prevailing southern taiga subzone formed high quality wood with optimal parameters of microstructure for industrial wood, including logs. In the pine forests of *Pinetum vacciniosum*, *Pinetum myrtillosum*, *Pinetum cladinosum* is the most effective nitrogen and mixed fertilizers. They significantly change performance of the wood macro-

structure: increase the width of annual layers in the 1.3...2.2 times, latewood percent – 9.6...30.7%, reduce the amount of annual layers in 1,2...2,2 times, promotes less uniform annual rings on compared with control (unfertilized) stands. The studies found that the intensive cultivation of pine stands with fertilizer for industrial wood, including logs, you must take into account the indicator - the quality of the wood. Based on the results of studies to assess the quality of the wood is proposed to use quality classes on a complex metric that includes the basic elements of the macrostructure of wood: the width of annual rings, the latewood percent, the amount of annual rings in 1 cm. The obtained results can be used in the practice of forestry and forest industry at evaluation of the structure and quality pine wood, obtained by intensive forest cultivation for its grading and certification, as well as in the forest planning and forest management as a quality indicator in the target state programs and regulations.

Keywords: criteria, indicators, intensive cultivation of forests, fertilizers, quality of wood, wood macrostructure, ontogeny, stand age, forest types.

REFERENCES

1. ISO 9000 – NSO 8402. *Upravlenie kachestvom produkcii* [ISO 9000 – NSO 8402. Quality Management]. Moscow, 1988. 96 p.
2. *Kriterii i indikatory ustoychivogo upravleniya lesami Rossiyskoy Federatsii* [Criteria and Indicators of Sustainable Forest Management of the Russian Federation]. Moscow, 1998. 7 p.
3. Melekhov I.S. *O kachestve severnoy sosny* [About the Quality of Northern Pine]. Arkhangelsk, 1932. 20 p.
4. Melekhov I.S. *Lesovedenie* [Forest Science]. Moscow, 1980. 406 p.
5. Melekhov I.S. *Lesovodstvo* [Forestry]. Moscow, 1989. 302 p.
6. Stepanenko I.I. Vliyanie udobreniy na anatomicheskoe stroenie drevesiny sosny v raznykh tipakh lesa [Effect of Fertilizers on the Anatomical Structure of Pine Wood in Different Forest Types]. *Lesnoy zhurnal*, 2000, no. 4, pp. 126–134.
7. Stepanenko I.I. Povyshenie produktivnosti sosnovykh nasazhdeniy v rezul'tate vneseniya mineral'nykh udobreniy [Increasing Productivity of Pine Stands by Mineral Fertilizers Application]. *Lesnoy zhurnal*, 2005, no. 4, pp. 61–69.
8. Stepanenko I.I. *Intensifikatsiya tselevogo vyrashchivaniya sosnovykh nasazhdeniy v yuzhno-taеzhnom lesnom rayone taеzhnoy zony evropeyskoy chasti Rossii: dis. ...d-rа s.-kh. nauk* [Intensification Target of Growing Pine Plantations in the Southern Taiga Forest Area of the Taiga Zone of the European Part of Russia: Doct.Agric.Sci.Dis]. Arkhangelsk, 2010. 295 p.
9. Chavchavadze E.S. *Drevesina khvoynykh: morfologicheskie osobennosti, diagnosticheskoe znachenie* [Softwood: Morphological Features, Diagnostic Value]. Leningrad, 1979. 190 p.
10. Cabbage F.W., Siry J.P. Certification of fast-grown pine plantations in the U.S. South: Enironmetal benefits and economic sustainability. *XXII IUFRO World Congress: abstracts*. Brisbane, Australia, 2005. 201 p.
11. Guo J., Wang J. R. Height growth and growth intercepts for estimating site quality for young jack pine plantations in Northern Ontario. *XXII IUFRO World Congress: abstracts*. Brisbane, Australia, 2005. 368 p.

12. Harding K.J., Copley T.R., Toon P.G. Potential gains in wood quality from matching taxa to sites: The Queensland pine plantation experience. *XXII IUFRO World Congress: abstracts*. Brisbane, Australia, 2005. 171 p.

13. Kee Seng G., Lim S.C. Sound absorption coefficient of plantation timber – *Acacia mangium* and rubberwood. *XXII IUFRO World Congress: abstracts*. Brisbane, Australia, 2005. 32 p.

14. Raymond C. A., Munen A. Effect of fertilizer on wood properties of *Eucalyptus globules*. *Canad.J. Forest. Res.*, 2000, vol. 30, no. 1, pp.136–144.

15. Tesch S.D., Filip G.M., Fitzgerald S.A. *Silvicultural treatments for enhancing tree value, vigor and growth in 70 to 120-year old stands dominated by noble fir on the Warm Springs Indian Reservation: A synthesis of the literature*. Oreg., 1994. 21 p.

16. Valinger E. Effect of thinning and nitrogen fertilization on growth of Scots pine trees: total annual biomass increment, needle efficiency, and aboveground allocation of biomass increment. *Canad. J. Forest Res.*, 1993, vol. 23, no. 28, pp. 1639–1644.

17. Westfall J.A., Burkhart H.E., Allen H.L. Young stand modeling for intensively-managed loblolly pine plantations in Southeastern U.S. *Forest. Sc.*, 2004, vol. 50, no. 6, pp. 823–835.

18. Zhang S. Breeding for quality wood production: Challenges and opportunities. *XXII IUFRO World Congress: abstracts*. Brisbane, Australia, 2005. 157 p.

Received on December 11, 2013

УДК 630*443.3

**ВЛИЯНИЕ СЕРДЦЕВИННОЙ ГНИЛИ
НА ПРОДУКЦИЮ ДРЕВОСТОЕВ ОСИНЫ РАЗНЫХ ФОРМ**© **Б.П. Чураков, д-р. биол. наук, проф.****И.Т. Замалдинов, асп.****Р.А. Чураков, студ.**

Ульяновский государственный университет, ул. Л. Толстого, д. 42, г. Ульяновск, Россия, 432000; e-mail: churakovbp@yandex.ru

Несмотря на богатый и разнообразный исследовательский материал по биологии и экологии осины, вопросам ее биологической продуктивности в связи с биоморфологическим разнообразием и поражением сердцевинной гнилью уделяется мало внимания. Целью настоящей работы является изучение продукции древостоев разных возрастов и разных морфологических форм осины в связи с поражением ложным осиновым трутовиком *Phellinus tremulae* (Bondartsev) Bondartsev & P.N. Vorisov. Задачи исследований: изучить линейную протяженность грубой коры разных форм осины, выявить связь между протяженностью грубой коры и сердцевинной гнили и выходом деловой древесины, определить запас древесины, общую фитомассу и депонированный углерод разных форм осины в связи с поражением их сердцевинной гнилью. В исследованных древостоях средняя линейная протяженность грубой трещиноватой коры у здоровых и пораженных сердцевинной гнилью деревьев серокорой осины превышает аналогичный показатель у серо-зеленой и зеленокорой форм. Средняя линейная протяженность грубой коры постепенно увеличивается по мере повышения возраста древостоев. Расчетный и фактический выходы деловой древесины имеют тенденцию к росту от серокорой к зеленокорой форме. При этом для всех форм осины выход деловой древесины по мере увеличения протяженности грубой коры остается примерно на одном уровне. Такая закономерность наблюдается для всех классов возраста. Наибольшие расчетный и фактический выходы деловой древесины отмечены у зеленокорой формы осины в среднем по трем классам возраста (42,1 и 19,4 % соответственно). Существенного влияния сердцевинной гнили на общую фитомассу и запас депонированного углерода в обследованных древостоях осины разных форм не обнаружено. Таким образом, линейная протяженность грубой крупно-трещиноватой коры у не пораженных сердцевинной гнилью деревьев всех исследованных форм осины больше, чем у пораженных; наибольшая протяженность грубой коры отмечена у серокорой формы (3,5 м), наименьшая – у зеленокорой (2,6 м), что характерно как для здоровых, так и для пораженных гнилью деревьев; по мере увеличения возраста древостоев протяженность грубой коры растет у всех форм; с увеличением протяженности грубой коры отмечено повышение линейной протяженности сердцевинной гнили у всех форм; поражение древостоев осины сердцевинной гнилью приводит

к заметному снижению (в 2 раза и более) выхода деловой древесины у всех форм осины; наименьшее снижение выхода деловой древесины отмечено у зеленокорой формы осины; поражение древостоев осины сердцевинной гнилью приводит к незначительному снижению общей фитомассы и депонированного углерода.

Ключевые слова: протяженность грубой коры, сердцевинная гниль, формы осины, возраст древостоев, запас и фитомасса древостоя, депонированный углерод.

Осина, или тополь дрожащий, *Populus tremula* L. – одна из самых известных и распространенных древесных пород северного полушария. Она встречается почти на всей территории Европы и Азии. Северная граница ее ареала доходит до 70, на юге – до 23° с. ш. [18]. В северной Америке примерно на тех же широтах произрастает другой вид осины – *Populus tremuloides* Michx. [27]. В связи с тем, что с осинкой связано существование многих обитателей леса (лосей, косуль, зайцев, некоторых видов насекомых, грибов, лишайников и т. д.), в последнее время происходит переоценка роли данной древесной породы в лесных экосистемах [13]. Кроме того, значимы экологическая и формирующая функции осины как пионерной породы [19]. К сожалению, большая часть наших осинников имеют низкую товарную ценность из-за поражения их сердцевинной гнилью от ложного осинового трутовика [1, 5, 6, 14, 15, 24, 25].

Осина имеет довольно много внутривидовых форм, представляющих определенную ценность для лесного хозяйства [3, 7, 12, 16, 17, 23]. Различные ее формы неодинаково устойчивы к сердцевинной гнили. Высокую устойчивость к ложному осинового трутовика зеленокорой формы осины в Черниговской области отмечал А.В. Цилюрик, в лесах Белоруссии – Е.Г. Орленко [22]. Н.И. Федоров [21] и Н.Н. Гаврицкова [5] также констатируют, что зеленокорая форма осины более устойчива к ложному осинового трутовика, чем серо- и темнокорая. С.Г. Елисеев [12] отмечает, что естественная биостойкость зеленокорой формы осины к сердцевинной гнили в Красноярском крае выше на 9,5 %, чем темно- и серокорой. А.С. Яблоковым [26] обнаружена исполинская форма осины, отличающаяся особенно быстрым ростом и устойчивостью против осинового трутовика.

Отдельными вопросами продуктивности осинников в разных регионах нашей страны занимались Н.М. Деева [9], В.А. Усольцев [20], В.Н. Габеев [4], В.П. Демиденко [10], Н.В. Дылис [11], М.Д. Данилов [8] и др. Интересная информация о продуктивности североамериканских видов осины приведена в работах J.M. Jarvis [30], L.F.W. Pollard [31], T.R. Crow [28], H.W. Hocker [29].

Несмотря на богатый и разнообразный исследовательский материал по биологии и экологии осины, вопросам биологической продуктивности осины в связи с ее биоморфологическим разнообразием и поражением сердцевинной гнилью исследователями уделяется мало внимания.

Цель настоящей работы – изучение продукции древостоев разных возрастов и разных морфологических форм осины в связи с поражением осино-вым трутовиком *Phellinus tremulae* (Bondartsev) Bondartsev & P.N. Borisov.

В задачи исследований входило изучение линейной протяженности грубой коры разных форм осины; выявление связей между протяженностью грубой коры и сердцевинной гнили и выходом деловой древесины; определение запаса древесины, общей фитомассы и депонированного углерода разных форм осины в связи с поражением их сердцевинной гнилью.

Исследования проводили в Николаевском, Кузоватовском и Барышском лесничествах Ульяновской области в чистых осиновых древостоях состава 10Ос, IV, V и VI классов возраста, III бонитета, с полнотой 0,7 в осиннике осок-снытьевом. Данный тип леса встречается на супесчаных или легкосуглинистых серых лесных почвах. Иногда в составе древостоя попадают единично сосна обыкновенная *Pinus sylvestris* L. и береза повислая *Betula pendula* Roth., в подлеске – лещина обыкновенная *Corylus avellana* L. В живом напочвенном покрове представлены: *Carex pilosa*, *Aegopodium podagraria*, *Pulmonaria obscura*, *Convallaria majalis*, *Glechoma hederacea*, *Equisetum sylvaticum*.

Проведенные нами ранее исследования [24, 25] показали, что в осинниках Ульяновской области наиболее часто встречаются три формы осины, отличающиеся цветом коры: серокорая, серо-зеленая и зеленокорая.

Для определения линейной протяженности грубой коры были заложены безразмерные пробные площади (ПП) по 100 деревьев в каждой в 6-кратной повторности в древостоях трех форм осины трех возрастных групп, т. е. всего 54 ПП. На них был сделан сплошной пересчет деревьев с разделением их на пораженные и не пораженные ложным осиновым трутовиком. С помощью рулетки была определена протяженность грубой коры у здоровых и пораженных деревьев с точностью до 0,1 м.

Для определения зависимости между протяженностью грубой коры и протяженностью сердцевинной гнили на ПП было отобрано по 6 пораженных и 6 не пораженных гнилью деревьев для трех градаций протяженности грубой коры (средняя длина $\pm 0,3$ м). Всего было обследовано 162 не пораженных и 162 пораженных гнилью модельных дерева. Модельные деревья спиливали, определяли средний объем дерева, а также расчетный и фактический выход деловой древесины на 1 га как произведение среднего расчетного выхода деловой древесины на количество деревьев на этой площади. Поскольку в изучаемых древостоях присутствовали как пораженные, так и не пораженные гнилью деревья, то фактический выход деловой древесины на 1 га определяли как сумму фактических выходов деловой древесины не пораженных и пораженных гнилью (больных) деревьев.

Общую фитомассу древостоя определяли по формуле

$$M = VK,$$

где V – запас стволовой древесины в коре;

K – конверсионный коэффициент, для осины лесостепной зоны европейской части России IV класса возраста $K = 0,558$, для V и VI классов $K = 0,496$ (коэффициент перевода фитомассы в углерод – 0,5) [2].

Поскольку фитомасса и запас древостоя при поражении сердцевинной гнилью снижаются параллельно, то условно можно принять, что конверсионные коэффициенты пораженных и не пораженных сердцевинной гнилью деревьев примерно одинаковы.

Результаты исследований обрабатывали математическими методами с определением среднего арифметического \bar{X} , среднего квадратического отклонения S и достоверности различий между сравниваемыми средними по критерию Стьюдента на 0,05-м уровне значимости исследуемого показателя.

У деревьев осины кора по внешним морфологическим признакам довольно четко разделяется на две формы: в нижней части ствола располагается темная грубая крупнотрещиноватая кора, в верхней части она тонкая и гладкая. Цвет тонкой коры зависит от внутривидовой формы осины и может быть серым, серо-зеленым и зеленым. Но переход от грубой к тонкой коре у различных форм осины разный. Если у зеленокорой осины грубая кора почти сразу переходит в тонкую, то у серокорой и серо-зеленой осин между ними располагается мелкотрещиноватая кора. В наших исследованиях определялась протяженность только грубой коры. При этом измерения проводили одновременно у пораженных и не пораженных ложным осиновым трутовиком деревьев. Результаты исследований представлены в табл. 1.

Таблица 1

Линейная протяженность грубой коры в древостоях различных форм осины

Форма осины	Класс возраста	Высота деревьев, м		Среднее число деревьев на пробе, шт.		Средняя протяженность грубой коры, м, у деревьев	
		здоровых	больных	здоровых	больных	здоровых	больных
Серокорая	IV	16,2	16,0	3,5	96,5±0,9	2,5±0,2	2,3±0,4
	V	18,6	18,4	1,3	98,7±1,2	3,7±0,3	3,4±0,6
	VI	20,7	19,9	1,1	98,9±1,7*	4,4±0,4	4,1±0,5*
<i>Среднее</i>		18,5	18,1	2,0	98,0	3,5	3,3
Серо-зеленая	IV	16,1	15,8	9,4	90,6±0,8*	2,4±0,4	2,2±0,4
	V	19,1	18,9	8,8	91,2±2,1*	3,2±0,2	2,9±0,3
	VI	20,9	20,5	3,3	96,7±1,9	4,2±0,3	4,0±0,6
<i>Среднее</i>		18,7	18,4	7,2	92,8	3,2	3,1
Зеленокорая	IV	16,5	16,4	13,5	86,5±0,9	1,9±0,2	1,4±0,6
	V	19,4	19,2	11,1	88,9±1,6	2,6±0,4	2,4±0,4
	VI	21,1	20,8	5,4	94,6±1,8	3,4±0,5	3,1±0,5
<i>Среднее</i>		19,0	18,8	10,0	90,0	2,6	2,3
Среднее по возрастам	IV	16,3	16,1	8,8	91,2	2,3	2,0
	V	19,0	18,8	7,1	92,9	3,2	2,9
	VI	20,9	20,4	3,3	96,7	4,0	3,7
<i>Среднее по формам</i>		18,7	18,4	6,4	93,6	3,1	2,8

Примечание. Здесь и далее, в табл. 2, достоверность результатов исследований $M \pm t \geq 5\%$, кроме отмеченных звездочкой, где $M \pm t \leq 5\%$.

Полученные результаты показывают, что в исследованных древостоях средняя линейная протяженность грубой трещиноватой коры в нижней части ствола у здоровых деревьев серокорой формы превышает аналогичный показатель у серо-зеленой осины на 8,6 %, у зеленокорой – на 25,7 %. В древостоях, пораженных сердцевинной гнилью, протяженность грубой коры у серокорой формы больше на 6,1 %, чем у серо-зеленой, и на 30,7 %, чем у зеленокорой формы осины. Средняя линейная протяженность грубой коры постепенно увеличивается по мере повышения возраста древостоев и составляет у здоровых деревьев в IV классе возраста 2,3 м, в V – 3,2 м, в VI – 4,0 м, у пораженных сердцевинной гнилью деревьев – соответственно 2,0; 2,9 и 3,7 м.

Таблица 2

Линейная протяженность гнили в зависимости от протяженности грубой коры

Форма осины	Класс возраста	Протяженность грубой коры, м, у деревьев		Протяженность гнили, м, у больных деревьев	
		здоровых	больных		
Серокорая	IV	2,2±0,06	2,0±0,07	8,1±0,17	
		2,5±0,08	2,3±0,12	8,3±0,09	
		2,8±0,10	2,6±0,16	8,4±0,09*	
	V	3,4±0,12	3,1±0,14	9,9±0,18	
		3,7±0,09	3,4±0,09	10,1±0,08	
		4,0±0,06	3,7±0,05	10,3±0,17	
	VI	4,1±0,07	3,8±0,11	12,8±0,09	
		4,4±0,12	4,1±0,13	13,0±0,17	
		4,7±0,11	4,4±0,12	13,1±0,09*	
<i>Среднее</i> Серо-зеленая	IV	3,5	3,3	10,4	
		2,1±0,08	1,9±0,08	7,4±0,18	
		2,4±0,12	2,2±0,06	7,6±0,08	
	V	2,7±0,11	2,5±0,06	7,7±0,09*	
		2,9±0,09	2,6±0,07	10,1±0,09	
		3,2±0,11	2,9±0,05	10,3±0,09	
	VI	3,5±0,13	3,2±0,07	10,4±0,19*	
		3,9±0,14	3,7±0,06	12,3±0,09	
		4,2±0,09	4,0±0,08	12,5±0,17	
			4,5±0,12	4,3±0,09	12,7±0,08
	<i>Среднее</i> Зеленокорая	IV	3,2	3,1	10,1
			1,6±0,11	1,1±0,02	7,1±0,09
1,9±0,07			1,4±0,03	7,3±0,09	
V		2,2±0,08	1,7±0,03	7,4±0,19*	
		2,3±0,09	2,1±0,02	9,8±0,19	
		2,6±0,07	2,4±0,04	10,1±0,18	
VI		2,9±0,08	2,7±0,03	10,3±0,07	
		3,1±0,06	2,8±0,03	12,3±0,08	
		3,4±0,11	3,1±0,04	12,5±0,09	
			3,7±0,13	3,4±0,04	12,6±0,19*
<i>Среднее</i> Среднее по формам			2,6	2,3	9,9
			3,1	2,9	10,1

С теоретической и практической точек зрения интересно было выявить зависимость между протяженностью грубой коры деревьев и протяженностью стволовой гнили. Для выявления такой зависимости на модельных деревьях, пораженных сердцевинной гнилью, была определена линейная протяженность гнили в зависимости от длины грубой коры.

Анализ данных табл. 2 показал, что наибольшая протяженность грубой коры отмечена у здоровых деревьев серокорой формы (3,5 м), наименьшая – у зеленокорой (2,6 м). Протяженность грубой коры у пораженных гнилью деревьев всех исследованных форм меньше, чем у здоровых деревьев. По мере увеличения возраста древостоев протяженность грубой коры увеличивается у всех форм осины. Отмечена тенденция к увеличению линейной протяженности гнили по мере увеличения протяженности грубой коры внутри отдельных возрастных групп деревьев. Это наблюдается во всех классах возраста и для всех форм осины.

Практический интерес представляет вопрос о влиянии протяженности грубой коры и сердцевинной гнили на выход деловой древесины (табл. 3).

Полученные данные показывают, что поражение осины трутовиком приводит к снижению объема дерева в среднем на 4,0 %. При этом различия между формами незначительны. Наличие сердцевинной гнили заметно влияет на выход деловой древесины. В среднем фактический выход деловой древесины из одного дерева снижается примерно в 2,8 раза по сравнению с расчетным. При этом для всех форм внутри одной возрастной группы деревьев не установлено достоверной зависимости между выходом деловой древесины и протяженностью грубой коры, кроме данных, отмеченных звездочкой, где достоверность выше или равна 5 %.

Таблица 3

Выход деловой древесины в зависимости от протяженности грубой коры и гнили

Форма осины	Класс возраста	Объем дерева, м ³		Выход			
				расчетный		фактический	
		здорового	больного	м ³	%	м ³	%
Серокорая	IV	0,14	0,14	0,04	28,6	0,022	15,7
		0,15	0,14	0,05	33,3	0,024	17,1
		0,16	0,15	0,06	37,5	0,026	17,3
	V	0,24	0,23	0,09	37,5	0,034	14,8
		0,25	0,24	0,10	40,0	0,035	14,6
		0,26	0,25	0,11	42,3	0,036	14,4
	VI	0,32	0,32	0,12	37,5	0,042	13,1
		0,33	0,32	0,13	39,4	0,044	13,7
		0,34	0,33	0,14	41,2	0,046	13,9
<i>Среднее</i>		0,24	0,23	0,09	37,5	0,034	14,9
Серо-зеленая	IV	0,15	0,14	0,05	33,3	0,025	17,8
		0,16	0,15	0,06	37,5	0,026	17,3
		0,17	0,16	0,07	41,1	0,027	16,9
		0,16	0,15	0,06	37,5	0,026	17,3

Окончание табл. 3

Форма осины	Класс возраста	Объем дерева, м ³		Выход			
		здорового	больного	расчетный		фактический	
				м ³	%	м ³	%
Серо-зеленая	V	0,23	0,23	0,08	34,7	0,034	14,8
		0,24	0,23	0,09	37,5	0,036	15,6
		0,25	0,24	0,10	40,0	0,038	15,8
	VI	0,36	0,358	0,15	41,6	0,044	12,6
		0,38	0,37	0,16	42,1	0,046	12,4
		0,40	0,40	0,17	42,5	0,048	12,0
<i>Среднее</i> Зеленокорая	IV	0,26	0,25	0,10	38,5	0,036	15,0
		0,13	0,13	0,04	30,7	0,028	21,5
		0,14	0,13	0,05	35,7	0,029	22,3
	V	0,15	0,15	0,06	40,0	0,030	20,0
		0,24	0,23	0,08	33,3	0,036	15,6
		0,25	0,24	0,10	40,0	0,038	15,8
	VI	0,26	0,25	0,12	46,1	0,040	16,0
		0,37	0,37	0,13	35,1	0,049	13,2
		0,38	0,37	0,16	42,1	0,051	13,8
		0,39	0,38	0,19	48,7	0,053	13,9
<i>Среднее</i> Среднее по формам		0,26	0,24	0,10	38,5	0,039	16,9
		0,25	0,24	0,10	38,2	0,036	15,6

В табл. 4 приведены данные по общему запасу древесины, расчетному и фактическому выходам деловой древесины в перерасчете на 1 га для всех форм осины в различных классах возраста.

Средний запас древесины в обследованных древостоях составляет 156 м³/га и незначительно колеблется в ту или иную сторону для отдельных форм осины. Для всех форм осины наблюдается увеличение запаса древесины на 1 га по мере увеличения возраста древостоев. Расчетный выход деловой древесины в среднем для всех форм и классов возраста составляет 61,0 м³/га (39,2 %), фактический – 26,6 м³/га (17,5 %). Наибольшие расчетный и фактический выходы деловой древесины отмечены у зеленокорой формы осины – в среднем по трем классам возраста 42,1 и 19,4 % соответственно.

Определенный практический интерес представляет вопрос накопления общей фитомассы и депонированного углерода разными формами осины в связи с поражением их сердцевинной гнилью.

В табл. 5 представлены данные по общей фитомассе и депонированному углероду разными формами осины в связи с поражением их сердцевинной гнилью.

Таблица 4

Общий запас, расчетный и фактический выход деловой древесины осины

Форма осины	Класс возраста	Число деревьев, шт./га		Запас древесины, м ³ /га		Выход деловой древесины					
		всего	больших	всего	больших	м ³		м ³ /га		%	
						расчетный	фактический	расчетный	фактический	расчетный	фактический
Серокорая	IV	978	912	137,6	127,7	0,05	0,024	48,9	25,2	35,5	19,7
	V	648	603	155,9	144,7	0,10	0,035	51,8	24,7	33,2	15,8
	VI	483	466	154,7	149,1	0,13	0,044	62,8	22,7	40,6	14,7
Среднее Серо-зеленая	IV	703	660	149,4	140,5	0,09	0,034	54,5	24,2	36,4	16,7
	V	989	909	149,1	136,3	0,06	0,026	49,5	27,6	33,2	18,5
	VI	654	613	150,8	141,0	0,09	0,036	65,4	26,2	43,4	17,4
Среднее Зеленокорая	IV	496	483	183,6	178,7	0,16	0,046	74,4	24,2	40,5	13,2
	V	712	668	161,2	152,0	0,10	0,036	63,1	25,5	39,0	16,3
	VI	969	864	127,0	112,3	0,05	0,029	58,1	31,4	45,7	24,7
Среднее по классам возраста Среднее по формам	IV	667	608	160,6	145,9	0,10	0,038	73,4	29,6	45,7	18,4
	V	498	465	184,5	172,0	0,16	0,051	64,7	28,0	35,0	15,2
	VI	712	646	157,4	143,4	0,10	0,039	65,4	29,7	42,1	19,4
Среднее по классам возраста Среднее по формам	IV	979	895	137,9	125,4	0,05	0,026	52,2	28,1	38,1	20,9
	V	656	608	155,8	143,9	0,10	0,036	63,5	26,8	40,8	17,2
	VI	492	471	174,3	166,6	0,15	0,047	67,3	25,0	38,7	14,4
Среднее по формам	709	658	156,0	145,3	0,10	0,036	61,0	26,6	39,2	17,5	

Таблица 5

**Общая фитомасса и запас депонированного углерода
в древостоях осины разных форм**

Форма осины	Класс воз- раста	Запас древесины, м ³ /га		Фитомасса, т/га		Запас углерода		
		расчет- ный	факти- ческий	расчет- ная	факти- ческая	расчет- ный, т/га	фактический	
							т/га	%*
Серокорая	IV	146,7	137,6	81,8	76,8	40,9	38,4	93,9
	V	162,0	155,9	80,4	77,3	40,2	38,6	96,1
	VI	159,4	154,7	79,1	76,7	39,5	38,4	97,0
<i>Среднее</i>		156,0	149,4	80,4	76,9	40,2	38,5	95,7
Серо-зеленая	IV	158,2	149,1	88,3	83,2	44,1	41,6	94,2
	V	157,0	150,8	77,8	74,8	38,9	37,4	96,1
	VI	188,5	183,6	93,5	91,1	46,7	45,6	97,4
<i>Среднее</i>		167,9	161,2	86,5	83,0	43,2	41,5	95,9
Зеленокорая	IV	135,7	127,0	75,7	70,9	37,8	35,5	93,6
	V	166,7	160,6	82,7	79,6	41,3	39,8	96,2
	VI	189,2	184,5	93,8	91,5	46,9	45,7	97,5
<i>Среднее</i>		163,8	157,4	84,1	80,1	42,0	40,3	95,8
Среднее по классам возраста	IV	146,9	137,9	82,0	76,9	41,0	38,5	93,8
	V	161,9	155,8	80,3	77,3	40,1	38,6	96,2
	VI	179,0	174,3	88,8	86,5	44,4	43,2	97,3
Среднее по формам		162,6	156,0	83,7	80,1	41,8	40,1	95,8

* Процент фактического запаса углерода от расчетного.

В обследованных древостоях основной запас депонированного углерода сосредоточен в пораженных сердцевинной гнилью деревьях, поскольку здоровых деревьев в обследованных насаждениях небольшая часть. Существенной разницы в общей фитомассе и запасе депонированного углерода между различными формами осины не обнаружено. Для всех внутривидовых форм осины наблюдается увеличение запаса депонированного углерода по мере увеличения возраста.

Средний запас фактически депонированного углерода составляет 95,8 % от расчетного, что указывает на незначительное влияние сердцевинной гнили на фотосинтезирующую активность древостоев. Но здесь нужно обратить внимание на то, что при расчете фактической фитомассы и депонированного углерода в древостое учитывались как пораженные, так и не пораженные гнилью деревья, в то время, как при определении расчетных показателей предполагалось, что все деревья были без сердцевинной гнили.

Существенного влияния сердцевинной гнили на общую фитомассу и запас депонированного углерода в обследованных древостоях осины разных форм не обнаружено.

Выводы

1. Линейная протяженность грубой, крупнотрещиноватой коры у не пораженных сердцевинной гнилью деревьев всех исследованных форм осины больше, чем у пораженных.

2. Наибольшая протяженность грубой коры отмечена у серокорой формы (3,5 м), наименьшая – у зеленокорой формы (2,6 м). Такая закономерность отмечена как у здоровых, так и у пораженных гнилью деревьев всех форм осины.

3. По мере увеличения возраста древостоев протяженность грубой коры повышается у всех форм осины.

4. С увеличением протяженности грубой коры линейная протяженность сердцевинной гнили у всех форм осины возрастает.

Поражение древостоев осины сердцевинной гнилью приводит к заметному снижению (в 2 раза и более) выхода деловой древесины, что характерно для всех форм осины. Наименьшее снижение выхода деловой древесины отмечено у зеленокорой формы осины.

Поражение древостоев осины сердцевинной гнилью приводит к незначительному снижению общей фитомассы и депонированного углерода.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Алексеев В.А.* Изучение связи пораженности осинников трутовиком с содержанием элементов минерального питания в почве // Лесн. журн. 1976. № 5. С. 21–25. (Изв. высш. учеб. заведений).
2. *Алексеев В.А., Бердси Р.А.* Углерод в экосистемах лесов и болот. Красноярск, 1994. 170 с.
3. *Волкович В.Б.* О соотношении мужских и женских клонов деревьев осины в лесах Ленинградской области // Лесн. журн. 1966. № 2. С. 25–28. (Изв. высш. учеб. заведений).
4. *Габеев В.Н.* Биологическая продуктивность лесов Приобья. Новосибирск: Наука, 1976. 172 с.
5. *Гаврицкова Н.Н.* Болезни осины в Волжско-Камском регионе и их хозяйственная оценка: автореф. дисс. ... канд. биол. наук. Йошкар-Ола, 1998. 20 с.
6. *Гуцин И.И.* Особенности возникновения и распространения сердцевинной гнили в стволах осины // Лесн. журн. 1969. № 6. С. 163–165. (Изв. высш. учеб. заведений).
7. *Данилин Е.А.* Осина и ее разведение. М.: Новая деревня, 1992. 35 с.
8. *Данилов М.Д.* Повышение продуктивности мелколиственных молодняков южной тайги лесокультурными методами: автореф. дисс. ... канд. с.-х. наук. Л., 1976. 18 с.
9. *Деева Н.М.* Запасы фитомассы лесных сообществ северо-западной части плато Путорана // Ботан. журн. 1985. Т. 70, № 1. С. 54–58.
10. *Демиденко В.П.* Осинники Среднего Приобья. Новосибирск: Наука, 1978. 161 с.

11. Дылис Н.В., Носова Л.М. Фитомасса лесных фитоценозов Подмосковья. М.: Наука, 1977. 143 с.
12. Елисеев С.Г. Технические и эксплуатационные свойства древесины морфологических форм осины: автореф. дисс. ... канд. биол. наук. Красноярск, 2010. 23 с.
13. Карпачевский М.Л., Тепляков В.К., Яницкая Т.О., Ярошенко А.Ю. Основы устойчивого лесопользования. М.: Всемирный фонд дикой природы, 2009. 143 с.
14. Костылев А.С. О влиянии освещенности на рост и поражаемость осины ложным осиновым трутовиком // Лесн. журн. 1972. № 4. С. 14–20. (Изв. высш. учеб. заведений).
15. Кочановский С.Б., Михалевич П.К. Дереворазрушающие грибы на осине // Беловежская пуща: исследования. Минск: Урожай, 1972. Вып. 6. С. 36–43.
16. Михайлов Л.Е. Осина. М.: Агропромиздат, 1985. 72 с.
17. Поляков А.В. Осинники Украинского Полесья, их рост, строение и сортиментная структура: автореф. дисс. ... канд. с.-х. наук. К., 1967. 26 с.
18. Смилга Я.Я. Осина. Рига: Зинатне, 1986. 238 с.
19. Стороженко В.Г., Багаев С.Н. Ведение хозяйства в осинниках. М.: Агропромиздат, 1987. 144 с.
20. Усольцев В.А. Фитомасса крон спелых березово-осиновых насаждений в северном Казахстане // Лесоведение. 1974. № 2. С. 86–88.
21. Федоров Н.И. Лесная фитопатология. Минск: Изд-во БГТУ, 2004. 462 с.
22. Шевченко С.В., Цирюлик А.В. Лесная фитопатология. К.: Вища шк., 1986. 384 с.
23. Чернявский В.С. Концепция лесотаксационного районирования осиновых древостоев // Лесн. хоз-во. 1999. № 4. С. 82–83.
24. Чураков Б.П., Корнилина В.В., Замалдинов И.Т. Влияние сердцевинной гнили на выход деловой древесины в осиновых древостоях // Лесоведение. 2011. № 2. С. 19–24.
25. Чураков Б.П., Замалдинов И.Т., Митрофанова Н.А., Пузырев Д.В. Продуктивность внутривидовых форм осины в связи с поражением их сердцевинной гнилью // Ульянов. мед.-биол. журн. 2013. № 2. С. 97–107.
26. Яблоков А.С. Воспитание и разведение здоровой осины. М.: Гослесбумиздат, 1963. 486 с.
27. Debyle N., Robert P., Winokur E. Aspen: Ecology and management in the western United States // USD Forest Service General Technical. 1985. P. 14–15.
28. Crow T.R. Biomass and production in three contiguous forests in northern Wisconsin // Ecology. 1978. Vol. 59, N 2. P. 265–273.
29. Hocker H.W. Effect of thinning on biomass growth in young *Populus tremuloides* plots // Canadian Journal of Forest Research. 1982. Vol. 12, N 4. P. 731–737.
30. Jarvis J.M. Silviculture and management of natty and ure poplar stands // Growth and utilization of nature in Canada. Ottawa: Canadian Department of Forest Rural development, 1968. P. 70–87.
31. Pollard D.F.W. Above-ground dry matter production in tree stands of trembling aspen // Canadian Journal of Forest Research. 1972. Vol. 2, N 1. P. 27–33.

Поступила 18.06.14

UDC 630*443.3

The Influence of the Decay Core on Efficiency of Aspen Forest Stands of Different Forms

B.P. Churakov, *Doctor of Biology, Professor*

I.T. Zamaldinov, *Postgraduate Student*

R.A. Churakov, *Student*

Ulyanovsk State University, L.Tolstogo, 42, Ulyanovsk, 432017, Russia; e-mail: churakovbp@yandex.ru

Despite rich and various research materials in biology and ecology of aspen by the questions of its biological efficiency in connection with its biomorphological variety and defeat by the decay core is less attended by researches. The purpose of this work is studying of aspen forest stands efficiency in different age and different forms in connection with defeat by a false aspen tinder fungus of *Phellinus tremulae* (Bondartsev) of Bondartsev and P.N.Borisov. Research problems are: to study the linear extent of rough bark of different aspen forms; to reveal the connection between the extent of rough bark and decay core and an output of business wood; to define a wood stock, the general phytomass and the deposited carbon of different aspen forms in connection with defeat by decay core. In the studied forest stands the average linear extent of rough jointed bark at healthy and struck with a decay core trees of a “grey bark” aspen exceeds a similar indicator at “grey-green” and at “green bark” forms. Average linear extent of rough bark gradually increases in process of age increase of forest stands. The predicted and actual output of business wood tends to increase in process of movement from “grey bark” to a “green bark” form. The exit of business wood remains approximately identical and doesn’t depend on increase in extend of round bark of all an aspen. Such regularity is observed in all age classes. The greatest predicted and actual output of business wood is noted at a “green bark” form of an aspen – on the average on three age classes of 42,1% and 19,4% respectively. Essential influence by a decay core on the general phytomass and stock of the deposited carbon in the surveyed aspen forest stands of different forms wasn’t revealed. Conclusions: linear extent of rough, large and jointed bark at not struck with a decay core of trees of all studied aspen forms is more, than at the struck; the greatest extent of rough bark is noted at a grey bark form (3,5 m), the smallest – at a green bark form (2,6 m), such regularity is noted both for healthy, and for the trees of all aspen forms, struck with decay; in process of age increase of forest stands the extent of rough bark increases at all aspen forms; with increase an extent of rough bark the increase in linear extent by a decay core at all aspen forms is noted; defeat of aspen forest stands by decay core leads to noticeable decrease (by more than 2 times) of an output of business wood that is characteristic for all aspen forms, the smallest decrease in an output of business wood is noted at a “green bark” form of an aspen; defeat of aspen forest stands by decay core leads to insignificant decrease of the general phytomass and the deposited carbon.

Keywords: extent of rough bark, decay core, aspen forms, age of forest stands, stock and phytomass of the forest stand, the deposited carbon.

REFERENCES

1. Alekseev V.A. Izuchenie svyazi porazhennosti osinnikov trutovikom s sodержaniem elementov mineral'nogo pitaniya v pochve [The Connection Study of Attacked Aspen Forest by Sponk with Mineral Nutrition Elements in Soil]. *Lesnoy zhurnal*, 1976, no. 5, pp. 21–25.
2. Alekseev V.A., Berdsi R.A. *Uglerod v ekosistemakh lesov i bolot* [Carbon in Ecosystems of the Woods and Bogs]. Krasnoyarsk, 1994. 170 p.
3. Volkovich V.B. O sootnoshenii muzhskikh i zhenskikh klonov derev'ev osiny v lesakh Leningradskoy oblasti [About Proportion of Staminate and Pistillate Aspen Clones in Forests of Leningrad Region]. *Lesnoy zhurnal*, 1966, no. 2, pp. 25–28.
4. Gabeev V.N. *Biologicheskaya produktivnost' lesov Priob'ya* [Biological Efficiency of the Woods in the Priobie]. Novosibirsk, 1976. 172 p.
5. Gavritskova N.N. *Bolezni osiny v Volzhsko-Kamskom regione i ikh khozyaystvennaya otsenka*: avtoref. diss. ... kand. biol. nauk. [Aspen Diseases in the Volga Kamsk Region and Their Economic Assessment: Cand.Biol.Sci.Diss.Abs.]. Ioshkar Ola, 1998. 20 p.
6. Gushchin I.I. Osobennosti vozniknoveniya i raprostraneniya serdtsevinnoy gnili v stvolakh osiny [Feature of Decay Core Origin and Spread in Aspen Trunk]. *Lesnoy zhurnal*, 1969, no. 6, pp. 163–165.
7. Danilin E.A. *Osina i ee razvedenie* [Aspen and Her Cultivation]. Moscow, 1992. 35 p.
8. Danilov M.D. *Povyshenie produktivnosti melkolistvennykh molodnyakov yuzhnoy taygi lesokul'turnymi metodami*: avtoref. diss. ... kand. s.-kh. nauk [Increase of Efficiency of Small-Leaved Young Growths of the Southern Taiga by Silvicultural Methods: Cand.Agric.Sci.Diss.Abs.]. Leningrad, 1976. 18 p.
9. Deeva N.M. Zapasy fitomassy lesnykh soobshchestv severo-zapadnoy chasti plato Putorana [Stocks of Phytomass of Forest Communities of Northwest Part of Putorana Plateau]. *Botanicheskiy zhurnal*, 1985, vol. 70, no. 1, pp. 54–58.
10. Demidenko V.P. *Osinniki Srednego Priob'ya* [Aspen Forests of Middle Priobie]. Novosibirsk, 1978. 161 p.
11. Dylis N.V., Nosova L.M. *Fitomassa lesnykh fitotsenozov Podmoskov'ya* [Phytomass of Forest Plant Association in the Moscow Region]. Moscow, 1977. 143 p.
12. Eliseev S.G. *Tekhnicheskie i ekspluatatsionnye svoystva drevesiny morfologicheskikh form osiny*: avtoref. diss. ... kand. biol. nauk [Technical and Operational Properties of Wood of Morphological Aspen Forms: Cand.Biol.Sci.Diss.Abs.]. Krasnoyarsk, 2010. 23 p.
13. Karpachevskiy M.L., Teplyakov V.K., Yanitskaya T.O., Yaroshenko A.Yu. *Osnovy ustoychivogo lesoupravleniya* [Basis of Steady Forest Management]. Moscow, 2009. 143 p.
14. Kostylev A.S. O vliyani osveshchennosti na rost i porazhaemost' osiny lozhnym osinovy trutovikom [Illumination Influence on Aspen Growth and Attack by False Sponk]. *Lesnoy zhurnal*, 1972, no. 4, pp. 14–20.
15. Kochanovskiy S.B., Mikhalevich P.K. Derevorazrushayushchie griby na osine [Mushrooms on an Aspen Destroyed the Tree]. *Belovezhskaya pushcha: issledovaniya*, Minsk, 1972, vol. 6, pp. 36–43.
16. Mikhaylov L.E. *Osina* [Aspen]. Moscow, 1985. 72 p.
17. Polyakov A.V. *Osinniki Ukrainskogo Poles'ya, ikh rost, stroenie i sortimentnaya struktura*: avtoref. diss. ... kand. ... s.-kh. nauk [Aspen Forests of Ukrainian Polesye, Their Growth, Structure and Assortment Structure Cand.Agric.Sci. Diss.Abs.]. Kiev, 1967. 26 p.
18. Smilga Ya.Ya. *Osina* [Aspen]. Riga, 1986. 238 p.

19. Storozhenko V.G., Bagayev S.N. *Vedenie khozyaystva v osinnikakh* [Housekeeping in Aspen Forests]. Moscow, 1987. 144 p.
20. Usol'tsev V.A. Fitomassa kron spelykh berezovo-osinovykh nasazhdeniy v severnom Kazakhstane [Phytomass of Ripe Birch and Aspen Plantings Tops in Northern Kazakhstan]. *Lesovedenie*, 1974, no. 2, pp. 86–88.
21. Fedorov N. I. *Lesnaya fitopatologiya* [Forest Phytopathology]. Minsk, 2004. 462 p.
22. Shevchenko S.V., Tsiryulik A.V. *Lesnaya fitopatologiya* [Forest Phytopathology]. Kiev, 1986. 384 p.
23. Chernyavskiy V.S. Kontsepsiya lesotaksatsionnogo rayonirovaniya osinovykh drevostoev [The Conception of Forest Mensuration Zoning into Districts of Aspen Forest Stands]. *Lesnoe khozyaystvo*, 1999, no. 4, pp. 82–83.
24. Churakov B.P., Kornilina V.V., Zamaldinov I.T. Vliyanie serdtsevinnoy gnili na vykhod delovoy drevesiny v osinovykh drevostoyakh [Influence of a Decay Core on an Exit of Business Wood in Aspen Forest Stands]. *Lesovedenie*, 2011, no. 2, pp. 19–24.
25. Churakov B.P., Zamaldinov I.T., Mitrofanova N.A., Puzyrev D.V. Produktivnost' vnutrividovykh form osiny v svyazi s porazheniem ikh serdtsevinnoy gnilyu [Productivity of Intraspecific Aspen Forms in Connection with Defeat by Their Decay Core]. *Ul'yanovskiy mediko-biologicheskii zhurnal*, 2013, no. 2, pp. 97–107.
26. Yablokov A.S. *Vospitanie i razvedenie zdorovoy osiny* [Education and Cultivation of a Healthy Aspen]. Moscow, 1963. 486 p.
27. Debyle N., Robert P., Winokur E. *Aspen: Ecology and management in the western United States*. 1985, pp. 14–15.
28. Crow T.R. Biomass and production in three contiguous forests in northern Wisconsin. *Ecology*, 1978, vol. 59, no. 2, pp. 265–273.
29. Hocker H.W. Effect of thinning on biomass growth in young *Populus tremuloides* plots. *Canadian Journal of Forest Research*, 1982, vol. 12, no. 4, pp. 731–737.
30. Jarvis J.M. Silviculture and management of natty and ure poplar stands. *Growth and utilization of nature in Canada*. Ottawa, 1968, pp. 70–87.
31. Pollard D.F.W. Above-ground dry matter production in tree stands of trembling aspen. *Canadian Journal of Forest Research*, 1972, vol. 2, no. 1, pp. 27–33.

Received on June 18, 2014

УДК 674.032.477.62

**МОРФОЛОГИЧЕСКАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА И ДИНАМИКА
РАДИАЛЬНОГО РОСТА МОЖЖЕВЕЛЬНИКА СИБИРСКОГО
(*JUNIPERUS SIBIRICA* BURGSD.) НА САХАЛИНЕ И КАМЧАТКЕ***

© *М.В. Сурсо*¹, *д-р с.-х. наук, гл. науч. сотр.*

*О.С. Барзут*², *канд. с.-х. наук, доц.*

*А.И. Зайцев*¹, *асп.*

*Е.А. Пинаевская*¹, *асп.*

¹Институт экологических проблем Севера Уральского отделения РАН, наб. Северной Двины, д. 23, г. Архангельск, Россия, 163000; e-mail:surso@iepn.ru

²Северный (Арктический) федеральный университет имени М.В. Ломоносова, наб. Северной Двины, д. 17, г. Архангельск, Россия, 163002; e-mail: steblik@atknet.ru

Виды рода *Juniperus*, как и многие другие виды сем. *Cupressaceae*, являются одними из наиболее долго живущих среди видов *Regnum Vegetabile*. Поэтому многие из них часто служат объектами для дендрохронологических и дендроклиматических исследований. В статье приводятся результаты морфолого-анатомических и дендрохронологических исследований можжевельника сибирского (*Juniperus sibirica* Burgsd.), произрастающего в центральной части о-ва Сахалин и на п-ве Камчатка. Морфологически сибирский можжевельник весьма схож с обыкновенным можжевельником (*J. communis* L.), низкорослые и стланиковые формы которого часто воспринимают как *J. sibirica*. Растения можжевельника сибирского, произрастающего на Сахалине и Камчатке, представляют небольшие кустарники стланиковой формы с длинными плагиотропными скелетными ветвями длиной 2,5...3,5 м, приподнимающимися над поверхностью почвы на 40...150 см. Морфолого-анатомическое изучение показало сходство структур вегетативных и репродуктивных органов можжевельника сибирского, произрастающего на Сахалине и Камчатке, и обыкновенного можжевельника, обитающего в Европе, за исключением габитуальных различий и небольших отличий в окраске побегов. У обоих видов все основные ткани хвои (эпидермис, гиподерма, проводящий пучок, смоляной канал, трансфузионная ткань) имеют одинаковое строение и характер локализации на поперечных срезах. Размеры пыльцевых зерен, скульптура сэжины, форма, размеры и характер размещения орбикул на поверхности пыльцевых зерен также не имеют видимых различий. Абсолютные значения радиального прироста отдельных особей камчатских можжевельников варьируют от 0,03 до 0,68 мм при среднем значении 0,24 мм. Среднее значение абсолютного радиального прироста можжевельников с Сахалина составляет 0,40 мм, у отдельных особей он колеблется от 0,11 до 0,91 мм. Коэффициенты вариации радиальных приростов можжевельника сибирского Сахалина и Камчатки в большинстве случаев не превышают 50 %, что соответствует высокому и повышенному уровню изменчивости. В динамике радиальных приростов можжевельника сибирского, произрастающего на Сахалине

* Работа выполнена в рамках проекта № 0410–2014–0025 «Структура и динамика компонентов лесных сообществ Европейского Севера России» и при поддержке РФФИ (проекты № 12-04-00594-а и 10-04-00897-а).

и Камчатке, выявлено несколько типов возрастных кривых радиального прироста. Часть растений можжевельника, произрастающего на Камчатке, отличается равномерным ростом по диаметру и высокой амплитудой значений радиальных приростов в течение всего жизненного цикла. Другие растения имеют низкие значения радиального прироста в начале жизни, которые затем значительно возрастают. К этой же группе относятся и все можжевельники, произрастающие на Сахалине. Третья группа растений характеризуется более высокими значениями радиального прироста в молодом возрасте, т. е. отражает кривую «большого роста». Среднее значение периодичности циклов по минимумам прироста (Камчатка – 10,2 года, Сахалин – 8,8 лет) выше средних значений периодичности циклов по максимумам прироста (Камчатка – 8,7 лет, Сахалин – 7,5 лет). По максимумам и минимумам прироста у можжевельника сибирского, произрастающего на Сахалине и Камчатке, наиболее часто проявляются короткие циклы с периодами 2, 3 и 4 года. Большой длительностью периодов отличаются циклы между минимумами (Камчатка – 40...51 год, Сахалин – 26, 28 лет), чем между максимумами (Камчатка – 29...38 лет, Сахалин – 17, 20, 24 года).

Ключевые слова: можжевельник сибирский, Сахалин, Камчатка, вегетативные и генеративные органы, радиальный прирост.

Введение

На территории российского Дальнего Востока произрастают не менее 5 видов рода Можжевельник (*Juniperus* L.): м. прибрежный (*J. conferta* Parl.), м. даурский (*J. dahurica* Pall.), м. твердый (*J. rigida* Sieb. et Zucc.), м. Саржента (*J. chinensis* var. *sargentii* Henry) и м. сибирский (*J. sibirica* Burgsd). Можжевельники даурский и твердый произрастают в Уссурийском и Зейско-Буреинском районах, м. прибрежный – на побережье Южного Сахалина, м. Саржента – на Южном Сахалине и на островах Курильской гряды [1]. Можжевельник сибирский, которому и посвящена данная статья, на Дальнем Востоке произрастает почти повсеместно.

Морфологически сибирский можжевельник весьма схож с обыкновенным можжевельником (*J. communis* L.) [7], низкорослые и стланиковые формы которого многие авторы часто воспринимают как *J. sibirica* [4, 8, 9]. В последнее время в отечественной литературе *J. communis* все чаще трактуется как подвид, географическая разновидность или форма обыкновенного можжевельника [3]. В англоязычной литературе последних десятилетий можжевельник сибирский в ранге самостоятельного вида не рассматривается [11]. Однако Р.П. Адамс, проведя фундаментальную ревизию видов рода *Juniperus* с использованием PCR-RAPD, все же признал весьма существенными генетические различия *J. communis* var. «*saxatilis*», произрастающего на Камчатке, в сравнении с другими низкорослыми формами обыкновенного можжевельника [10].

Материал и методика

Исходный материал (вегетативные и генеративные органы, поперечные спилы стволиков можжевельника) был собран в центральной части о-ва Сахалин (Тымовский р-н) и на Камчатке (природный парк «Налычево»). Попереч-

ные срезы хвои толщиной 12...20 мкм для временных препаратов изготовлены на микротоме HM 650V Microm с вибрирующими лезвиями. Срезы окрашивали метиловым зеленым – пиронином G. Препараты просматривали и фотографировали с помощью лабораторного светового микроскопа AxioScope A1 (Zeiss) в комплекте с цифровой камерой Canon G10 и лицензионным программным обеспечением AxioVision (Zeiss). Электронно-микроскопические исследования выполнены на электронном сканирующем микроскопе Sigma-Zeiss. Дендрохронологический анализ проводили по дискам, взятым вблизи корневой шейки растений. Ширину годичных слоев измеряли окулярной шкалой бинокля МБС-10 с точностью $\pm 0,05$ мм. После построения графиков годичных приростов отдельных растений осуществляли синхронизацию кривых их годичных приростов в пределах изучаемой территории. Степень схождения в колебаниях годичных приростов устанавливали как визуально, так и методом расчета коэффициента схождения [2]. Стандартизацию, или исключение возрастного тренда из дендрохронологического ряда, проводили методом 5-летнего скользящего сглаживания. Для каждой индивидуальной хронологии рассчитывали относительные индексы прироста. Цикличность радиального прироста устанавливали по календарным датам наступления экстремальных приростов и значений норм годичного прироста, рассчитанных по 5-летним скользящим кривым с шагом 1 год.

Результаты и обсуждение

Природный парк «Налычево» расположен в юго-восточной части п-ва Камчатка и входит в состав Краевого государственного учреждения «Природный парк «Вулканы Камчатки». Преобладающим типом лесной растительности является редкостойное березово-каменное криволесье паркового типа с подлеском из кедрового стланика. Можжевельник присутствует почти повсеместно. В каменных березняках и тундрах он часто образует довольно плотные заросли, на альпийских лугах встречается одиночно или небольшими куртинами. Образцы вегетативных и генеративных органов и поперечные спилы стволиков можжевельника были собраны в районе р. Таловая.

Можжевельники природного парка «Налычево» представляют небольшие кустарники стланиковой формы с длинными тонкими стелющимися скелетными ветвями (плетями) до 3,0...3,5 м, концы которых приподнимаются над поверхностью почвы на 0,4...0,7 см, иногда до 1,3 м. Однолетние побеги золотисто-желтоватого цвета, двулетние – светло-коричневые, побеги старших возрастов – коричневато-бурые. Молодые побеги гладкие, побеги старших возрастов со слегка шелушащейся коркой, отслаивающейся тонкими полосками разной длины. Хвоя, по 3 шт. в мутовках, полуприжатая или отходящая под углом не более 45° , мелкая (3...8 мм), темно-зеленая, слабо серповидно или дуговидно изогнутая, длинно шлемовидно заостренная, снизу с выраженным килем во всю длину, сверху с широкой (до 1/2 ширины) белесоватой полоской посередине. Микростробилы в пазухах хвои второго года жизни, одиночные, желто-песочного цвета, 3,0...3,5 мм длиной и 1,5...2,0 мм в диаметре. «Шишковаягоды»

довольно крупные, 5...7 мм в диаметре, почти шаровидной или слегка сплюснутой формы (коэффициент формы – отношение длины шишкочагоды к ее максимальному диаметру $l/d = 0,94$), на коротких (не более 0,5 мм) плодоножках, со слабо выраженными 3-лучевыми рубчиками от сросшихся краев семенных чешуй в верхней трети шишкочагоды, со слабо выраженными или невыраженными стигматами. В шишкочагоде закладывается в норме по 3 мегаспорофилла, каждый из которых несет по одному семязачатку. Ко времени созревания в каждой шишкочагоде в среднем остается по 2,4 семени. Семена светлой окраски, тетраэдрической формы, более или менее округлые. Средняя масса 1000 семян составляет 8,775 г, процент выполненных семян – в среднем 70,0.

В центральной части Сахалина можжевельник сибирский произрастает преимущественно по опушкам, пустошам, под пологом разреженных древостоев, в «тундрах», вдоль дорожных обочин и по краям выработанных карьеров. Образцы вегетативных и генеративных органов и поперечные спилы стволиков можжевельника были собраны в лиственничнике багульниково-папоротниковом (участок «Гымовское»).

Здесь можжевельники представляют собой небольшие кустарники стланниковой формы с длинными плагиотропными скелетными ветвями длиной 2,5...3,0 м, приподнимающимися над поверхностью почвы на 40...150 см. Одно- – двулетние побеги буровато-желтоватые, побеги старших возрастов коричнево-бурые, гладкие, позднее со слегка шелушащейся корой. Хвоя 9...16 мм длиной, интенсивного зеленого цвета, по 3 шт. в мутовках, отстоящая под углом 45...90°, серповидно или дуговидно изогнутая, длинно шлемовидно заостренная, на нижней стороне с узким килем во всю длину, на верхней стороне с одной продольной белесоватой полоской в 1/3 ширины хвои. Зрелые микростробилы в пазухах хвои второго года жизни, соломенно-желтого цвета, 1,5...2,0 × 0,8...1,0 мм, овальной формы, на коротких ножках. Шишкочагоды шаровидные или слегка продолговатые ($l/d = 1,14$), на коротких (1,0...1,5 мм) плодоножках, с тремя сросшимися в верхней трети семенными чешуями со слегка отогнутыми кончиками. На одну шишкочагоду ко времени созревания приходится в среднем 2,0 шт. семян. Семена тетраэдрической формы, узкие, длинно вытянутые, коричнево-бурой окраски. Средняя масса 1000 семян составляет 7,286 г, процент выполненных семян – в среднем 46,4.

Морфолого-анатомическое изучение показало сходство структур вегетативных и репродуктивных органов можжевельника сибирского, произрастающего на Сахалине и Камчатке, и обыкновенного можжевельника, обитающего в Европе (Франция), за исключением габитуальных различий и небольших отличий в окраске побегов. Так, у обоих видов все основные ткани хвои (эпидермис, гиподерма, проводящий пучок, смоляной канал, трансфузионная ткань) имеют одинаковое строение и характер локализации на поперечных срезах. Размеры пыльцевых зерен, скульптура сэкзины, форма, размеры и характер размещения орбикул на поверхности пыльцевых зерен также не имеют видимых различий (рис. 1).

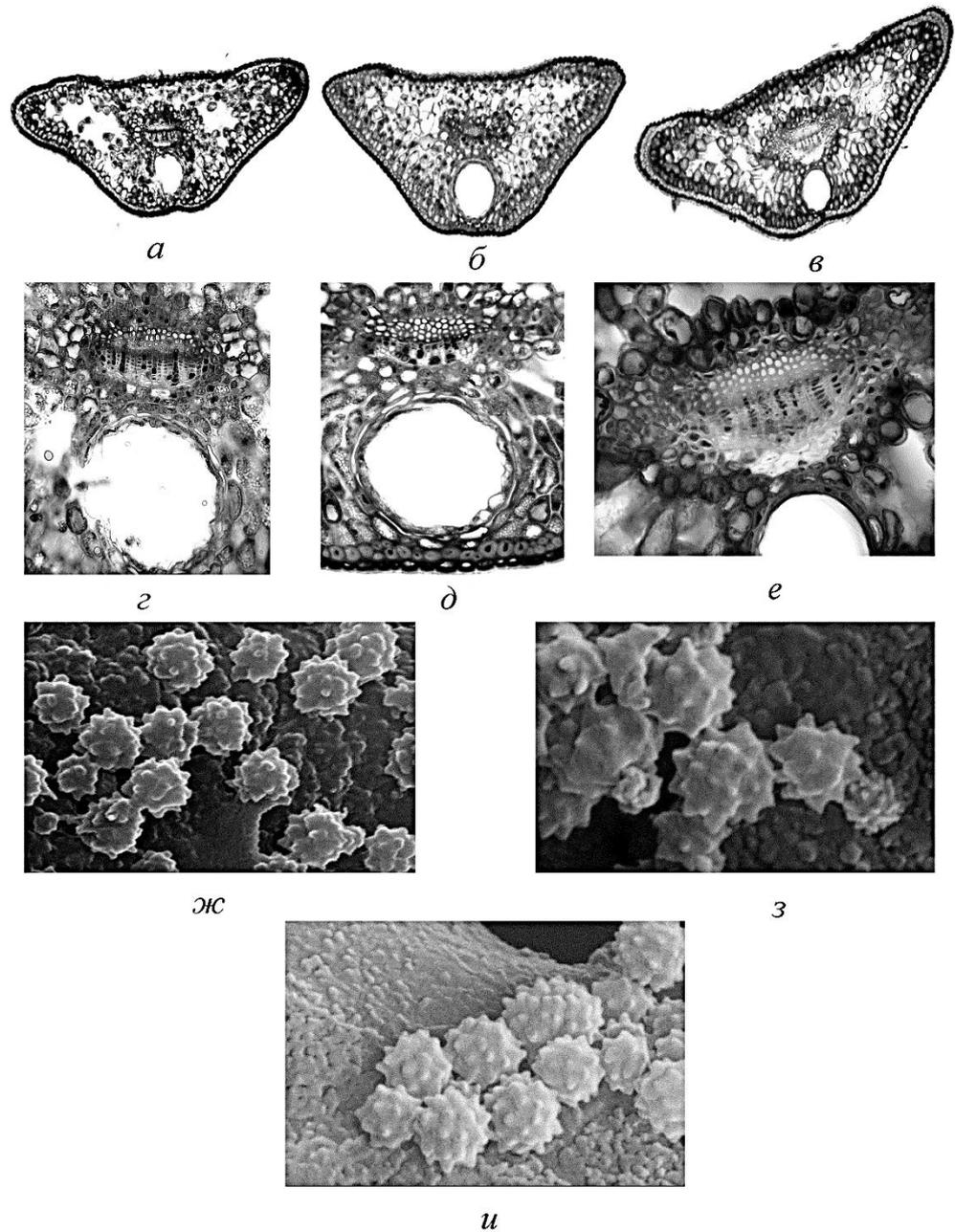


Рис. 1. Вегетативные и генеративные органы и структуры можжевельников сибирского и обыкновенного: *a-в* – поперечные срезы хвои; *г-е* – проводящий пучок и смоляной канал; *ж-и* – орбикулы на поверхности экзины пыльцевых зерен; *a, г, ж* – Камчатка, участок «Нальчево»; *б, д, з* – Архангельская область, Зимний берег Белого моря; *в, е, и* – Пиренеи (Франция)

Большинство растений, взятых для дендрохронологического анализа, следует отнести к молодым: возраст можжевельников, произрастающих на Камчатке (участок «Налычево»), составил от 31 до 71 года, на Сахалине («Тымовское») – от 23 до 38 лет. Абсолютные значения радиального прироста отдельных особей камчатских можжевельников варьируют от 0,03 до 0,68 мм, при среднем значении 0,24 мм, что значительно ниже значений, полученных нами при исследовании радиального прироста можжевельников, произрастающих в условиях Большеземельской тундры (0,44 мм), Пятигорья и Приэльбрусья (0,40 мм) [5, 6]. Среднее значение абсолютного радиального прироста можжевельников с Сахалина равно 0,40 мм, у отдельных особей абсолютные значения радиального прироста колеблются от 0,11 до 0,91 мм. Коэффициенты вариации радиальных приростов можжевельника сибирского с Сахалина и Камчатки в большинстве случаев не превышают 50 %, что соответствует высокому и повышенному уровню изменчивости.

В динамике радиальных приростов можжевельника сибирского, произрастающего на Сахалине и Камчатке, выявлено несколько типов возрастных кривых радиального прироста. Часть растений можжевельника с участка «Налычево» отличается равномерным ростом по диаметру и высокой амплитудой значений радиальных приростов в течение всего жизненного цикла. Некоторые растения с этого же участка отличаются малыми значениями радиального прироста в начале жизни, а затем – значительным его возрастанием. К этой же группе относятся и все растения с участка «Тымовское». Третья группа растений характеризуется более высокими значениями радиального прироста в молодом возрасте, т. е. отражает кривую «большого роста» (рис. 2).

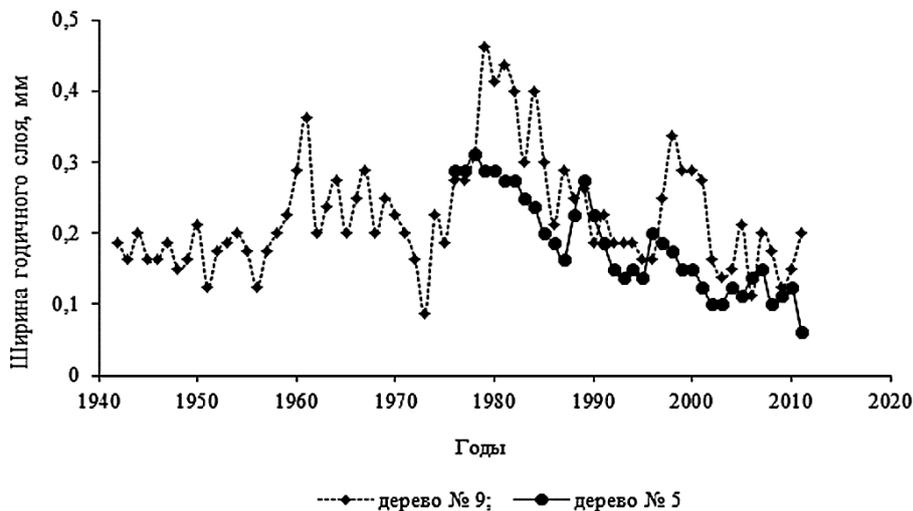


Рис. 2. Типы кривых роста можжевельника сибирского по диаметру (участок «Налычево»): дерево № 9 – радиальный прирост увеличивается с возрастом; дерево № 5 – радиальный прирост максимален в молодом возрасте – кривая «большого роста»

Сходство временных рядов радиальных приростов установлено методом синхронизации кривых абсолютного радиального годичного прироста и относительных индексов прироста между отдельными особями. В большинстве случаев коэффициенты сходства составили более 50 %, что свидетельствуют о сходстве временных рядов прироста [2]. Это позволило использовать все полученные данные для расчета среднего прироста, построения общей средней кривой радиального прироста и относительных индексов прироста. Динамика средних значений радиальных годичных приростов и средних значений относительных индексов прироста аппроксимируется полиномиальной кривой (рис. 3). Динамика средних значений относительных индексов прироста представляет собой классическую кривую «большого роста» (более высокие значения ширины годичных слоев характерны для растений в молодом возрасте), тогда как динамика средних значений абсолютных радиальных годичных приростов указывает на замедленные темпы роста растений в раннем возрасте (примерно до 15-...20-летнего возраста).

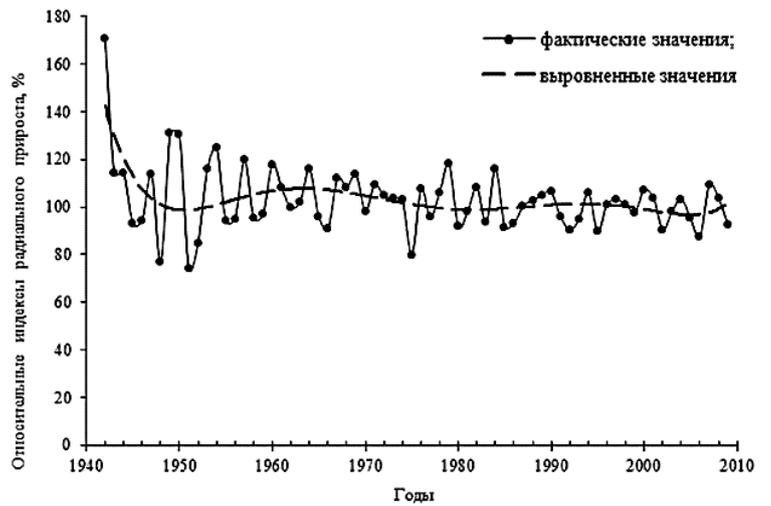
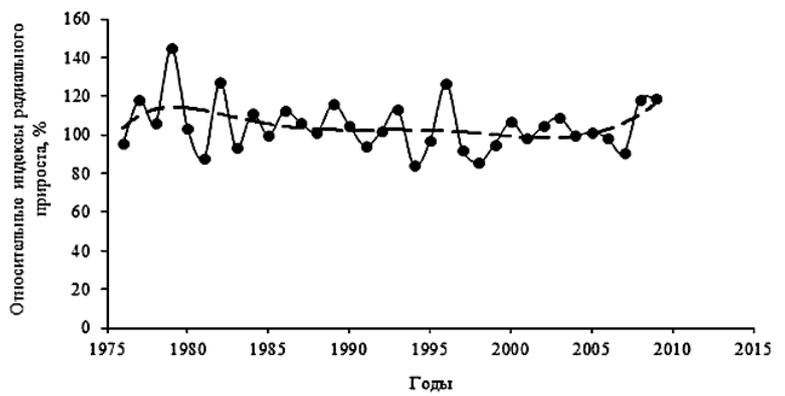


Рис. 3. Динамика средних значений относительных индексов радиального годичного прироста можжевельника сибирского с участков «Налычево» (а) и «Тымовское» (б)



На участке «Налычево» средняя продолжительность циклов между минимальными значениями радиального прироста у можжевельника составляет 10,2 года (близка к 11-летнему циклу солнечной активности). У отдельных особей она колеблется от 6,3 до 17,6 лет. Наиболее часты периоды длительностью 2, 3, и 4 года (соответственно 8,6; 10,9; 12,1 % от общего числа). Второе место по частоте встречаемости занимают циклы продолжительностью 6, 8 и 10 лет (7,5; 6,9; 5,7 %). Достаточно хорошо выражены 19- и 24-летние периоды (по 2,3 %), самые длительные периоды по проявлению минимумов прироста – 37, 40, 42, 45 и 51 год. Средний период цикла между максимальными значениями радиальных приростов равен 8,7 лет при диапазоне от 6,0 до 13,3 лет для отдельных особей. Как для максимумов, так и для минимумов прироста наиболее часты периоды 2, 3, и 4 года (соответственно 12,7; 12,0; 10,0 %), несколько реже – 6 и 7 лет (8,7 и 11,3 % соответственно). Из циклов, приближающихся к 11-летнему, чаще представлены 9-, 11- и 13-летние (6,0; 4,7; 4,7 от всего количества выявленных периодов). Циклы наибольшей продолжительности между максимальными значениями прироста – 31, 32 и 38 лет (соответствуют Брикнеровскому циклу – 31...35 лет).

На участке «Тымовское» средняя продолжительность цикла между минимальными значениями радиальных приростов составляет 8,8 лет, для отдельных особей можжевельника она колеблется в диапазоне от 7,6 до 9,9 лет. Периоды длительностью 2, 3, и 4 года (соответственно 10,5; 10,5; 17,5 %) являются наиболее частыми. Циклы продолжительностью 6, 11 и 14 лет (8,8; 7,0; 5,3) проявляются в меньшей мере. Наиболее длительные периоды проявления минимумов прироста укладываются в интервал 20...28 лет. Средний период цикла между максимальными значениями радиального прироста у можжевельника на этом участке равен 7,5 лет при диапазоне от 6,0 до 8,8 лет для отдельных особей. Для максимумов наиболее часты периоды 2, 3, и 4 года (соответственно 15,5; 11,3; 11,3 %), достаточно представлены 7- и 8-летние циклы (7,5% и 11,3% от общего числа), а также 10- и 11-летние (7,5 и 9,4 %). Циклы наибольшей продолжительности между максимальными значениями прироста характеризуются невысокой длительностью – 17, 20, 24 года (близки к магнитному циклу – 22 года).

Таким образом, среднее значение периодичности циклов по минимумам прироста («Налычево» – 10,2 года, «Тымовское» – 8,8 лет) выше средних значений периодичности циклов по максимумам прироста («Налычево» – 8,7 лет, «Тымовское» – 7,5 лет). По максимумам и по минимумам прироста на обоих участках наиболее часто проявляются короткие циклы с периодами 2, 3 и 4 года. Большей длительностью периодов отличаются циклы между минимумами («Налычево» – 40...51 год, «Тымовское» – 26, 28 лет), чем между максимумами («Налычево» – 29...38 лет, «Тымовское» – 17, 20, 24 года).

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Агеенко А.С., Васильев Н.Г., Глоба-Михайленко Д.А., Холявко В.С. Древесная флора Дальнего Востока. М.: Лесн. пром-сть, 1982. 224 с.

2. Битвинская Т.Т. Дендроклиматические исследования. Л.: Гидрометеиздат, 1974. 172 с.
3. Князева С.Г. Изменчивость и морфоструктура природных популяций можжевельника сибирского *Juniperus sibirica* Burgsd.: дисс. ... канд. биол. наук. Красноярск, 2000. 202 с.
4. Козубов Г.М., Евдокимов А.М. Можжевельник в лесах Севера // Лесн. хоз-во. 1965. № 1. С. 57.
5. Сурсо М.В., Барзут О.С. Можжевельники Пятигорья и Приэльбрусья: краткая морфологическая характеристика и особенности роста // Лесн. журн. 2012. № 2. С. 30–37. (Изв. высш. учеб. заведений).
6. Сурсо М.В., Барзут О.С. Особенности роста и развития хвойных в Большеземельской тундре. Ель в урочище Пым-Ва-Шор // Лесн. вестн. 2010. № 6(75). С. 18–21.
7. Флора европейской части России. Т.1. Плаунообразные, хвощеобразные, папоротникообразные, голосеменные, покрытосеменные / Под ред. А.А. Федорова. Л.: Наука (Ленингр. отд-е), 1974. 404 с.
8. Хантемиров Р.М., Шиятов С.Г., Горланова Л.А. Дендроклиматический потенциал можжевельника сибирского // Лесоведение. 1999. № 6. С. 33–38.
9. Шумилов О.И., Касаткина Е.А., Кирицели И.Ю., Канатьев А.Г. Использование можжевельника в дендрохронологическом анализе // Лесоведение. 2008. № 1. С. 52–59.
10. Adams R.P., Pandey R.N. Analysis of *Juniperus communis* and its varieties based on DNA fingerprinting // Biochemical Systematics and Ecology. 2003. Vol. 31, N 11. P. 1271–1278.
11. Schulz C., Knopf P., Stützel Th. Identification key to the Cypress family (*Cupressaceae*) // Feddes Repertorium. 2005. Vol. 116, N 1-2. P. 96–146.

Поступила 15.07.14

UDC 674.032.477.62

The Morphological Characteristic and Dynamics of Radial Growth of the Siberian Juniper (*Juniperus Sibirica* Burgsd.) of Sakhalin and Kamchatka

*M.V. Surso*¹, Doctor of Agriculture, Senior Researcher

*O.S. Barzut*², Candidate of Agriculture, Associate Professor

*A.I. Zaitsev*¹, Postgraduate Student

*E.A. Pinaevskaya*², Student

¹Institute of Ecological Problems of the North, Ural Branch of Russian Academy of Sciences, Naberezhnaya Severnoy Dviny, 23, Arkhangelsk, 163000, Russia; e-mail: surso@iepn.ru

²The Northern (Arctic) Federal University named after M.V. Lomonosov, Naberezhnaya Severnoy Dviny, 17, Arkhangelsk, 163002, Russia; e-mail: steblik@atknnet.ru

Species of *Juniperus*, like many other types of *Cupressaceae*, are the most long-lived among species of *Regnum Vegetabile*. So, many of them often serve as targets for dendrochronology and dendroclimatology studies. In paper the results of morphological, anatomical study and dendrochronology researches of Siberian juniper, growing in the central part of Sakhalin and on Kamchatka, are resulted. The Siberian juniper (*Juniperus sibirica* Burgsd.) in morphology is rather similar to common juniper (*J. communis* L.). Therefore, many authors the

stunted and elfin forms *J. communis* often perceive as *J. sibirica*. Plants of a Siberian juniper, growing on Sakhalin and Kamchatka, represent small bushes of elfin wood forms, with long plagiotropic skeletal branches in length of 2,5-3,5 m, rising over a soil surface on 40-150 cm. Morphological and anatomical studying has shown similarity of structures of vegetative and reproductive organs between Siberian juniper (*J. sibirica*), growing on Sakhalin and Kamchatka and common juniper (*J. communis*), living in Europe, behind an exception of distinctions in habitus and small differences in colouring of shoots. At both species all basic tissues of needles (epidermis, hypoderma, conducting bundle, gum canal, transfusional tissue) have an identical structure and character of localization on cross-section mounts. The sizes of pollen grains, a sculpture of exine, the form, the sizes and character of placing of orbicules on a surface of pollen grains also have no visible distinctions. Absolute values of a radial gain of separate individuals of the Kamchatka junipers vary from 0,03 to 0,68 mm, at average value of 0,24 mm. Average value of an absolute radial gain of junipers from Sakhalin equally 0,40 mm, at separate individuals absolute values of a radial gain fluctuate here from 0,11 to 0,91 mm. Coefficients of variation of radial gains of Siberian juniper on Sakhalin and Kamchatka in most cases do not exceed 50 % that corresponds to the high and raised level of variability. In dynamics of radial gain of Siberian juniper, growing on Sakhalin and Kamchatka, different types of age curves of a radial gain have been revealed. The part of plants of the juniper, growing on Kamchatka differs in uniform growth on diameter and high amplitude of values of radial gains during all life cycle. A number of plants differs small values of a radial gain in the life beginning, and then - considerable increase of these values. All junipers, growing on Sakhalin, concern the same group also. The third group of plants is characterized by higher values of a radial gain at young age, i.e. reflects a curve of "the big growth». Average value of periodicity of cycles on gain minimum (Kamchatka - 10,2 years, Sakhalin - 8,8 years) above average values of periodicity of cycles on gain maxima (Kamchatka - 8,7 years, Sakhalin - 7,5 years). On maximum and on minimum of a gain of Siberian juniper, growing on Sakhalin and Kamchatka, short cycles with the periods 2, are most often shown 3 and 4 years. More duration of the periods cycles between minimum (Kamchatka - 40-51 year, Sakhalin - 26, 28 years), than between maximum (Kamchatka - 29-38 years, Sakhalin - 17, 20, 24 years) differ.

Keywords: Siberian juniper, Sakhalin, Kamchatka, vegetative and generative organs, radial growth

REFERENCES

1. Ageenko A.S., Vasil'ev N.G., Globa-Mikhaylenko D.A., Kholyavko V.S. *Drevesnaya flora Dal'nego Vostoka* [Arboreal Flora of Far East]. Moscow, 1982. 224 p.
2. Bitvinkas T.T. *Dendroklimaticheskie issledovaniya* [Dendroclimatology Investigations]. Leningrad, 1974. 172 p.
3. Knyazeva S.G. *Izmenchivost' i morfostruktura prirodnykh populyatsiy mozhzhevel'nika sibirskogo: Juniperus sibirica Burgsd.*: Diss. ... kand. biol. nauk. [Variability and Morphostructure of Natural Populations of Siberian Juniper *Juniperus sibirica* Burgsd... Cand. Biol. Diss.]. Krasnoyarsk, 2000. 202 p.
4. Kozubov G.M., Evdokimov A.M. *Mozhzhevel'nik v lesakh Severa* [The Juniper in Forests of North]. *Lesnoe khozyaystvo*, 1965, no. 1. 57 p.
5. Surso M.V., Barzut O.S. *Mozhzhevel'niki Pyatigor'ya i Priel'brus'ya: kratkaya morfologicheskaya kharakteristika i osobennosti rosta* [Junipers of Pyatigorsk and Elbrus

Regions: Brief Morphological Characteristics and Features of Growth]. *Lesnoy zhurnal*, 2012, no. 2, pp. 30–37.

6. Surso M.V., Barzut O.S. Osobennosti rosta i razvitiya khvoynykh v Bol'shezemel'skoy tundre. El' v urochishche Pym-Va-Shor [Features of Growth and Development of Conifers Species in Bol'shezemel'skaya Tundra. Spruce in Pym-Va-Shor Tract]. *Lesnoy vestnik*, 2010, no. 6 (75), pp. 18–21.

7. Fedorov A.A. Plaunoobraznye, khvoshcheobraznye, paprotnikoobraznye, golosemennyye, pokrytosemennyye [Lycopodiophyta, Equisetophyta, Pteridophyta, Gymnosperm, Angiosperm]. *Flora evropeyskoy chasti Rossii* [Flora of European Part of Russia]. Lenin-grad, 1974. 404 p.

8. Khantemirov R.M., Shiyatov S.G., Gorlanova L.A. Dendroklimaticheskiy potentsial mozhzhevel'nika sibirskogo [Dendroclimatic Potential of Siberian Juniper]. *Lesovedenie*, 1999, no. 6, pp. 33–38.

9. Shumilov O.I., Kasatkina E.A., Kircideli I. Yu., Kanat'ev A.G. Ispol'zovanie mozhzhevel'nika v dendrokronologicheskom analize [Suitability of Juniper in Dendrochronology Analysis]. *Lesovedenie*, 2008, no. 1, pp. 52–59.

10. Adams R. P., Pandey R. N. Analysis of *Juniperus communis* and its Varieties Based on DNA Fingerprinting. *Biochemical Systematics and Ecology*, 2003, vol. 31, no. 11, pp. 1271–1278.

11. Schulz C., Knopf P., Stützel Th. Identification Key to the Cypress Family (Cupressaceae). *Feddes Repertorium*, 2005, vol. 116, no. 1–2, pp. 96–146.

Received on July 15, 2014

УДК 630*232

ДИНАМИКА ПРОДУКТИВНОСТИ СОСНОВЫХ ДРЕВОСТОЕВ РАЗНОГО ПРОИСХОЖДЕНИЯ

© П.А. Феклистов, д-р с.-х. наук, проф.

Д.Н. Клевцов, канд. с.-х. наук, доц.

Ф.А. Кунников, асп.

Е.П. Хабарова, асп.

И.Б. Амосова, канд. с.-х. наук, доц.

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

Изучены сосняки черничные естественного и искусственного происхождения, произрастающие в северной подзоне тайги Европейского Севера России. Приведены результаты возрастных изменений первичной продуктивности надземной части древесного яруса этих насаждений. Установлено, что с возрастом продуктивность растет в абсолютном выражении. Наибольшая доля продуктивности в исследуемом возрастном интервале (II и III классы возраста) древостоев приходится на древесную зелень (охвоенные побеги с диаметром у основания не более 8 мм), составляющую в естественных насаждениях 52...59 % от общей фитомассы, в лесных культурах – 68...76 %. Второй по доле участия в продуцировании деревьев является древесина ствола. В исследуемом возрастном интервале она увеличивается по абсолютным значениям, но при этом наблюдается ее уменьшение в относительных единицах: для естественных сосняков – от 42 до 33 %, для посевов – от 21 до 18 %. В культурах сосны по сравнению с естественными сосняками явно сильнее развит ассимиляционный аппарат (ветви, хвоя), т. е. продолжается наращивание физиологически активной части фитоценоза. В естественных насаждениях более интенсивно идет накопление древесины.

Ключевые слова: первичная продуктивность, сосняки, древостой, тайга, запас, возраст.

Бореальные леса занимают обширные территории и играют важную роль в регулировании круговорота веществ в биосфере. Одной из наиболее важных их функций является возможность аккумуляции и удержания длительное время различных элементов в фитомассе насаждений лесных экосистем [7].

Рациональное, непрерывное и неистощимое лесопользование сегодня не может обойтись без количественного и качественного учета его ресурсов. Сейчас наиболее остро стоит вопрос о более полном и эффективном применении всей фитомассы деревьев. Для этого необходимы данные о массе всех их частей (ствол, кора, сырые ветви, хвоя, сухие сучья).

Продуктивность экосистем можно описать двумя важными показателями – запасом фитомассы и чистой первичной продуктивностью [1], т. е. количество органического вещества, аккумулируемого зелеными растениями за единицу времени (год) на единице площади (гектар) [6, 10, 11]. Эти показатели насаждений изучены недостаточно как для Европейского Севера, так и других регионов России, что в первую очередь связано с большой трудоемкостью работ по их оценке [7, 12]. Фитомасса деревьев важна при определении чистой первичной продуктивности лесных экосистем [3].

Для получения данных о фитомассе и чистой первичной продуктивности были заложены пробные площади в естественных сосновых насаждениях, находящихся на территории Исакогорского участкового лесничества, и в культурах сосны, расположенных в Усть-Двинском участковом лесничестве Архангельского лесничества.

При проведении полевых работ и сборе данных использовали общепринятые методики исследований лесных культур [5] и естественных насаждений [2].

После общего изучения насаждений из разных ступеней толщины были взяты модельные деревья для определения фитомассы. Всего было измерено и взвешено 46 модельных деревьев сосны. После валки у этих деревьев измеряли диаметр на высоте 1,3 м, длину ствола, расстояние от комля до первого сухого и живого сучков, протяженность кроны. Затем каждую модель тщательно взвешивали с точностью ± 100 г по фракциям: ствол, кора, сырые ветки, древесная зелень (охвоенные побеги с диаметром у основания не более 8 мм) и сухие сучья.

Чистую первичную продуктивность находили только у надземной части древесного яруса сосняков разного происхождения. Для получения данных о продуктивности древостоев исследовались фракции фитомассы (ствол, сучья, древесная зелень, кора). Затем полученную массу ствола делили на возраст дерева (массу других фракций делили на возраст их роста) и получали накопленную массу в сыром виде за год. Потом рассчитывали массу сухого вещества с учетом содержания воды в каждой фракции. Содержание воды принимали по литературным данным [4, 8, 9].

Установлено, что наибольший вклад в продуктивность сосняков естественного происхождения вносит древесная зелень, которая составляет от 52 до 59 % от общей продуктивности на разных пробных площадях. Другой важной фракцией является древесина, на нее приходится в среднем около 38 %, на продуктивность ветвей – чуть больше 3 % (см. таблицу).

В посевах сосны процент древесной зелени выше и составляет от 68 до 76 от общей продуктивности на разных пробных площадях (в среднем 74 %). Доля древесного прироста ощутимо ниже, чем в насаждениях естественного происхождения, и составляет примерно 18 %.

Продуктивность сосняков естественного происхождения и посевов сосны

Класс возраста	Продуктивность по фракциям				Всего
	Ствол		Крона		
	Древесина	Кора	Ветви	Древесная зелень	
<i>Сосняки естественного происхождения</i>					
II	1,480	0,131	0,084	1,813	3,508
	42,2	3,7	2,4	51,7	100,0
III	1,511	0,186	0,179	2,706	4,582
	33,0	4,1	3,9	59,0	100,0
<i>Посевы сосны</i>					
II	0,539	0,121	0,170	1,772	2,593
	20,7	4,7	6,5	68,1	100,0
III	0,681	0,082	0,170	2,919	3,852
	17,7	2,1	4,4	75,8	100,0

Примечание. В числителе приведены данные в т/га за год, в знаменателе – в %.

В исследованном возрастном интервале продуктивность надземной фитомассы в целом по всем фракциям увеличивается по абсолютной величине. Наиболее показательным элементом продуктивности древостоев является древесная зелень. С возрастом доля ее участия в общей продуктивности увеличивается как в относительных, так и в абсолютных величинах.

Отсюда можно сделать вывод, что в культурах сосны больше, чем в естественных сосняках, развивается ассимиляционный аппарат (ветви, хвоя) т. е. продолжается наращивание физиологически активной части фитоценоза.

В процентном выражении продукция стволовой древесины сосняка в естественных насаждениях возрастает от 52 до 59 %, в лесных культурах – от 68 до 76 %.

По продуктивности древесина стоит на втором месте после древесной зелени. В естественных насаждениях доля участия с возрастом снижается от 42 до 33 %, увеличиваясь по абсолютной величине от 1,480 до 1,511 т/га в год. В посевах сосны наблюдается аналогичная ситуация: в относительных единицах доля участия стволовой древесины уменьшается от 21 до 18 %, по абсолютной величине увеличиваясь от 0,539 до 0,681 т/га в год.

Доля участия древесины в естественных насаждениях больше, чем в культурах сосны, почти на 20 %.

В естественных сосняках доля коры и ветвей увеличивается примерно на 1...2 %, тогда как в посевах сосны уменьшается и составляет около 2 %.

На исследуемом возрастном интервале лесных культур (см. таблицу) продуктивность увеличивается.

Выводы

1. Установлено, что с возрастом продуктивность в абсолютном выражении растет. Наибольшую продуктивность в исследуемом возрастном интервале древостоев имеет древесная зелень в естественных насаждениях (52...59 % от общей продуктивности) и в лесных культурах (68...76 %).

2. Второй компонент в продуцировании деревьев – древесина ствола. В исследуемом возрастном интервале этот показатель увеличивается в абсолютных значениях, при этом уменьшается в относительных: для естественных сосняков – 42...33 %, для посевов – 21...18 %.

3. В культурах сосны ассимиляционный аппарат (ветви, хвоя) развит сильнее, чем в естественных сосняках, т. е. продолжается наращивание физиологически активной части фитоценоза; в естественных насаждениях идет более интенсивное накопление древесины.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Бабич Н.А., Мерзленко М.Д.* Биологическая продуктивность лесных культур. Архангельск: Изд-во АГТУ, 1998. 89 с.
2. ГОСТ 16128–70. Площади пробные лесоустроительные. Метод закладки. М.: Изд-во стандартов, 1971. 23 с.
3. *Гусев И.И., Калинин В.И., Неволин О.А., Нефёдов Н.М., Шишкин Н.А.* Полевой справочник таксатора для таежных лесов Европейского Севера. Вологда: Сев.-Зап. кн. изд-во, 1971. 196 с.
4. *Комар А.Г.* Строительные материалы и изделия: учеб. для инж.-экон. спец. строит. вузов. 5-е изд., перераб. и доп. М.: Высш. шк., 1988. 527 с.
5. *Огиевский В.В., Хиров А.А.* Обследование и исследование лесных культур. Л.: ЛТА, 1967. 49с.
6. *Одум Ю.* Основы экологии. М.: Мир, 1975. 740 с.
7. *Осипов А.Ф.* Биологическая продуктивность сосняков чернично-сфагновых средней тайги // Лесн. журн. 2013. № 1. С 43–51. (Изв. высш. учеб. заведений).
8. *Усольцев В.А.* Фитомасса и первичная продуктивность лесов Евразии. Екатеринбург: УрО РАН, 2010. 570 с.
9. *Феклистов П.А., Бирюков С.Ю., Федяев А.Л.* Сравнительные эколого-биологические особенности сосны скрученной и обыкновенной в северной подзоне европейской тайги. Архангельск: 2008. 118 с.
10. *Феклистов П.А., Евдокимов В.Н., Барзут В.М.* Биологические и экологические особенности роста сосны в северной подзоне европейской тайги (монография). Архангельск: АГТУ, 1997. 140 с.
11. *Чернова Н.И., Былова А.М.* Общая экология. М.: Дрофа, 2004. 416 с.
12. *Чупров Н.П.* Лесотаксационный справочник для северо-востока европейской части СССР. Архангельск: АИЛиЛХ. 1986. 258 с.

Поступила 09.01.14

UDC 630*232

Productivity Dynamics of Different Origin Pine

P.A. Feklistov, Doctor of Agriculture, Professor

D.N. Klevtsov, Candidate of Agriculture, Associate Professor

F.A. Kunnikov, Postgraduate Student

E.P. Habarova, Postgraduate Student

I.B. Amosova, Candidate of Agriculture, Associate Professor

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

The natural and artificial origin blueberry pine forest, growing in the northern subzone taiga of the European North of Russia were studied. The results of age-related changes in primary productivity in aboveground parts of the tree layer of these plantations are obtained. It was found that productivity increases with age in absolute terms. The greatest share of productivity in the studied age range (II and III age classes) of stands has a tree green (acerous shoots with a diameter at the base of no more than 8 mm) and ranges from 52 to 59% of the total capability of natural forest and forest cultures - 68 - 76%. The second largest share of participation in the production of trees is trunk wood. In the studied age-related range it increases in absolute values and thus decreases in relative units: for natural pine forests from 42% to 33%, for sowing of pine - 21% to 18%. In pine cultures is stronger developed assimilatory device (branches, needles) than in natural pine forests, i.e. it is continued to expand physiologically active part phytocenosis. In natural stands is more intense the accumulation of wood.

Keywords: primary productivity, pine forest, forest stand, taiga, volume, age.

REFERENCES

1. Babich N.A., Merzlenko M.D. *Biologicheskaya produktivnost' lesnykh kul'tur* [Biological Productivity of Forest Crops]. Arkhangelsk, 1998. 89 p.
2. *GOST 16128-70. Ploshchadi probnye lesoustroitel'nye. Metod zakladki* [State Standard 16128-70. Square Test Forest Management. Foundation Method]. Moscow, 1971. 23 p.
3. Gusev I.I., Kalinin V.I., Nevolin O.A., Nefedov N.M., Shishkin N.A. *Polevoy spravochnik taksatora dlya taezhnykh lesov Evropeyskogo Severa* [Field Guide of Estimator for Taiga Forests of European North]. Vologda, 1971. 196 p.
4. Komar A.G. *Stroitel'nye materialy i izdeliya* [Building Materials and Products]. Moscow, 1988. 527 p.
5. Ogievskiy V.V., Khиров A.A. *Obsledovanie i issledovanie lesnykh kul'tur* [Survey and Study of Forest Crops]. Litva, 1967. 49 p.
6. Odum Yu. *Osnovy ekologii* [Fundamentals of Ecology]. Moscow, 1975. 740 p.
7. Osipov A.F. *Biologicheskaya produktivnost' sosnyakov chernichno-sfagnovykh sredney taygi* [Biological Productivity of Whortleberry-Sphagnum Pine Forests in Medium Boreal Taiga]. *Lesnoy zhurnal*, 2013, no. 1, pp. 43–51.

8. Usol'tsev V.A. *Fitomassa i pervichnaya produktivnost' lesov Evrazii* [Phytomass and Primary Productivity of Forests of Eurasia]. Ekaterinburg, 2010. 570 p.

9. Feklistov P.A., Biryukov S.Yu., Fedyaev A.L. *Sravnitel'nye ekologo-biologicheskie osobennosti sosny skruchennoy i obyknovennoy v severnoy podzone evropeyskoy taygi* [Comparative Ecological and Biological Characteristics of the Twisted Pine and Scotch Pine in Northern European Taiga]. Arkhangelsk, 2008. 118 p.

10. Feklistov P.A., Evdokimov V.N., Barzut V.M. *Biologicheskie i ekologicheskie osobennosti rosta sosny v severnoy podzone Evropeyskoy taygi* [Biological and Ecological Characteristics of Pine Growth in the Northern Taiga Subzone of the Europe]. Arkhangelsk, 1997. 140 p.

11. Chernova N.I., Bylova A.M. *Obshchaya ekologiya* [General Ecology]. Moscow, 2004. 416 p.

12. Chuprov N.P. *Lesotaksatsionnyy spravochnik dlya severo-vostoka evropeyskoy chasti SSSR* [Forest Guide to the North-East of the European Part of the USSR]. Arkhangelsk, 1986. 258 p.

Received on January 9, 2014

УДК 674.032.475.4

О МЕТОДАХ ИНТЕРПРЕТАЦИИ РЕЗУЛЬТАТОВ АКУСТИЧЕСКОЙ ТОМОГРАФИИ ДРЕВЕСИНЫ СОСНЫ

© *О.Н. Тюкавина, канд. с.-х. наук, доц.*

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

Акустическая томография основана на измерениях времени прохождения звуковых импульсов. Скорость прохождения звуковых импульсов позволяет получить информацию о состоянии древесины. Акустическая томография может успешно применяться для оценки не только состояния дерева, но и качества древесины. Звуковая волна распространяется быстрее в древесине с большей плотностью. Основная задача, которая стала перед нами, – разработать методику интерпретации результатов установки Арботом для оценки качества древесины. В качестве объекта исследования выбрана сосна в связи с тем, что она меньше, чем другие породы, подвержена грибным заболеваниям и является ценной хозяйственной породой. Акустическую томографию ствола проводили с помощью установки Арботом на высоте 1,3 м и у шейки корня. Использовали от 6 до 12 сенсоров в зависимости от диаметра дерева. Качество здоровой древесины оценивали по среднему значению скорости прохождения звука между сенсорами. Для того, чтобы уменьшить влияние внешних повреждений ствола (механические повреждения, морозобойные трещины) на средние значения прохождения звукового импульса в древесине, исключали данные от смежных сенсоров. При обработке полученных результатов анализировали применение различных опций, предложенных программным обеспечением. Чтобы избежать завышения скорости звука, в 2-D изображении деактивировали опцию «Use better mean value». Программа в 2-D изображении и в шкале распределения скорости по цвету использует более высокие значения по встречным направлениям между двумя сенсорами, при этом низкие значения отбрасывает. Установлено, что для получения более четкой картины изменения структуры древесины в поперечном сечении следует активировать автоматическую градуировку цвета в программе обработки данных. Тогда шкала будет не фиксированной («плавающей»), показывающей минимальное и максимальное значения, встреченные в поперечном сечении дерева. В нашем случае, красный цвет указывает на изменение структуры древесины, однако это не означает наличие гнили. Следовательно, при интерпретации результатов акустической томографии, полученных с помощью установки Арботом, необходимо учитывать активацию различных опций программного обеспечения и подбирать определенные опции для конкретных целей. Методы интерпретации результатов акустической томографии необходимо указывать в материалах исследований для исключения разночтений при анализе результатов, полученных разными исследователями.

Ключевые слова: акустическая томография, качество древесины, сосна, скорость прохождения звуковых импульсов.

В настоящее время для оценки внутреннего состояния ствола деревьев применяются различные методы и устройства. По степени повреждения ство-

ла дерева приборы подразделяются на сильно повреждающие (приростной бурав, Резистограф), умеренно повреждающие (Шигометр), слабо повреждающие (Арботом, Пикус – акустическая томография) и не внедряющиеся в ствол дерева (компьютерная томография, термография, рентгеновская денситометрия) [2–6, 8, 10, 12, 13].

Акустическая томография оказалась одной из эффективных и успешно применяемых технологий для выявления внутренних дефектов древесины [7, 9, 11, 14, 15].

Однако акустическую томографию можно успешно применять для оценки не только состояния дерева, но и качества древесины. Звуковая волна распространяется быстрее в древесине с большей плотностью [14].

Поэтому основная задача, стоявшая перед нами, – разработка методики интерпретации результатов, полученных с помощью Арботома, для оценки качества древесины.

Исследования проводили в зеленой зоне г. Архангельска: в сосняках черничных 1- и 3-й стадий рекреационной дигрессии, в сосняке на верховом болоте и кустарничково-сфагновом осушенном; в рядовых посадках сосны на наб. Северной Двины. В качестве объекта исследования выбрана сосна в связи с тем, что она меньше, чем другие породы, подвержена грибным заболеваниям и является ценной хозяйственной породой.

Акустическую томографию проводили на уровне шейки корня и на высоте 1,3 м у 15 модельных деревьев на каждой пробной площади.

На пяти пробных площадях максимальная скорость прохождения звукового импульса в древесине сосны составляет 3970 м/с. Данная скорость для сосны на болоте зафиксирована на уровне шейки корня между одной парой сенсоров, т. е. для древесины сосны это значение можно считать предельным.

В 93 % случаев окраска изображения поперечного сечения дерева равномерная, что свидетельствует о здоровой древесине и ее равномерной структуре. Это является показателем качества древесины. У 50 % деревьев скорость прохождения звука в стволе составляет около 200 м/с. Безусловно, такая скорость звука должна указывать или на наличие гнили, или сучка, или внутренних полостей. Однако окраска на 2-D изображении равномерная. Это связано с тем, что при обратном прохождении звука по тому же пути скорость звука высокая. Чаще всего минимальные значения скорости звука в древесине отмечаются между соседними сенсорами. Захватываемая область составляет наружные 2 см заболони. Здесь же могут отмечаться и максимальные значения скорости прохождения звука в древесине. Это связано с тем, что в периферийной зоне древесины встречаются сучки, могут быть механические повреждения. Помимо этого, если отмечаются внешние повреждения, например, морозобойные трещины, скорость прохождения звуковых импульсов между соседними сенсорами может и не фиксироваться. Поэтому для использования скорости прохождения звука при оценке качества древесины необходимо откинуть показания последовательно

соединенных сенсоров. Разница между первоначальными и поправленными средними скоростями может достигать 9 %.

После проведения акустической томографии с помощью Аботома получают первоначальное 2-D изображение с завышенными скоростями звуковых импульсов (рис. 1, *а*), т. е. программа использует более высокие значения по встречным направлениям между двумя сенсорами, отбрасывая низкие значения. Такая картинка наиболее наглядно показывает участки деструкции, полостей, включений. Однако, если анализировать качество древесины, предпочтительно деактивировать опцию «Use better mean value» в программе по обработке данных. Тогда в 2-D изображении будет отражаться истинная картина распределения усредненных значений измерений между встречными направлениями от сенсоров (рис. 1, *б*). Результаты обработки данных отражаются на шкале соответствия цвета изображения скорости звука. Следовательно, данная опция программы может привести к разночтениям при интерпретации результатов акустической томографии. Так, некоторые исследователи [1] фиксируют скорость звука в здоровой древесине липы на уровне 2251 м/с, по нашим данным, средняя скорость в здоровой древесине сосны составляет около 1400 м/с.

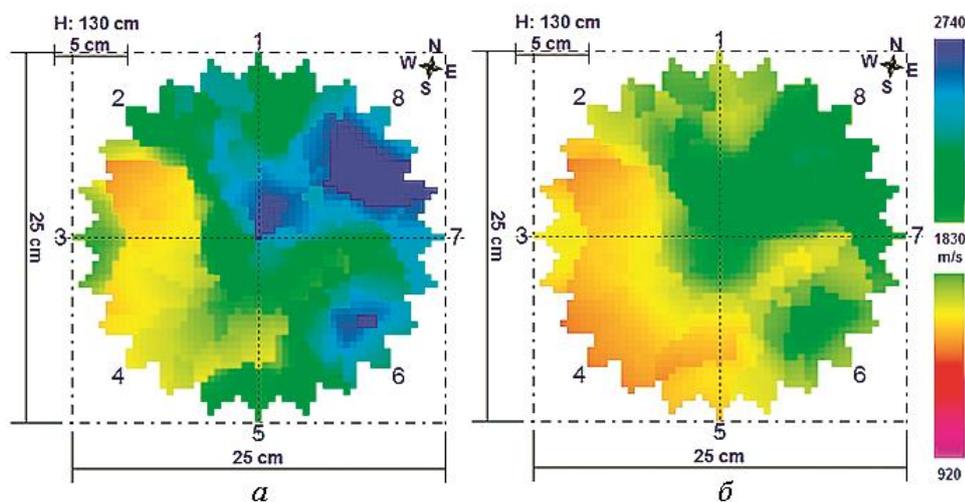


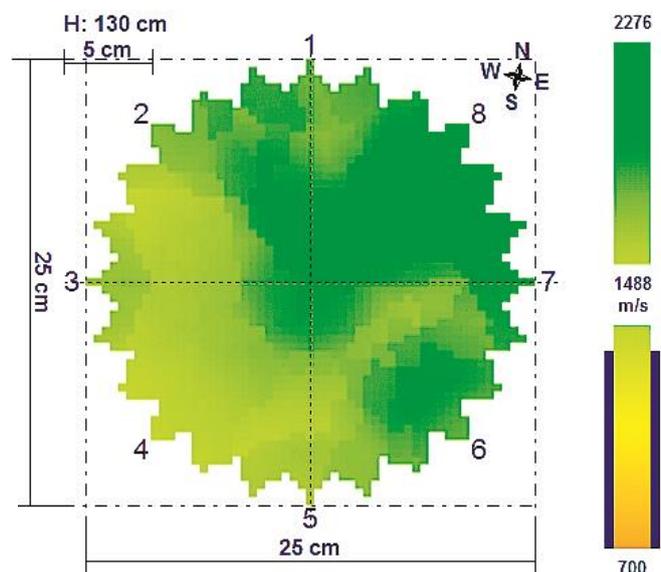
Рис. 1. Изображение акустической томографии поперечного сечения ствола сосны при активированной (*а*) и деактивированной (*б*) опции «Use better mean value»

Существует еще одна особенность интерпретации результатов акустической томографии – это автоматическая или ручная градуировка цветов из набора для всех скоростей прохождения импульсов. При автоматической градуировке цвета (активирована опция «Auto min./Auto max.») красный цвет на 2-D изображении не будет означать наличие гнили или полости. Разноцветие

изображения будет указывать на неоднородность структуры древесины. Поэтому, данная опция предпочтительна при анализе качественных характеристик здоровой древесины. Если же анализируется наличие и развитие деструкции древесины, необходима ручная градуировка цветов из набора для всех скоростей прохождения импульсов (рис. 2).

При этом задается определенный диапазон значений скоростей прохождения звуковой волны в здоровой и деструктированной древесине. В данном случае красный цвет будет означать наличие гнили или пустот. Сложность возникает в установлении соответствия скорости прохождения звука в древесине к степени ее разрушения. Таблицы скоростей распространения звука для различных пород деревьев ещё не сформированы.

Рис. 2. Изображение акустической томографии поперечного сечения ствола сосны при ручной градуировке цвета (скорость прохождения звукового импульса в древесине, подверженной деструкции, принимаем равной 700 м/с)



Следовательно, необходимо выработать конкретные методы интерпретации результатов, полученных с помощью Арботома, для создания каталога типичных скоростей распространения звука в древесине различных пород деревьев, для различных условий произрастания конкретной древесной породы, а также для других целей. В научных работах необходимо указывать опции программы, задействованные для получения значений скоростей распространения звуковых импульсов в древесине, чтобы их можно было использовать для дальнейшего сопоставления результатов, полученных разными исследователями.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Мельничук И.А., Йассин М.Й.С., Черданцев О.А. Диагностика внутреннего состояния деревьев *Tilia Cordata* Mill. с использованием комплекса аппаратуры акустической ультразвуковой томографии «Арботом» // Вестн. РУДН. Сер. Агрономия и животноводство. 2012. № 55. С. 25–32.

2. Силкин П.П., Екимова Н.В. Теоретическая оценка влияния содержания кальция в клеточных стенках годовичных колец хвойных на результаты рентгеновской денситометрии // Лесн. журн. 2012. № 3. С. 25–30. (Изв. высш. учеб. заведений).
3. Bucur V. Nondestructive characterization and imaging of wood. Springer, Berlin, 2003. P. 246–252.
4. Catena A. Thermography reveals hidden tree decay // Arb. J. 2003. 27. P. 27–42.
5. Deflorio G. Wood decay dynamics in the sapwood of trees – in vitro and in vivo studies on the role of the wood substrate in decay development. Goettingen Cuvillier, 2006. P. 158–164.
6. Deflorio G., Fink S. Detection of incipient decay in tree stems with sonic tomography after wounding and fungal inoculation // Wood Sci Technol. 2008. 42. P. 117–132.
7. Liang S., Fu F. Relationship analysis between tomograms and hardness maps in determining internal defects in euphrates poplar // Wood Research. 2012. 57 (2). P. 221–230.
8. Lonsdale D. Principles of tree hazard assessment and management. Stationery Office Ltd, Publications Centre, London, 1999. P. 38–46.
9. Luo J., Yang X. Study on the correlation between mechanical characteristics and nondestructive testing of stress wave in larch logs // Advanced Materials Research. 2012. 433–440. P. 2135–2141.
10. Rinn F. Technische Grundlagen der Impuls-Tomographie. Baumzeitung 8, 2003. P. 29–31.
11. Rust S., Gocke L. PICUS sonic tomograph – a new device for nondestructive timber testing. In: Backhaus G.F., Balder H., Idczak E. (Eds.) // International Symposium on Plant Health in Urban Horticulture, Braunschweig, Germany, 2000. P. 67–74.
12. Schwarze FWMR, Fink S. Ermittlung der Holzzersetzung am lebenden Baum // Neue Landschaft. 1994. 39. P. 182–193.
13. Shigo A. Microorganisms isolated from wounds inflicted on red maple, paper birch, American beech, and red oak in winter, summer and autumn // Phytopathol. 1976. 66. P. 559–563.
14. Wang L., Xu H., Zhou C., Li L., Yang X. Effect of sensor quantity on measurement accuracy of log inner defects by using stress wave // Journal of Forestry Research. 2007. 18 (3). P. 221–225.
15. Yang X.a, Luo J. Study on stress wave non-destructive testing of bending resistance characteristics of logs // World Automation Congress Proceedings. 2012. N 6321170. P. 496–502.

Поступила 23.04.14

UDC 674.032.475.4

About Interpretation Methods of Acoustic Tomography Results of Pine Wood

O.N. Tyukavina, Candidate of Agriculture, Associate Professor

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

Acoustic tomography is based on measurements of the propagation time of sound impulses. Velocity of sound impulses characterizes the state of the wood. Acoustic tomography is used for wood assessment and to determine the quality of the wood. Because the sound wave propagates more rapid in high density wood. The main objective of this work was to

develop interpretation methods of the Arbotom results to estimate the quality of the wood. The object of research is pine, because it is less amenable to fungal diseases than other species of trees and it is a valuable specie. Acoustic tomography was carried with the Arbotom machine at tree height 130 cm above ground. From 6 to 12 sensors was used, depended on the diameter of the tree. Healthy wood quality was evaluated on the average velocity of sound transmission between sensors. In order to reduce the influence of external damage of stem (mechanical damage, winterkilling cracks) on the average velocity of sound transmission in wood, data from neighboring sensors was excluded. Different options, proposed by the software, were analyzed while result processing. The option «Use better mean value» overstates of the velocity of sound in 2 -D image, so it was we deactivated. It is necessary to activate automatic color calibration in 2 -D image for clearer picture of changes in the structure of wood in the cross-section. Then the scale will not be fixed ("floating"), that shows minimum and maximum value, found in the cross-section of wood. In this case, the red color indicates on change in the wood structure but it does not indicate decay. Therefore, option activation by the software must be considered and certain options must be selected in interpreting the results of acoustic tomography, collected by Arbotom. Methods of interpreting of the acoustic tomography results must be indicated in researches to exclude differences in results, received other researchers.

Keywords: acoustic tomography, wood quality, pine, velocity of sound pulses

REFERENCES

1. Mel'nichuk I.A., Yassin M.Y.S., Cherdantsev O.A. Diagnostika vnutrennego sostoyaniya derev'ev *Tilia Cordata* Mill. s ispol'zovaniem kompleksa apparatury akusticheskoy ul'trazvukovoy tomografii «Arbotom» [Diagnosis of Internal State of Trees *Tilia Cordata* Mill. with Using Complex of Acoustic Equipment of Ultrasonic Tomography «Arbotom»]. *Vestnik Rossiyskogo universiteta druzhby narodov. Seriya: Agronomiya i zhivotnovodstvo*, 2012, no. 55, pp. 25–32.
2. Silkin P.P., Ekimova N.V. Teoreticheskaya otsenka vliyaniya sodержaniya kal'tsiya v kletochnykh stenkakh godichnykh kolets khvoynykh na rezul'taty rentgenovskoy densitometrii [Theoretical Assessment of Effect of Calcium Content in the Cell Walls of Annual Rings of Coniferous Species on the x-ray Densitometry Results]. *Lesnoy zhurnal*, 2012, no. 3, pp. 25–30.
3. Bucur V. Nondestructive characterization and imaging of wood. *Springer*, Berlin, 2003, pp. 246–252.
4. Catena A. *Thermography reveals hidden tree decay*. 2003, pp. 27–42.
5. Deflorio G. Wood decay dynamics in the sapwood of trees – in vitro and in vivo studies on the role of the wood substrate in decay development. *Cuvillier*, Goettingen, 2006, pp. 158–164.
6. Deflorio G., Fink S. Detection of incipient decay in tree stems with sonic tomography after wounding and fungal inoculation. *Wood Science Technology*, 2008, no. 42, pp. 117–132.
7. Liang, S., Fu, F. Relationship analysis between tomograms and hardness maps in determining internal defects in Euphrates poplar. *Wood Research*, 2012, no. 57 (2), pp. 221–230.
8. Lonsdale D. *Principles of tree hazard assessment and management*. London, 1999, pp. 38–46.

9. Luo J., Yang X. Study on the correlation between mechanical characteristics and nondestructive testing of stress wave in larch logs. *Advanced Materials Research*, 2012, no. 433–440, pp. 2135–2141.

10. Rinn F. Technische Grundlagen der Impuls-Tomographie. *Baumzeitung*, 2003, 8, pp. 29–31.

11. Rust S., Gocke L. PICUS sonic tomograph – a new device for nondestructive timber testing. In: Backhaus G.F., Balder H., Idczak E. (Eds.), *International Symposium on Plant Health in Urban Horticulture*, Braunschweig, Germany, 2000, pp. 67–74.

12. Schwarze FWMR, Fink S. Ermittlung der Holzersetzung am lebenden Baum. *Neue Landschaft* 39, 1994, pp. 182–193.

13. Shigo Al. Microorganisms isolated from wounds inflicted on red maple, paper birch, American beech, and red oak in winter, summer and autumn. *Phytopathol*, 1976, N 66, pp. 559–563.

14. Wang L., Xu H., Zhou C., Li L., Yang X. Effect of sensor quantity on measurement accuracy of log inner defects by using stress wave. *Journal of Forestry Research*, 2007, N 18 (3), pp. 221–225.

15. Yang X.a , Luo J. Study on stress wave non-destructive testing of bending resistance characteristics of logs. *World Automation Congress Proceedings*, N 6321170, 2012, pp. 496–502.

Received on April 23, 2014

УДК 630*432

**ВОПРОСЫ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ЛИДАРОВ
ДЛЯ КОНТРОЛЯ ЛЕСНЫХ ПОЖАРОВ В ГОРНЫХ МАССИВАХ**

© Дж. С. Мехтиева, канд. техн. наук, доц.

Национальная академия авиации, Бина, 25-й км, г. Баку, Азербайджан, AZ1045;
e-mail: ekologiya.maa@mail.ru

Дан краткий обзор состояния организации лидарного контроля для обнаружения лесных пожаров в горной местности. Задачей оптимизации лидарного контроля является раннее обнаружение слабого дыма. Отмечено, что лесные пожары часто возникают в ущельях или на склонах гор, а лидары, установленные на высотных точках, регистрируют лишь сильно ослабленный дым на фоне частично задымленного воздуха на склоне гор. При этом конфигурация местности играет значительную роль в формировании результирующего отношения сигнал/шум в горной местности. Общая эффективность работы лидарной системы обнаружения лесных пожаров зависит не только от отношения сигнал/шум на выходе системы обнаружения и ее быстродействия, но и от трехмерной конфигурации лесного массива, где проводится лидарный контроль. Целью статьи является анализ возможности выбора оптимального режима работы системы лидарного контроля и выработка на ее основе новой конфигурации сети лидарного контроля лесных пожаров в холмистой местности. Для выбора конфигурации сети контроля осуществлена оптимизация лидарного контроля возникновения лесных пожаров в ущелья горных массивов. Сформулировано ограничительное условие, наложенное на интегральное пропускание атмосферы по трассе наблюдений. Сформулирована и решена вариационная задача безусловной оптимизации с ограничением. Показано, что оптимальным режимом лидарного контроля возгорания лесов на горном ущелье является обеспечение обратной зависимости между пропусканием атмосферы и контролируемой дистанцией. Дана рекомендация по оптимальному построению лидарной системы контроля возникновения лесных пожаров в горных массивах.

Ключевые слова: лесные пожары, лидарный контроль, атмосфера, оптимизация, раннее обнаружение, пропускание.

Хорошо известно [1–4], что использование лидаров для обнаружения дыма лесных пожаров позволяет определить направление и расстояние до источника дыма, а также концентрацию сгенерированных огнем аэрозольных частиц, содержащихся в нем, для оценки степени развития возгорания. Благодаря высокой чувствительности и высокому пространственному разрешению лидаров, оказывается возможным обнаружение слабой задымленности на раннем этапе возникновения лесных пожаров в любое время суток.

Экспериментальные исследования лидаров, проведенные в рамках проекта “Gestosa 2001” в Португалии в 2000 г. [3], показали возможность обнаружения дыма на расстоянии до 6,5 км при скорости горения 0,025 кг/с. Исследованиями [4] установлено, что с помощью лидаров появляется возможность обнаружения дыма на расстоянии 6,5 км и при скорости горения 0,020 кг/с. При этом удавалось обнаружить дым через 40 с после начала пожара.

Исследования [3] по выяснению возможности обнаружения дыма лесных пожаров с помощью одноволнового лидара, работающего на длине волны 532 нм, показали, что в целях повышения безопасности возможно снижение мощности одного импульса с одновременным повышением частоты повторения импульсов. Такой режим работы прибора позволяет повысить безопасность лазера для человеческого зрения, не снижая при этом его чувствительность.

Согласно работе [2], с помощью лидара, работающего на длине волны 532 нм, можно обнаружить малые лесные пожары на расстоянии 7...15 км при соотношении сигнал/шум > 5 (в зависимости от режима работы, масштабов и геометрии наблюдений).

В работе [5] сообщается о результатах экспериментальных исследований по обнаружению лесных пожаров с помощью портативного безопасного лидара (Nd:YAG лазер мощностью 100 мДж, работающий на длинах волн 1064 и 532 нм, длительность импульсов 30 нс). Анализ результатов более 600 измерений показал возможность регистрации пожаров на расстоянии $\sim 5,5$ км. Общий вид приемных сигналов лидара, отраженных от дыма пожара со скоростью горения 0,120 кг/с при разных соотношениях сигнал/шум, показан на рис. 1 а, б; на рис. 1 в, г кривые 1 и 3 соответствуют скорости горения 0,120 кг/с, кривые 2 и 4 – 3,100 кг/с. Как видно из рис. 1 в, г, при скорости горения 0,120 и 3,100 кг/с возможно обнаружение дыма на расстоянии 3,4 км и 5,5 км соответственно.

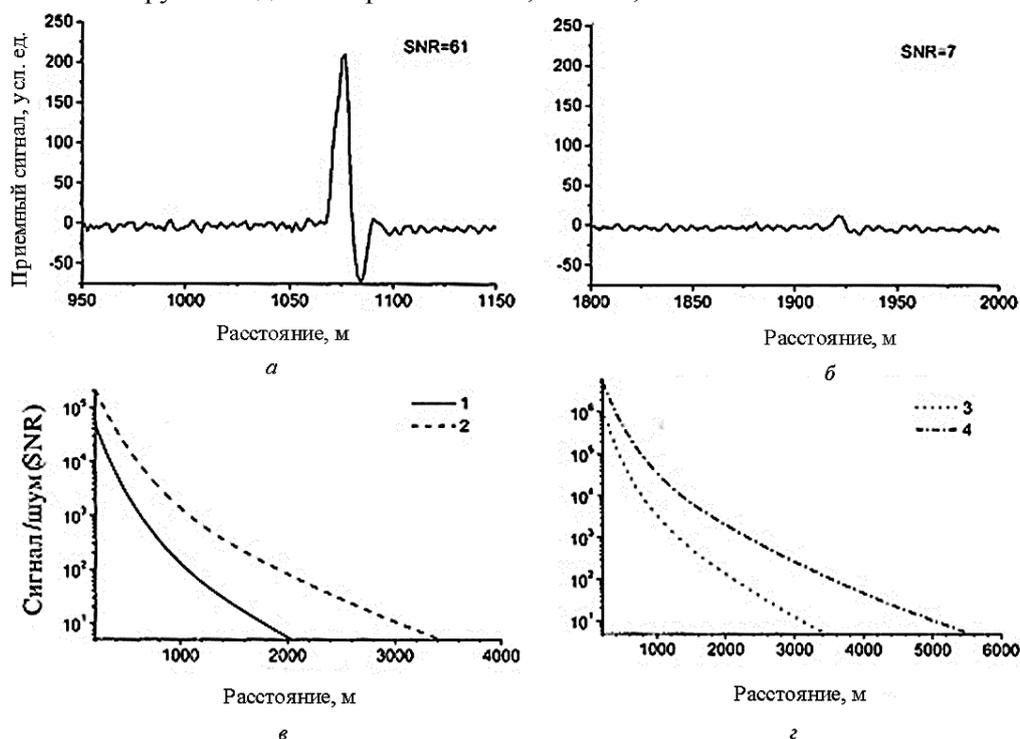


Рис. 1. Общий вид приемных сигналов лидара (а, б) и соотношения сигнал/шум (в, г) при различных режимах горения

Вместе с тем, общая эффективность работы лидарной системы обнаружения лесных пожаров зависит не только от соотношения сигнал/шум на выходе и быстродействия системы, но и трехмерной конфигурации лесного массива, где проводится лидарный контроль.

Согласно работе [4], мощность приемного сигнала лидара определяется по следующей формуле:

$$P_r(R) = E_p \frac{c(\beta(R)) A_r}{2 R^2} \tau_t \tau_r \exp\left(-2 \int_0^R \alpha(R') dR'\right), \quad (1)$$

где R – текущее расстояние;

E_p – энергия импульса лазера;

c – скорость света;

$\beta(R)$ – среднее значение коэффициента обратного рассеяния;

A_r – эффективная площадь приемника;

τ_t – эффективность передатчика;

τ_r – эффективность приемника;

α – коэффициент ослабления.

Как указано в работе [3], в первичной стадии дым от лесных пожаров является очень густым и соответствующий сигнал лидара представляет собой узкий и достаточный сильный пиковый сигнал. Для оценки соотношения сигнал/шум особое значение приобретают фоновые шумы, имеющиеся вокруг указанных пиковых сигналов.

При этом суммарные шумы образуются из-за атмосферных эффектов, а также по причине шумов оптического тракта приемного устройства. Выходной сигнал собственно фотоумножителя содержит следующие составляющие:

ток, образованный из-за приема энергии лазерного луча, оцениваемый как

$$I_{sig} = P_r' R_p G; \quad (2)$$

ток, образованный из-за влияния фоновой радиации, оцениваемый как

$$I_{bgnd} = P_{bgnd} R_p G; \quad (3)$$

темновой ток катода I_{dark} .

Здесь P_r' – мощность излучения обратного рассеяния в окрестности пика сигнала;

R_p – чувствительность фотокатода;

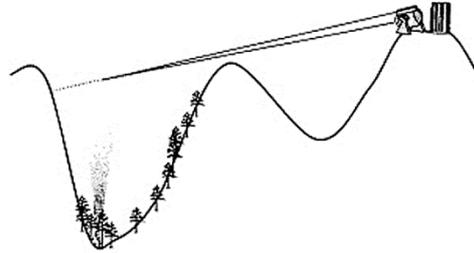
G – коэффициент усиления фотоумножителя;

P_{bgnd} – мощность принятой фоновой радиации солнца.

Согласно [3] результирующее соотношение сигнал/шум (S/N) на выходе приемника лидара при проведении n измерений определяется по следующей формуле:

$$S/N = \frac{P_r R_p G \sqrt{n}}{\sqrt{2e G^2 F B_e (P_r' R_p + P_{bgnd} R_p + I_{dark} / G)}}. \quad (4)$$

Рис. 2. Схема проведения лазерного контроля в горной местности



Таким образом, соотношение сигнал/шум не определяется одним только приемным лучом отраженного лазерного сигнала, а также зависит от условий приема.

В качестве подтверждения этого вывода рассмотрим пример, заимствованный из работы [3], где качественно проанализирована закономерность образования соотношения сигнал/шум в процессе проведения лидарного контроля при возгорании лесов на горных холмах (рис. 2).

Лесные пожары часто возникают в ущельях или на склонах гор, и как результат, лидары, установленные на высотных точках, регистрируют сильно ослабленный дым на фоне частично задымленного воздуха на склоне гор. Таким образом, конфигурация местности также играет значительную роль в формировании результирующего соотношения сигнал/шум в горной местности.

Цель настоящей работы – анализ выбора оптимального режима работы системы лидарного контроля и разработка новой конфигурации сети лидарного контроля лесных пожаров на холмистой местности.

Согласно [1] сигнал, или количество фотоэлементов $n(r_0)$, образованных в приемнике лидара при поступлении отраженного сигнала с расстояния r_0 и дифференциального интервала Δr_0 , оценивается по следующей формуле:

$$n(r_0) = \left(\lambda \delta_\lambda \Delta r_0 E_0 / hc \right) \left(\frac{A_r}{r_0^2} \right) \beta(r_0) T(r_0)^2, \quad (5)$$

или

$$n(r_0) = C \left(\frac{A_r}{r_0^2} \right) \left(\frac{\bar{P}_{180}}{4\pi} \right) T(r_0)^2, \quad (6)$$

где

λ – длина волны;

δ_λ – квантовая эффективность приемника;

E_0 – энергия импульса;

h – постоянная Планка;

c – скорость света;

A_r – эффективная площадь телескопа;

$\beta(r_0)$ – коэффициент обратного рассеяния с расстояния r ;

$T(r_0)^2$ – пропускание атмосферы на расстоянии r_0 ,

$$T(r_0)^2 = e^{-2 \int_0^{r_0} \sigma_e(r) dr}; \quad (7)$$

C – общий коэффициент калибровки лидара;

\bar{P}_{180} – весовая фазовая функция для угла рассеяния 180° ;

$\sigma_e(r)$ – коэффициент ослабления.

Так как рассматривается задача раннего обнаружения слабого дыма, то в выражении (7) можно принять, что

$$\int_0^{r_0} \sigma_e(r) dr < 0,1. \quad (8)$$

С учетом условия (8) выражение (7) запишем как

$$T(r_0) = 1 - \int_0^{r_0} \sigma_e(r) dr. \quad (9)$$

Рассмотрим бинарный случай, когда возгорание происходит либо в правой, либо в левой части ущелья между холмами (рис. 3). Для такой идеализированной бинарной модели можно принять следующие линейные аппроксимации $\sigma_e(r)$:

возгорание на правом участке

$$\sigma_{e_1}(r) = kr; \quad (10)$$

возгорание на левом участке

$$\sigma_{e_2}(r) = A - kr. \quad (11)$$

С учетом (9)–(11)

$$T(r_0)_1 = 1 - \frac{kr_0^2}{2}; \quad (12)$$

$$T(r_0)_2 = 1 - Ar_0 + \frac{kr_0^2}{2}. \quad (13)$$

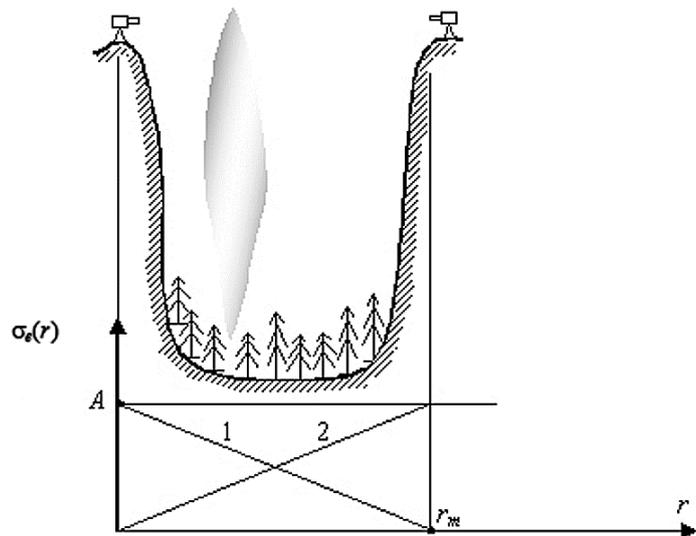


Рис. 3. Бинарная модель случаев возгорания

Если в выражении (13) обеспечить выполнение условия

$$A = kr_0, \quad (14)$$

получим

$$T(r_0)_1 = T(r_0)_2.$$

Таким образом, с учетом принятой бинарной модели возгорания в ущельях горных массивов в первом приближении можно сформулировать следующее ограничительное условие:

$$\int_0^{r_m} T(r_0) dr_0 = C_1; \quad C_1 = \text{const.} \quad (15)$$

С учетом (5) и (15) составим уравнение безусловной вариационной оптимизации:

$$F = \int_0^{r_m} M dr_0 = \int_0^{r_m} \left(\frac{\lambda \delta_\lambda \Delta r_0 E_0}{hc} \right) \left(\frac{A_r}{r_0^2} \right) \beta(r_0) T^2(r_0) dr_0 + \gamma \int_0^{r_m} T(r_0) dr_0, \quad (16)$$

где γ – множитель Лагранжа.

Для нахождения вида функции $T(r_0)$, приводящей F к экстремальной величине, воспользуемся методом Эйлера, согласно которому искомый вид функции $T(r_0)$ должен удовлетворить условию

$$\frac{dM}{dT(r_0)} = 0. \quad (17)$$

Тогда выражение (16) преобразим с учетом условия (17):

$$\frac{2BT(r_0)}{r_0^2} + \gamma = 0, \quad (18)$$

где $B = \frac{\lambda \delta_\lambda \Delta r_0 A_r \beta(r_0) E_0}{hc}$.

Из выражений (15) и (18) находим

$$\gamma = -\frac{6C_1 B}{r_m^3}. \quad (19)$$

С учетом (18) и (19) имеем

$$T(r_0) = \frac{3C_1 r_0^2}{r_m^3}. \quad (20)$$

Легко доказать, что $\frac{d^2M}{dT(r)^2}$ является положительной величиной, т. е.

функция (20) приводит функционал (16) к его минимальной величине. Следовательно, оптимальный лидарный контроль следует организовать таким образом, чтобы обеспечить обратную зависимость между T и r_0 . Этого можно достичь, организовав двойной лидарный контроль лесного массива в ущелье (рис. 3) за счет выбора сигнала того лидара, для которого обеспечивается

вышеуказанное условие. Например, если возгорание происходит на левой половине ущелья, то оптимальным считается обработка сигнала правого лидара, и наоборот. Таким образом, организация парной работы двух лидаров позволяет обеспечить наибольший сигнал, подлежащий обработке как при обнаружении, так и предсказании лесных пожаров.

Выводы

1. Показано, что оптимальным режимом лидарного контроля за возгоранием лесов в горном ущелье является обеспечение обратной зависимости между пропусканьем атмосферы и контролируемой дистанцией.

2. Для оптимального использования лидарной системы контроля возникновения лесных пожаров в горных массивах предложена установка двух лидаров и выбор сигнала того лидара, для которого обеспечивается рекомендуемый оптимальный режим работы в зависимости от возгорания на правой или левой стороне горного ущелья.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Lavrov A., Utkin A.B., Vilar R., Conde O., Fajardo M., LO Silva, Pires M. Experimental and theoretical of forest fire detection by a portable eye-safe lidar operating at 1540 nm. // Proc. SPIE 04/2009; 7131:71312J. DOI: 10.11117/12.816515.
2. Porter J.N., Sharma S.K., Lienert B.R. Obtaining calibrated marine aerosol extinction measurements using horizontal lidar measurements, differential lidar-target measurements and a polar nephelometer // SPIE Meeting Proceedings. Japan. 2000.
3. Utkin A.B., Fernandes A., Simoes F., Lavrov A., Vilar R. Feasibility of forest-fire smoke detection using lidar // International Journal of Wildland Fire. 2013. N 12. P. 159–166.
4. Utkin A.B., Fernandes A., Simoes F., Vilar R. Forest-fire detection by means of lidar. <http://www.millpress.nl/chop/aboeks/ICFFR4/pdf/057.pdf>
5. Utkin A.B., Lavrov A.V., Costa L., Simoes F., Vilar R. Detection of small forest fires by lidar // Applied Physics. 2002. B. 74. P. 77–83, DOI:10.1007/s003400100772.

Поступила 02.04.14

UDC 630*432

Questions on Lidars Use for Control and Detection of Forest Fires in Mountainous Zones

J.S. Mekhtiyev, Candidate of Engineering, Associate Professor

National Aviation Academy, Bina, 25th km, Azerbaijan, AZ10145, Baku; e-mail: ekologiya.maa@mail.ru

The brief review of organization condition of lidar control for detection of forest fires in mountainous zones has given. It is noted, that the forest fires take place in ravines or flanks of hills, and as a result, lidars, installed at the elevated sites detects heavily attenuated smoke at the background of not clean but partly polluted air at the flanks of hills. The configuration

of the locality plays a significant role in formation of resulting at the output of lidar system signal/noise ratio in mountainous zone. At the same time the total effectiveness of lidar system functioning depends on not only signal/noise ratio at the output of detection system and its quickness of operation, but also on 3D configuration of forest zone, where the lidar system should be installed. The aim of the article is analysis of possibility for selection of optimum operation regime of lidar control system and development on this basis the new configuration of net designated for lidar control of forest fires in mountainous zones. In order to choose the configuration of the control net the optimization of lidar detection of forest fires in ravines of mountainous zones is carried out. The aim of optimization of lidar control is earlier detection of weak smoke. The limitation condition applied to integral transmission of atmosphere on route of control is formulated. The variational task of non-conditional optimization with limitation is formulated and solved. It is shown, that the optimum regime of lidar control of forest fire at the ravines of mountainous zones is provision of inverse relation between atmospheric transmission and the controlled distance. The recommendations on optimum development of lidar system for control of forest fires in mountainous zones are given

Keywords: forest fires, lidar control, atmosphere, optimization, early detection, transmission.

REFERENCES

1. Lavrov A., Utkin A.B., Vilar R., Conde O., Fajardo M., LO Silva, Pires M. Experimental and theoretical of forest fire detection by a portable eye-safe lidar operating at 1540 nm. *Proceedings SPIE* 04/2009; 7131:71312J. DOI:10.1117/12.816515
2. Porter J.N., Sharma S.K., Lienert B.R. Obtaining calibrated marine aerosol extinction measurements using horizontal lidar measurements, differential lidar target measurements and a polar nephelometer. *SPIE Meeting Proceedings*, Japan 2000.
3. Utkin A.B., Fernandes A., Simoes F., Lavrov A., Vilar R. Feasibility of forest-fire smoke detection using lidar. *International Journal of Wildland Fire*, 2013, no. 12, pp. 159–166.
4. Utkin A.B., Fernandes A., Simoes F., Vilar R. Forest-fire detection by means of lidar. Available at: <http://www.millpress.nl/chop/aboeks/ICFFR4/pdf/057.pdf>.
5. Utkin A.B., Lavrov A.V., Costa L., Simoes F., Vilar R. Detection of small forest fires by lidar. *Applied Physics*. 2002, B.74, pp. 77–83. DOI:10.1007/s003400100772.

Received on April 02, 2014

УДК 630*2+630*5

**ТИПЫ ВОЗРАСТНОЙ СТРУКТУРЫ ЗАБОЛОЧЕННЫХ СОСНЯКОВ
АРХАНГЕЛЬСКОЙ ОБЛАСТИ**© *А.А. Бахтин, канд. с.-х. наук, доц.**Н.Н. Соколов, канд. с.-х. наук, доц.*

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

Коренные сосняки на Европейском Севере России в настоящее время сохранились в основном на избыточно увлажненных почвах, площади которых в государственном лесном фонде (гослесфонде) Архангельской области занимают 12,4 млн га, или 49,5 % от всей площади государственного лесного фонда. При этом лесная площадь с избыточным увлажнением составляет 7,5 млн га. Сосновые древостои в среднем по области заболочены на 33,5 %. Необходимость изучения возрастной структуры и таксационного строения заболоченных сосняков вытекает из широкой представленности их в гослесфонде Европейского Севера и отсутствия рекомендаций по организации хозяйства в них. Заболоченные насаждения на 80 % представлены спелыми и перестойными древостоями. Следовательно, необходимо изучить таксационную структуру заболоченных сосняков этой возрастной группы. Для этого на 12 пробных площадях были срублены сплошь от 100 до 200 деревьев. У каждого дерева замерены возраст, высота, диаметр на относительных высотах, отмечены виды пороков, их распространение по стволу, длина живой кроны, наличие сучьев разной толщины, очищаемость ствола от сучьев и др. Такая подробная характеристика деревьев позволила изучить строение заболоченных сосняков по возрасту, диаметру, высоте, форме стволов и объему, а также товарность. В основу классификации типа возрастной структуры заболоченных сосняков нами положены степень изменчивости возраста, диаметра и высоты деревьев, составляющих древостой, а также характер распределения деревьев по этим признакам. Коэффициент варьирования возраста изучаемых заболоченных сосняков составляет 5,8 %...43,2 %, изменчивость диаметра – 25,8 %...48,0 %, высоты – 9,3 %...29,1 %. Анализ полученных результатов позволил сделать вывод о том, что заболоченные сосняки представлены как условно-одновозрастными, так и разновозрастными древостоями с выраженными поколениями и без такого четкого выражения. По экспериментальным материалам был проведен дисперсионный анализ типов возрастной структуры по алгоритму однофакторных равномерных комплексов. За варианты факторов был принят тип возрастной структуры: условно-одновозрастные и разновозрастные древостои. Результативный признак – коэффициент варьирования диаметров деревьев. Дисперсионный анализ показал, что влияние рассматриваемого фактора (тип возрастной структуры) достоверно на всех уровнях значимости. Влияние типа возрастной структуры на изменчивость диаметров деревьев в древостое может составить от 58,5 % до 86,2 % от общего влияния всей суммы факторов. Необходимость и целесообразность классификации заболоченных сосновых древостоев на условно-одновозрастные и разновозрастные подтверждены дисперсионным анализом, но проведенный анализ возрастной структуры заболоченных сосняков не выявил наличия в них относительно разновозрастных древостоев. Таким образом, возможность формирования заболоченных сосняков данной возрастной структуры очень мала.

Ключевые слова: сосняки, заболоченность, структура, возраст, диаметр, высота, изменчивость, классификация.

Изучению строения сосновых древостоев в нашей стране посвящено большое количество работ [1, 4–7, 10 и др.]. В настоящее время коренные сосняки в Архангельской области сохранились в основном на избыточно увлажненных почвах, площади которых занимают 12,4 млн га, или 49,5 % от всей площади государственного лесного фонда области. При этом лесная площадь с избыточным увлажнением составляет 7,5 млн га. Заболоченность территорий колеблется от 25...26 % в Пуксоозерском, Устьянском лесничествах до 55...60 % в Каргопольском, Онежском, Архангельском, Северодвинском лесничествах. В Мезенском лесничестве этот показатель возрастает до 71,3 %. В среднем по области сосновые древостои заболочены на 33,5 %, распределение по подзонам тайги составляет: притундровая – 21,5 %, северная – 27,7 %, средняя – 42,9 %. Среди сосновых древостоев наиболее заболочены сфагновые на верховых торфяных почвах (71 %), кустарничково-сфагновые, вахто-сфагновые, осоково-сфагновые также широко представлены. С одной стороны, при существующей напряженности с эксплуатационными запасами древесины на Европейском Севере заболоченные сосняки представляют определенный интерес, с другой – на значительных площадях избыточно увлажненных сосняков проведено осушение. В связи с этим встает вопрос о том, что дает больший эффект – дополнительный прирост на осушенной площади или рубка древостоя до проведения мелиорации. Эти и другие вопросы, возникающие в связи с ведением хозяйства в заболоченных сосновых насаждениях, можно решить, изучив их строение, фаутизм и товарность. Необходимость изучения возрастной структуры и таксационного строения заболоченных сосняков вытекает из широкой представленности их в государственном лесном фонде Европейского Севера и отсутствия рекомендаций по организации хозяйства в них.

Заболоченные насаждения на 80 % представлены спелыми и перестойными древостоями, таксационную структуру которых необходимо изучить прежде всего. Для этого в спелых и перестойных заболоченных сосняках сфагновой группы типов леса была заложена 21 пробная площадь (возраст – 104...180 лет, продуктивность от V до V^б классов бонитета) в Холмогорском, Плесецком, Вельском, Шенкурском, Няндомском, Карпогорском, Верхнетоемском и Котласском районах Архангельской области. Для изучения возрастной структуры на 12 пробных площадях были срублены сплошь от 100 до 200 деревьев, т. е. на половине площади пробы или на всей пробной площади, на 9 пробах также подряд были срублены от 20 до 60 учетных деревьев. У каждого дерева произведены замеры возраста (*A*), высоты (*H*), диаметров (*D*) на относительных высотах, отмечены виды пороков, их распространение по стволу, длина живой кроны, наличие сучьев разной толщины, очищаемость ствола от сучьев и др. Такая подробная характеристика деревьев позволила изучить строение заболоченных сосняков по возрасту, диаметру, высоте, форме стволов и объему, а также их товарность. Таким образом было обмерено 1536 учетных деревьев.

На пробных площадях (ПП) со сплошной рубкой деревьев средний возраст определяли как среднее арифметическое возрастов срубленных учетных деревьев, он составил 104...167 лет, запас на них колебался от 25 до 160 м³/га, относительная полнота – от 0,31 до 0,96 (табл. 1).

Таблица 1

**Лесоводственно-таксационная характеристика заболоченных сосняков
на пробных площадях со сплошной рубкой**

№ ПП	Состав	Средние			Класс бонитета	Тип леса	Относительная полнота	Запас, м ³ /га
		Н, м	Д, см	А, лет				
<i>Холмогорское лесничество</i>								
1	10С	7,6	12,4	108	Vб	Куст.-сф.	0,34	31
2	10С	9,2	12,8	142	Vб	Куст.-сф.	0,37	42
<i>Няндомское лесничество</i>								
3	10С	7,0	9,9	104	Vб	Куст.-сф.	0,31	25
<i>Карпогорское лесничество</i>								
4	10С	10,5	13,1	161	Vб	Баг.-сф.	0,87	64
<i>Холмогорское лесничество</i>								
5	10С	10,6	14,1	167	Vа	Баг.-сф.	0,92	135
<i>Котласское лесничество</i>								
6	10С	11,3	19,2	139	Vа	Куст.-сф.	0,67	78
7	10С+Б	12,0	14,2	111	Vб	Баг.-сф.	0,96	149
<i>Шенкурское лесничество</i>								
8	10С+Б,едЕ	11,1	15,3	128	Vа	Вх.-сф.	0,82	124
<i>Плесецкое лесничество</i>								
9	10С	10,5	16,8	148	Vа	Кассан.-сф.	0,46	56
<i>Вельское лесничество</i>								
10	10С	12,4	14,8	150	Vа	Баг.-сф.	0,81	160
11	9С1Б	13,5	17,3	157	V	Баг.-сф.	0,69	142
<i>Плесецкое лесничество</i>								
12	10С ед.Е,Б	15,1	19,4	126	V	Куст.-сф.	0,67	144

Естественные леса всегда имеют ту или иную разновозрастность. Общеизвестно, что на Европейском Севере имеются как разновозрастные, так и одновозрастные сосняки. Однако до сих пор возрастное строение заболоченных сосняков изучено очень слабо, что затрудняет разработку рекомендаций по их хозяйственному освоению. По материалам ряда исследователей возрастная структура коренных сосняков зависит от частоты и интенсивности проходящих по территории лесных пожаров. По исследованиям И.С. Мелехова [8] пожары повреждали эти леса на огромных площадях и оказывали влияние на смену пород, формирование леса и его возрастную структуру. Работами И.В. Семечкина [9] установлено, что одновозрастные древостои возникают в результате «лесо-разрушительных факторов», к которым он относил повальные пожары, массовые размножения вредных насекомых, сплошнолесосечные рубки.

В основу классификации типа возрастной структуры заболоченных сосняков нами положены изменчивость возраста, диаметра и высоты деревьев, составляющих древостой (табл. 2), а также характер распределения деревьев

Таблица 2

Типы возрастной структуры заболоченных сосняков

№ ПП	Коэффициент изменчивости			Основное отклонение по возрасту σ_A , лет	Средний возраст A , лет	Колебания возраста отдельных деревьев	Тип возрастной структуры
	C_D	C_H	C_A				
1	37,8	23,4	22,2	24,0	108	66...172	P
2	35,8	18,0	33,2	47,2	142	61...193	P
3	41,1	29,1	39,5	44,8	104	39...188	P
4	34,8	18,0	28,3	45,5	161	87...331	P
5	28,1	13,2	7,5	12,5	167	139...193	УО
6	27,5	16,4	11,6	16,2	139	91...204	УО
7	25,8	9,3	11,6	13,2	111	89...140	УО
8	46,4	21,2	35,8	54,4	128	50...294	P
9	30,5	18,3	11,5	17,0	148	95...201	УО
10	31,0	14,3	5,8	13,3	150	110...175	УО
11	27,3	18,1	10,7	16,8	157	113...194	УО
12	48,0	22,2	43,2	42,4	126	50...273	P

Примечание: УО – условноодновозрастные; P – разновозрастные.

по этим признакам. Таким подходом при изучении возрастной структуры древостоев пользовались И.В. Семечкин, С.С. Шанин, Э.Н. Фалалев [9–11] при изучении возрастного строения сосняков Сибири, С.С. Зябченко – сосняков Карелии [2]. По данным Г.Е. Комина и И.В. Семечкина [4, 9] выделены следующие типы возрастной структуры: абсолютно-одновозрастные, одновозрастные, условно-разновозрастные, ступенчато разновозрастные, циклично разновозрастные, абсолютно разновозрастные, по данным С.С. Зябченко [2] – условно-одновозрастные, относительно разновозрастные, разновозрастные с выраженными поколениями.

Изучаемые заболоченные сосняки имеют следующие коэффициенты изменчивости, %: возраста (C_A) – от 5,8 до 43,2; диаметра (C_D) – 25,8 до 48,0; высоты (C_H) – от 9,3 до 29,1.

Анализ полученных результатов позволяет сделать вывод о том, что заболоченные сосняки представлены как условно-одновозрастными, так и разновозрастными древостоями с четко выраженными признаками поколений или без таковых.

Колебания возраста отдельных экземпляров сосны на пробных площадях составляли от 40...50 до 100...230 лет. Вместе с тем, древостои пробных площадей № 5–7, 9–11 отнесены нами к условно-одновозрастным, так как их объединяет невысокая изменчивость возраста (от 5,8 до 11,6, в среднем 10,3 %), хотя колебания возраста отдельных деревьев в древостоях могут быть значительными – 100 лет и более. Большинство деревьев (68 %) от средних показателей отклоняются не более чем на 25...35 лет, 95 % – не более чем на 50...68 лет. Изменчивость диаметров составляет 25,8...31,0 % (в среднем 27,4 %), высот – 9,3...18,3 % (в среднем 14,9 %). В заболоченных сосняках условно-одновозрастные древостои могут формироваться после пожаров и рубки леса при условии наличия семенников. Однако период формирования

древостоя затягивается на полтора класса возраста. На трех пробных площадях со сплошной рубкой всех деревьев сосны, заложенных нами в долгомошном и сфагновом типах леса второго класса возраста, период заселения сосной колебался от 25 до 35 лет.

Распределение стволов по возрасту в одновозрастных древостоях сосны графически выражается одновершинной кривой, несколько – низковершинной и с растянутыми ветвями. Распределение деревьев по диаметру и высоте также характеризуется одновершинной нормальной кривой, о чем свидетельствует оценка достоверности различия по Пирсону, вычисленная для фактического и выравненного распределений по Лапласу–Гауссу, которая получилась значительно меньше стандартного критерия на всех уровнях порога вероятности безошибочного прогноза ($\chi_{cp}^2 = 1,16$; $\chi_{st}^2 = 6,0 - 9,2 - 13,8$). Для сопоставления по возрасту, диаметру и высоте древостоя разной возрастной структуры были распределены по естественным ступеням. Данные табл. 3 свидетельствуют о том, что в условно-одновозрастных древостоях около 90 % деревьев по возрасту сосредоточено в пределах естественных ступеней 0,9...1,1, максимум приходится на ступень среднего дерева. Ранг среднего дерева по возрасту – 50,2 % от самого молодого, по диаметру – 53,7 %, по высоте – 54,6 %.

Таблица 3

**Распределение количества деревьев сосны по естественным ступеням
в заболоченных древостоях разной возрастной структуры**

Естественные ступени	Процент деревьев по ступеням					
	возраста		диаметра		высота	
	УО	Р	УО	Р	УО	Р
0,3	–	–	–	0,2	–	–
0,4	–	1,5	1,2	5,7	–	0,2
0,5	–	5,5	3,8	10,3	0,5	1,6
0,6	–	8,1	6,8	11,3	2,2	7,7
0,7	1,3	10,6	9,6	9,8	5,5	13,2
0,8	4,4	8,8	12,5	8,4	9,0	13,0
0,9	25,6	12,9	13,5	9,1	21,7	16,0
1,0	37,9	11,7	12,7	9,0	31,5	19,0
1,1	26,2	7,1	12,7	8,4	20,4	15,7
1,2	3,2	10,9	9,7	7,1	7,3	8,3
1,3	0,9	10,5	7,6	5,4	1,5	3,4
1,4	0,5	3,4	5,0	4,4	0,4	1,5
1,5	–	3,1	2,9	3,5	–	0,3
1,6	–	2,3	1,1	2,8	–	0,1
1,7	–	1,6	0,5	2,1	–	–
1,8	–	1,2	0,2	1,3	–	–
1,9	–	0,7	0,2	0,6	–	–
2,0	–	0,1	–	0,3	–	–
2,1	–	0,2	–	0,2	–	–
2,2	–	0,1	–	0,1	–	–
Ранг среднего дерева	50,2	53,2	53,7	59,3	54,6	61,2

Слабая изменчивость возраста, нормальный характер распределения деревьев по возрасту, концентрация большинства деревьев около среднего дерева в рамках 1,0...1,5 классов возраста – вот те признаки, согласно которым древостои пробных площадей 5–7, 9–11 можно отнести по типу возрастной структуры к условно-одновозрастным. Эти древостои в строении по диаметру имеют нормальные кривые распределения, изменчивость диаметров средняя и колеблется от 25 до 31 %.

Таким образом, условно-одновозрастные заболоченные сосняки имеют строение, свойственное элементу леса, и близки по строению к суходольным соснякам.

Разновозрастные заболоченные сосняки формируются при очень сильно растянутом во времени заселении сосной открытых пространств – болот, участков после пожаров, многократно проходивших по одной и той же площади. Изменчивость возраста деревьев сосны в этих древостоях колеблется от 22 до 43 % (в среднем 34,8 %). Варьирование возраста в разновозрастных сосняках в 3–4, диаметра – в 1,5, высоты в 1,5–2 раза выше, чем в условно-одновозрастных заболоченных сосняках (см. табл. 2). Основное отклонение по возрасту 40...50 лет, т. е. 68 % деревьев в древостоях имеют амплитуду 80...100 лет. Графически распределение деревьев по возрасту, как правило, имеет двухвершинные кривые, что соответствует наличию двух поколений. Характерной особенностью кривых распределения по возрасту, диаметру и высоте в разновозрастных заболоченных сосняках являются более широкая амплитуда ступеней и меньшая заселенность отдельных ступеней, а также наличие 2-3 максимумов, что свидетельствует о наличии в древостое разных возрастных поколений, причиной появления которых служат, как правило, лесные пожары. Все вышеперечисленное относится к древостоям пробных площадей № 1–4, 8, 12. Распределение стволов сосны по диаметру в разновозрастных древостоях характеризуется кривыми, имеющими сильную асимметрию. Правая ветвь сильно растянута, что является следствием смещения старовозрастных и более молодых деревьев. Эту особенность строения необходимо учитывать при глазомерной таксации среднего возраста с точностью 10 %: нужно определить возрастным буравом возраст у 1...3 деревьев в разновозрастных заболоченных сосняках, в разновозрастных древостоях для определения среднего возраста с той же 10 %-й точностью нужно измерить возраст уже у 12...15 деревьев. Во избежание ошибок возраст следует определять у деревьев различной ступени толщины, учитывая, что между толщиной деревьев и возрастом существует связь, которую можно охарактеризовать как значительную или высокую. Распределение деревьев сосны в заболоченных разновозрастных древостоях по высоте характеризуется одновершинными кривыми с размахом естественных ступеней от 0,4 до 1,5...1,6. Изменчивость высот в этих сосняках варьирует от 18,0 до 29,1 % (в среднем 20,4 %), что значительно шире, чем в одновозрастных. Таким образом, древостои перечисленных пробных площадей с учетом особенностей их возрастного и таксационного строения следует отнести к разновозрастным.

Тип возрастной структуры оказывает влияние на параметры таксационного строения древостоев: изменчивость диаметров и высот, косость и крутость кривых распределения. Корреляционный анализ парных связей показал, что между изменчивостью возраста и изменчивостью диаметра, высоты, а также между изменчивостью диаметра и изменчивостью высоты существуют достаточно устойчивые зависимости (табл. 4).

Таблица 4

Теснота связи между коэффициентами изменчивости возраста, диаметра и высоты в заболоченных сосняках

Признаки	$r \pm m_r$	$\eta \pm m_\eta$	$\xi : m_\xi$
$C_A - C_D$	$0,916 \pm 0,046$	$0,990 \pm 0,006$	0,13
$C_A - C_H$	$0,735 \pm 0,133$	$0,802 \pm 0,103$	1,1
$C_D - C_H$	$0,669 \pm 0,159$	$0,818 \pm 0,096$	1,6

Примечание: $r \pm m_r$ – коэффициент корреляции; $\eta \pm m_\eta$ – показатель силы влияния типа возрастной структуры с основной ошибкой; $\xi : m_\xi$ – корреляционное отношение.

Уравнения связи между коэффициентами изменчивости указанных признаков имеют следующий вид:

$$\begin{aligned}
 C_D &= 23,639 + 0,499 C_A; & m_{C_D} &= 3,412; \\
 C_H &= 12,458 + 0,276 C_A; & m_{C_H} &= 3,709; \\
 C_H &= -45,747 + 3,171 C_D - 0,036 C_D^2; & m_{C_H} &= 3,389.
 \end{aligned}$$

Если графически изобразить связь между C_A и C_D , C_A и C_H , то можно отметить, что при увеличении C_A до 12 % изменчивость диаметров не превышает 32 %, максимальная изменчивость высот находится на уровне 18 %. На рисунке *a* линия, параллельная оси абсцисс на уровне $C_D = 32$ %, и линия, параллельная оси ординат на уровне $C_A = 12$ %, на рисунке *б* линия, параллельная оси абсцисс на уровне $C_H = 18$ %, и линия, параллельная оси ординат, также $C_A = 12$ % служат границей условно одновозрастных и разновозрастных заболоченных древостоев. При этом следует отметить, что в интервале коэффициента изменчивости возраста от 12 до 22 % не встретилось ни одного древостоя, которые могли бы теоретически отнесены к категории условно-разновозрастные.

По экспериментальным материалам был проведен дисперсионный анализ типов возрастной структуры по алгоритму однофакторных равномерных комплексов. За варианты факторов был принят тип возрастной структуры: условно-одновозрастные и разновозрастные древостои. Результативный признак – коэффициент варьирования диаметров деревьев [3] (табл. 5).

Зависимость варьирования диаметров стволов (*a*) и высот деревьев (*б*) от возрастной изменчивости

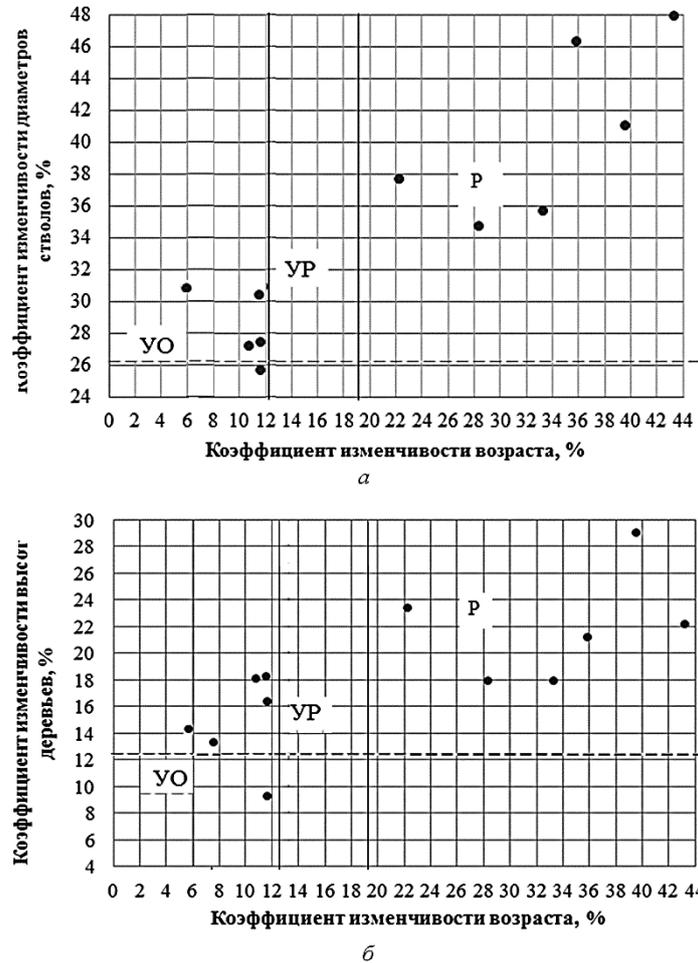


Таблица 5

Результаты дисперсионного анализа типов возрастной структуры заболоченных сосняков

Источник дисперсии	Сумма квадратов отклонений V	Число степеней свободы v	Дисперсия D ²	F _{факт}	F _{ст}	
					5 %	1 %
Факториальный (межгрупповой)	452,6	1	452,6	26,1	5,0	10,0
Случайный (внутригрупповой)	173,2	10	17,3	—	—	—
Общий	625,8	11	—	—	—	—

Показатель силы влияния типа возрастной структуры с основной ошибкой, $\eta^2 \pm m_{\eta}^2 = 0,723 \pm 0,0276$; допускаемая ошибка табличного значения критерия F_{st} при 5 %-м уровне значимости, $\Delta_{0,5} = 5,0 \cdot 0,0276 = 0,138$; доверительные границы силы влияния типа возрастной структуры, $\eta^2 \pm \Delta_{0,5} = 0,723 \pm 0,138$.

Дисперсионный анализ показал, что влияние рассматриваемого фактора (тип возрастной структуры) достоверно на всех уровнях значимости ($F_{факт} > F_{st}$). Влияние типа возрастной структуры на изменчивость диаметров деревьев в древостое может составить от 58,5 и до 86,2 % от общего влияния всей суммы факторов. На случайные (неорганизованные факторы) может приходиться 23,8...41,5 %. Следовательно, необходимость и целесообразность классификации заболоченных сосновых древостоев на условно-однообразные и разновозрастные подтверждается дисперсионным анализом.

Проведенный анализ возрастной структуры заболоченных сосняков не выявил наличия в них относительно разновозрастных древостоев. Таким образом, возможность формирования заболоченных сосняков данной возрастной структуры очень мала.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Верхунов П.М.* Закономерности строения разновозрастных сосняков / АН СССР, Сиб. отд-ние, Ин-т леса и древесины им. В.Н. Сукачева. Новосибирск: Наука, Сиб. отд-ние, 1976. 255 с.
2. *Виликайнен М.И., Зябченко С.С., Иванчиков А.А.* Сосновые леса Карелии и повышение их продуктивности. Петрозаводск: Кар. фил. АН СССР, 1974. 256 с.
3. *Гусев И.И.* Продуктивность ельников Севера / Под ред. проф. А.А. Корчагина. Л.: Изд-во ЛГУ, 1978. 232 с.
4. *Комин Г.Е.* К вопросу о типах возрастной структуры насаждений // Лесн. журн. 1963. № 3. С. 37–42. (Изв. высш. учеб. заведений).
5. *Комин Г.Е.* Некоторые особенности строения разновозрастных древостоев заболоченных сосняков // Разновозрастные леса Сибири, Дальнего Востока и Урала и ведение хозяйства в них. Красноярск, 1967. С. 19–26.
6. *Левин В.И.* Сосняки Европейского Севера: строение, рост и таксация древостоев. М.: Лесн. пром-сть, 1966. 158 с.
7. Леса СССР: В 5-ти т. М.: Наука, 1966. Т. 1: Леса северной и средней тайги европейской части СССР. 458 с.
8. *Мелехов И.С.* Рубки и возобновление леса на Севере. Архангельск: Арх. кн. изд-во, 1960. 201 с.
9. *Семечкин И.В.* Принципы выделения и таксации разновозрастных древостоев // Разновозрастные леса Сибири, Дальнего Востока и Урала и ведение хозяйства в них. Красноярск, 1967. С. 5–13.
10. *Шанин С.С., Фалалеев Э.Н.* Закономерности возрастного строения хвойных лесов Сибири // Лесн. хоз-во. 1960. № 10. С. 20–21.
11. *Шанин С.С.* Строение сосновых и лиственничных древостоев Сибири. М.: Лесн. пром-сть, 1965. 106 с.

Поступила 30.04.14

UDC 630*2+630*5

Types of Age Structure of Waterlogged Pine Forests in the Arkhangelsk Region

A.A. Bakhtin, Candidate of Agriculture, Associate Professor

N.N. Sokolov, Candidate of Agriculture, Associate Professor

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

Native pine forests in the European North in the present time have been preserved in extremely humid soils of region of the total state wood fund and occupy 12.4 million hectares, or 49.5% of the total area of the state forest fund, the forest area with excessive moistening is 7.5 million hectares. For pine is characteristic that they are waterlogged average in the region by 33.5 %. The analysis of the age structure and forest structure waterlogged pine forests is necessary because of the wide representation of them in the state forest fund of the European North and the lack of recommendations on the organization of management in them. Wetlands plantings represented 80% mature and overmature stands. Therefore, first of all it is necessary to examine the forest structure for the wetland pines in this age group. To study the age structure of mature and over marshy pines were cut entirely from 100 to 200 trees on 12 sample plots. By each tree were made measurements of age, height, diameter at a height, marked kinds of defects, their distribution on the trunk, the length of the live crown, the presence of boughs of different thicknesses, cleanability of stem from boughs and etc. Such detailed characteristic of trees allowed to study the structure of age, diameter, height, shape and volume of the trunk, as well as marketability. In a basis of type classification of age structure of the wetland pine we have put variability of age, diameter and height of trees, and the nature of the distribution of trees on these grounds. Studying wetland pine forests have a coefficient of variation of age from 5.8% to 43.2 %, volatility of diameter from 25.8% to 48%, and the variation of the height from 9.3% to 29.1%. Analysis of the obtained results have allowed to draw a conclusion that waterlogged pine forests conventionally were represented even-aged and uneven-aged stands with expressed generations and without such a clear expression. For options factors was adopted the type of age structure: conditionally-even-aged and uneven-aged stands. Effective sign is the coefficient of variation of trees diameter. Analysis of variance showed that the influence of this factor (the type of age structure) reliably at all levels of significance. Influence of the type of age structure on variability of trees diameters in the stand can be from 58.5% to 86.2% of the total impact of all amounts factors. Therefore, the necessity and feasibility of classification of waterlogged pine stands on conditionally even-aged and uneven-aged is confirmed by dispersion analysis. The analysis of age structure of waterlogged pine forests have not revealed the presence of these relatively uneven-aged stands. Thus, the possibility of the formation of waterlogged forests of this age structure is probably very small.

Keywords: Pine stands, bogginess, structure, age, diameter, height, variability, regularity, dispersion.

REFERENCES

1. Verkhunov P.M. *Zakonomernosti stroeniya raznovozrastnykh sosnyakov* [Regularities of Structure of Uneven-Aged Pine Stands]. Novosibirsk, 1976. 255 p.
2. Vilikaynen M.I., Zyabchenko S.S., Ivanchikov A A. *Sosnovye lesa Karelii i povyshenie ikh produktivnosti* [Pine Stands of Karelia and Increasing of Their Productivity]. Petrozavodsk, 1974. 256 p.

3. Gusev I.I. *Produktivnost' el'nikov Severa* [The Productivity of Spruce Forests of the North]. Leningrad, 1978. 232 p.

4. Komin G.E. K voprosu o tipakh vozrastnoy struktury nasazhdeniy [To the Question About the Types of Stands Age Structure]. *Lesnoy zhurnal*, 1963, no. 3, pp. 37–42.

5. Komin G.E. Nekotorye osobennosti stroeniya raznovozrastnykh drevostoev zabolochennykh sosnyakov [Some Features of the Structure of Uneven-Aged Stands of Waterlogged Pine Forests]. *Raznovozrastnye lesa Sibiri, Dal'nego Vostoka i Urala i vedenie khozyaystva v nikh* [Uneven-Aged Stands of Siberia, The Far East and Ural and Their Management]. Krasnoyarsk, 1967, pp. 19–26.

6. Levin V.I. *Sosnyaki Evropeyskogo Severa: stroenie, rost i taksatsiya drevostoev* [Pine Stands of European North: the Structure, Growth and Valuation of Forest Stands]. Moscow, 1966. 158 p.

7. Lesa SSSR [Forests of USSR]. *Lesa severnoy i sredney taygi Evropeyskoy chasti SSSR* [Forests of North and Middle Taiga on the European Part of USSR]. Moscow, 1966, vol. 1. 458 p.

8. Melekhov I.S. *Rubki i vozobnovlenie lesa na Severe* [Forest Cutting and Reforestation in the North]. Arkhangelsk, 1960. 201 p.

9. Semechkin I.V. Printsipy vydeleniya i taksatsii raznovozrastnykh drevostoev [The principles of Selection and Evaluation of Uneven-Aged Stands]. *Raznovozrastnye lesa Sibiri, Dal'nego Vostoka i Urala i vedenie khozyaystva v nikh* [Uneven-Aged Stands of Siberia, the Far East and Ural and Their Management]. Krasnoyarsk, 1967, pp. 5–13.

10. Shanin S.S., Falaleev E.N. Zakonomernosti vozrastnogo stroeniya khvoynykh lesov Sibiri [Regularities of the Age Structure of the Coniferous Forests of Siberia]. *Lesnoe khozyaystvo*, 1960, no. 10, pp. 20–21.

11. Shanin S.S. *Stroenie sosnovykh i listvennichnykh drevostoev Sibiri* [The structure of Pine and Larch Stands of Siberia]. Moscow, 1965. 106 p.

Received on April 30, 2014



УДК 634.0.3

ОПЕРАТИВНОЕ ЛОГИСТИЧЕСКОЕ УПРАВЛЕНИЕ ТРАНСПОРТНЫМ ПРОЦЕССОМ ЛЕСОЗАГОТОВИТЕЛЬНОГО ПРЕДПРИЯТИЯ

© *А.П. Соколов, канд. техн. наук, доц.*

Петрозаводский государственный университет, просп. Ленина, д. 33, г. Петрозаводск, Республика Карелия, Россия, 185910; e-mail: a_sokolov@psu.karelia.ru

Большое значение в оперативном управлении транспортным процессом лесозаготовительного предприятия отводится определению оптимальных маршрутов перевозки. Наиболее сложной для решения задач маршрутизации является схема «многие ко многим», которая на сегодняшний день чаще всего используется при организации транспортного процесса лесозаготовительного предприятия. В статье приводится обзор подходов, методов и инструментов, предназначенных для решения задачи синтеза транспортных планов (маршрутов доставки) на перевозке продукции лесозаготовительного предприятия. Перспективным направлением решения этой задачи следует признать гибридный подход, основанный на использовании комбинации методов линейного программирования и поиска с запретами. Этот подход позволяет в полном объеме решать задачу оперативного планирования транспортного процесса лесозаготовительного предприятия с учетом всех основных особенностей такого процесса. К отличительным характеристикам этого подхода следует в первую очередь отнести его сложность, которая, несомненно, вызвана сложностью самой задачи. Качество получаемого окончательного решения здесь сильно зависит от возможностей взаимной увязки результатов решения отдельных оптимизационных задач, решаемых на отдельных этапах этой методики. Главным недостатком подхода следует считать то, что цели двух основных решаемых задач оптимизации отличаются.

Ключевые слова: лесозаготовительное производство, логистика, автомобильный транспорт, маршрутизация транспортных средств, математическое программирование.

Введение

Ключевое значение в оперативном управлении транспортным процессом лесозаготовительного предприятия (ЛЗП) имеет задача определения оптимальных маршрутов перевозки. Именно в случае ЛЗП она является особо сложной по сравнению с другими отраслями производства.

Существует три схемы организации перевозочного процесса «один к одному», «один ко многим» и «многие ко многим» [6–9].

Организация перевозок по схеме «один к одному» (маятниковые маршруты) наиболее проста с точки зрения планирования, но на ЛЗП она практически не применяется.

Схема «один ко многим» применяется на ЛЗП при использовании одного большого центрального нижнего склада или терминала, обычно в случае применения хлыстовой технологии заготовки древесины или технологии заготовки целыми деревьями [2, 11, 17–19, 28].

Наиболее сложной для решения задач маршрутизации является схема «многие ко многим», и именно она на сегодняшний день чаще всего используется при организации транспортного процесса ЛЗП. Эта схема имеет место во всех вариантах организации движения основного транспортного потока, в которых конечная продукция формируется или «у пня» или на погрузочной площадке (верхнем складе). В основном это варианты с использованием сортиментной технологии заготовки древесины. В этих вариантах готовая продукция с погрузочной площадки (верхнего склада) доставляется напрямую потребителям.

Постановка задачи

Полнее всего постановка задачи определения оптимальных маршрутов в ЛЗП изложена в работах [15, 25]. В лесосырьевой базе имеется ряд делянок, на которых ведется заготовка древесины. В процессе заготовки объем различных видов продукции на погрузочных площадках этих делянок постоянно изменяется. Причем от делянки к делянке объем и его распределение по отдельным видам продукции отличаются. По завершении работы на одной делянке комплексы лесозаготовительных машин переходят на другую, еще не разработанную делянку в соответствии с известным заранее планом заготовок. Для каждого потребителя (склада, терминала) известна месячная или недельная потребность в каждой группе видов продукции (пиловочник, балансы, дрова). В каждую такую группу может входить несколько видов продукции. Для каждой делянки и каждого потребителя могут быть заданы промежутки времени, в течение которых разрешается осуществление погрузки (разгрузки). Объемы потребления для каждого потребителя обычно задаются для недельных промежутков, маршруты движения транспортных средств должны определяться на каждый рабочий день. Маршрут может быть сборным, когда одна часть продукции забирается на одной делянке, другая – на другой, и так до достижения полной загрузки транспортного средства. Имеется заданное число транспортных средств различного назначения с разной грузоподъемностью (грузовместимостью). Каждое транспортное средство привязано к определенной исходной точке (гаражу, депо, складу) и имеет свой распорядок работы. Водители транспортных средств могут сменять друг друга в течение дня в определенных заданных точках. Имеется детальная информация о дорожной сети (дистанции от точки до точки, средние скорости движения по каждому участку и т. п.). Различные постановки задачи определения оптимальных маршру-

тов по дорожной сети описаны в работах [1, 3, 10, 13, 16, 20, 21, 30]. В подавляющем большинстве случаев они сводятся к тому, чтобы определить маршруты движения для каждого транспортного средства на каждую рабочую смену с указанием видов перевозимой продукции таким образом, чтобы общие затраты, связанные с перевозочным процессом были наименьшими.

Методы

Общая постановка классической задачи маршрутизации транспортных средств (VRP – Vehicle Routing Problem) и классификация методов ее решения приведены в работах [23, 24]. Методы решения этой задачи можно разделить на точные, эвристические и метаэвристические [24].

Точные методы основаны на полном переборе всех возможных решений и являются неэффективными при решении задач большой размерности из-за значительных временных затрат [5]. Эвристические и метаэвристические методы являются приближительными, но позволяют найти приемлемое решение задач большой размерности за приемлемое время.

Эвристические методы подразделяются на методы конструирования маршрута (например, метод Кларка–Райта); двухфазные методы, когда клиенты сначала группируются, а потом внутри каждой группы строится маршрут методом конструирования; методы улучшения маршрута, основанные на решении задачи коммивояжера в случае единственного маршрута или на принципах локального поиска в случае с несколькими маршрутами. Применение классических эвристических методов значительно сокращает время, необходимое на поиск решения, однако получаемая при этом погрешность в среднем оценивается в 3...7 % [24].

В последние годы для решения задачи VRP широко используют так называемые метаэвристические методы: метод имитации отжига [14], метод поиска с запретами [22, 24], метод муравьиной колонии [4], метод роя частиц [27], генетические и эволюционные алгоритмы [12, 13, 29]. Преимущество данных методов перед классическими эвристическими методами, основанными на методах локального поиска, заключается в том, что метаэвристические методы в ходе решения более тщательно исследуют пространство поиска, рассматривая даже локально ухудшающие и невозможные промежуточные решения. Хотя успех применения того или иного метода во многом связан с особенностями его реализации, необходимо отметить, что метод поиска с запретами явно превосходит конкурирующие подходы и чаще всего используется сейчас для решения данной задачи [23].

Несмотря на успехи в решении VRP, эта постановка в чистом виде не подходит для решения задачи организации перевозочного процесса ЛЗП. На самом деле она пригодна только для схемы «один ко многим» в случае использования развозочных (сборных или сборно-развозочных) маршрутов, но такая схема перевозок сегодня очень редко используется на ЛЗП.

Для решения задачи VRP в перевозочном процессе ЛЗП классическая задача должна быть существенно видоизменена и дополнена для учета ряда следующих особенностей.

1. Сборные маршруты используются редко. Часто используется схема «многие ко многим», что требует деления клиентов на две группы: делянки и потребители с запрещением перемещения транспортного средства между клиентами одной группы.

2. Заранее не известно место назначения каждой партии произведенной продукции (здесь под партией подразумевается количество продукции, соответствующее грузоподъемности одного применяемого транспортного средства), т. е. обычно есть выбор из альтернативных вариантов поставки, и он должен быть сделан оптимальным образом при формировании маршрута с учетом текущих потребностей клиентов.

3. Оптимальными могут быть ситуации, когда одно и то же транспортное средство посещает одну и ту же делянку или одного и того же клиента несколько раз в пределах сменного или дневного маршрута, а также ситуации, когда один и тот же клиент или одна и та же делянка посещается несколькими разными транспортными средствами в зависимости от имеющихся объемов на делянках или плановых объемов потребления.

4. Могут использоваться разные типы транспортных средств, отличающиеся грузоподъемностью.

5. Транспортные средства могут базироваться более чем в одном гараже (депо).

6. Могут существовать ограничения на допустимое время посещения конкретной делянки или потребителя.

7. В определенных случаях может потребоваться, чтобы транспортные средства в заданный момент посещали определенные точки для осуществления пересменки, заправки и т. п.

Например, в работе [26] подробно описывается методика определения маршрутов автомобильного транспорта на перевозке круглых лесоматериалов, базирующаяся на методе поиска с запретами.

Существенным недостатком этой методики является то, что для ее использования заранее должно быть известно место назначения для каждой партии готовой продукции, находящейся на погрузочных площадках в лесу. В ходе решения этой оптимизационной задачи алгоритм поиска с запретами перебирает различные комбинации груженых и холостых ездов так, чтобы обеспечить наилучшее использование каждого автомобиля внутри ограниченной по времени смены, т. е. выполнить как можно больше рейсов и сократить холостой пробег.

Описанный подход решает задачу оперативного планирования только наполовину. Результаты работы этого алгоритма во многом будут зависеть от того, как будут распределены партии продукции между потребителями.

Для выполнения оперативного планирования транспортного процесса ЛЗП в полном объеме авторы работы [25] предложили гибридный метод, заключающийся в двухэтапном решении этой задачи. Сначала с использованием методов линейного программирования определяются потребители для каждой партии продукции. При этом партия может быть и сборной, затем методом поиска с запретами определяются маршруты движения отдельных автомобилей. Опишем этот подход подробнее.

На рис. 1 представлен пример дневного маршрута автомобиля на транспортировке древесины в течение рабочего дня.

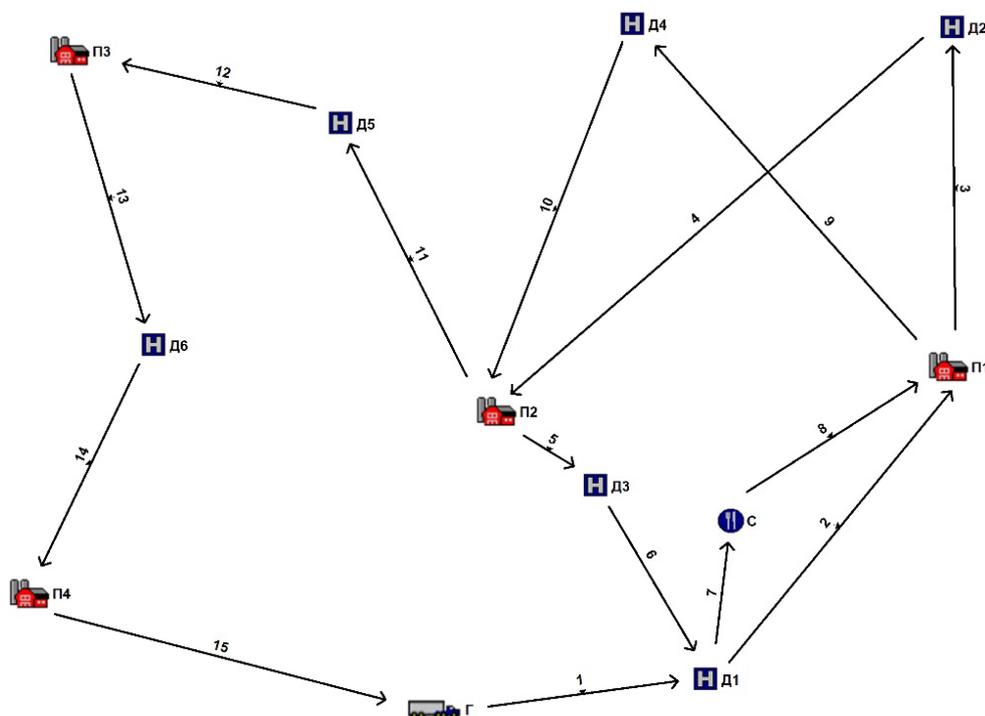


Рис. 1. Дневной маршрут автомобиля на транспортировке древесины (Г – гараж; Д1...Д6 – погрузочные площадки делянок; П1...П4 – потребители; С – место пересменки; цифры над стрелками – порядок движения автомобиля)

Следует обратить внимание на то, что данный маршрут является сборным. Автомобиль может набирать полный объем лесоматериалов на нескольких делянках перед доставкой их потребителю, посещать одну и ту же делянку несколько раз в день. Также в маршрут должна быть включена точка пересменки, где заменяется водитель. Такие маршруты часто применяют на практике, поэтому методика планирования должна обеспечить возможность их оптимального синтеза.

Решение задачи состоит из двух этапов [25].

1. Генерация ездов:

решение транспортной задачи линейного программирования;

формирование ездов на основе результатов решения транспортной задачи.

2. Составление полных маршрутов на основе сгенерированных ездов:

определение начального решения;

решение методом поиска с запретами;

коррекция списка ездов;

переход к второму шагу, если допустимое время решения не превышено.

Ход решения может быть проиллюстрирован на простом примере для случая с одним автомобилем (рис. 2).

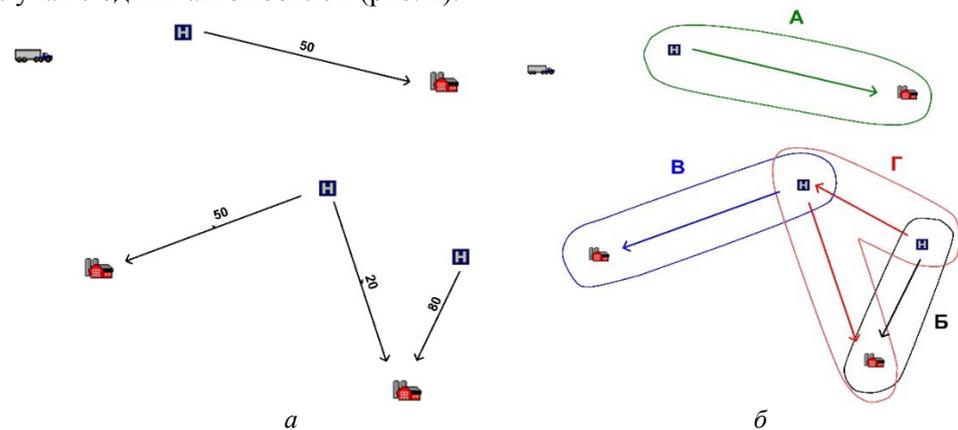


Рис. 2. Первый этап – генерация ездов (цифры над стрелками показывают объем лесоматериалов, транспортируемый с соответствующей делянки соответствующему потребителю; А ... Г – ездки)

В результате решения простой транспортной задачи весь объем лесоматериалов на делянках распределяется по потребителям. Результат этого распределения показан на рис. 2 а.

На втором шаге этапа 1 с учетом грузоподъемности используемых автомобилей формируются ездки, обеспечивающие наиболее полную загрузку машин. Результат этого процесса приведен на рис. 2 б. В нашем случае грузоподъемность автомобиля составляет 50 м^3 , поэтому ездка Г получается сборной.

На этапе 2 полученные ездки оптимальным образом соединяются друг с другом, в результате чего составляются маршруты автомобилей на смену, сутки или на несколько суток. При этом минимизируется общий пробег автомобилей при условии удовлетворения всех запросов потребителей. Полученный таким образом оптимальный порядок соединения ездов показан на рис. 3 а, соответствующий ему маршрут движения автомобиля от точки к точке – на рис. 3 б.

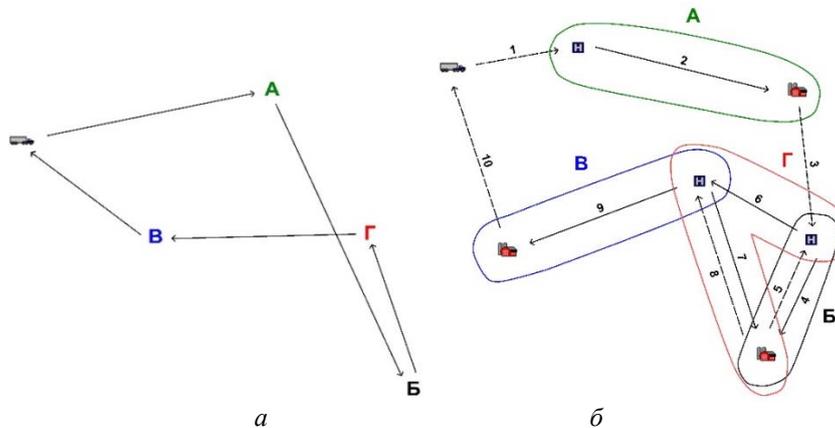


Рис. 3. Второй этап – составление маршрута (цифры над стрелками – порядок движения автомобиля; пунктирные линии соответствуют порожнему движению, сплошные – с грузом; А ... Г – ездки)

Этап генерации ездок. На этом этапе в ходе решения транспортной задачи определяются оптимальные с точки зрения сокращения общих транспортных издержек объемы перевозок продукции для каждой пары «точка погрузки–точка разгрузки». Далее приступают к генерированию ездок. Для этого выполняется два шага. На первом шаге фиксируются все ездки внутри полученного оптимального транспортного плана, обеспечивающие полную загрузку автомобилей на одной точке погрузки, т. е. несборные. Оставшийся объем перевозок должен быть реализован в ходе ездок, которые формируются на втором шаге.

Эти ездки генерируются следующим образом [25].

1. Определяется пара «точка погрузки–точка разгрузки» с наибольшим объемом перевозки, еще не включенная ни в одну из ездок.

2. Если объем остатков продукции на точке погрузки достаточен для полной загрузки автомобиля, осуществляется переход к шагу 5.

3. Определяется дополнительная точка погрузки с сортаментами того же типа, которая при добавлении в ездку обеспечит наименьшее увеличение расстояния транспортировки.

4. Если объем продукции на добавленной дополнительной точке погрузки не достаточен для обеспечения полной загрузки автомобиля, осуществляется переход к шагу 3.

5. Полученная ездка включается в список ездок.

6. Объемы остатков на точках погрузки уменьшаются в соответствии с планом вновь созданной ездки.

7. Если все объемы распределены по ездкам или все потребности удовлетворены, выполняется переход к шагу 9.

8. Переход к шагу 1.

9. Генерация ездок завершена.

При этом для обеспечения большей гибкости алгоритма и лучшего его соответствия реальной практике полной считается загрузка автомобиля от 85 до 100 %.

Иллюстрация второго шага процесса генерации ездки показана на рис. 4.

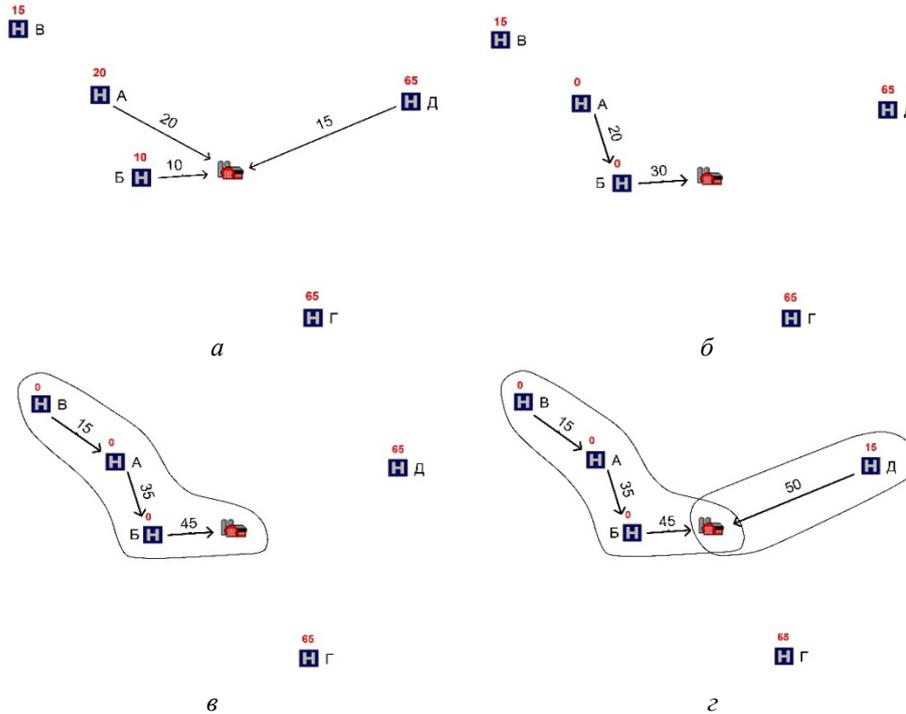


Рис. 4. Формирование ездки на втором шаге: *а* – определение пары «точка погрузки–точка разгрузки» с наибольшим объемом перевозки (точка погрузки А); *б* – добавление дополнительной точки погрузки Б (объем увеличивается до 30 м³); *в* – добавление еще одной точки погрузки В (не входящей в оптимальный транспортный план) для обеспечения более полной загрузки автомобиля, добавление новой ездки в список ездки; *г* – определение следующей пары «точка погрузки – точка разгрузки» с наибольшим объемом перевозки (точка погрузки Д) и добавление этой новой ездки в список ездки, так как объем в точке Д – достаточен (цифры над стрелками – объем перевозимой древесины)

Для осуществления поставленной задачи необходимо для каждой ездки определить допустимый промежуток времени, в который она может быть выполнена, а также время ее выполнения.

Для обеспечения работы алгоритма поиска с запретами, который комбинирует ездки для получения эффективного маршрута автомобиля, необходимо иметь матрицу расстояний, измеренных по имеющейся дорожной сети от последней посещаемой точки каждой сгенерированной ездки до начальных точек всех остальных ездки.

Точки пересменки и их моменты задаются включением в список ездов дополнительных специальных элементов. Точка пересменки – это ездка, в которой начальная и конечная (географические) точки совпадают, допустимый промежуток времени выполнения этой ездки определяет заданный промежуток времени пересменки, а время выполнения ездки имеет смысл времени, необходимого на осуществление самой пересменки.

Этап составления маршрутов состоит из четырех шагов: на первом шаге определяется начальное решение, на втором выполняется решение задачи с помощью алгоритма поиска с запретами, описанного в работе [24], на третьем производится ревизия списка ездов, на четвертом снова запускается алгоритм поиска с запретами для получения более точного решения.

Алгоритм поиска с запретами, предложенный в работе [22], позволяет решать задачу маршрутизации транспортных средств с учетом ограничений на допустимые периоды погрузки и разгрузки (Vehicle Routing Problem with Time Windows – VRPTW) для каждого из m имеющихся автомобилей. Маршруты определяются на графе

$$G = (V, A),$$

где $V = v_0, v_1, \dots, v_n$ – множество узлов;

$$A = \{(v_i, v_j) : v_i, v_j \in V, i \neq j\} \text{ – множество ребер.}$$

Узел v_0 представляет собой гараж, в котором базируются автомобили. Каждому узлу графа из множества узлов V ставятся в соответствие неотрицательные объем транспортировки q_i ($q_0 = 0$), время выполнения d_i ($d_0 = 0$) и допустимый период выполнения $[e_i, l_i]$ (где e_i и l_i – неотрицательные целые числа). Каждому ребру (v_i, v_j) ставятся в соответствие неотрицательные затраты c_{ij} . Грузоподъемность и доступное время использования автомобиля k обозначаются соответственно Q_k и T_k . Решение задачи VRPTW заключается в синтезе m маршрутов на графе G так, чтобы каждый маршрут начинался и заканчивался в гараже; каждый клиент принадлежал только к одному маршруту; общая загрузка автомобиля и продолжительность выполнения транспортировки по маршруту k не превышали Q_k и T_k ; погрузка или разгрузка в узле i начиналась внутри интервала времени $[e_i, l_i]$ и каждый автомобиль совершал свой маршрут внутри интервала времени $[e_0, l_0]$; общие затраты на осуществление транспортного процесса были бы наименьшими.

В общем случае применения этого алгоритма каждому узлу графа соответствует определенный клиент. Клиенты объезжаются автомобилем в ходе сборного маршрута для погрузки или разгрузки. В нашем случае каждому узлу ставится в соответствие определенная ездка из списка, сгенерированного на первом этапе решения [25].

В рассматриваемом случае нет необходимости обязательно включать в создаваемые маршруты все сгенерированные на первом этапе ездки, нужно только обеспечить удовлетворение всех имеющихся запросов потребителей, поэтому стандартный алгоритм решения должен быть скорректирован. Для этого в модель вводится так называемый виртуальный автомобиль. Ездки, осуществляемые виртуальным автомобилем, выполняются мгновенно, затраты, связанные с ними, равны нулю и на них не распространяются временные ограничения на посещение точек погрузки и разгрузки. Для того, чтобы обеспечить выполнение всех запросов потребителей вводятся штрафы за каждый кубометр продукции, недопоставленный до нижней границы потребности или поставленный сверх верхней границы.

Для выполнения поиска оптимального решения сначала необходимо сгенерировать начальное решение. Для этого инициализируется m пустых маршрутов, в которых время простоя автомобилей равняется разности времени окончания и начала работы автомобиля, осуществляющего этот маршрут в соответствии с графиком работы. Начальное время простоя виртуального автомобиля принимается равным нулю. Все ездки из списка, сгенерированного на первом этапе, сортируются в зависимости от того, как много разных автомобилей могут их осуществить. При этом ездки с меньшим числом потенциальных автомобилей помещаются в верхнюю часть списка, ездки с большим числом автомобилей – в нижнюю. Определяется величина $c(i, k)$, равная минимальным затратам на осуществление ездки i автомобилем k . Если автомобиль k не может выполнить временные ограничения, связанные с ездкой i , соответствующие затраты принимаются равными $2M$:

$$c(i, k) = 2M,$$

где M – величина, превышающая наибольшие возможные затраты на осуществление проектируемого маршрута.

Если ездка i осуществляется виртуальным автомобилем k_v и потребности, в удовлетворении которых участвует эта ездка, еще не удовлетворены, соответствующие затраты принимаются равными M :

$$c(i, k_v) = M,$$

в противном случае $c(i, k_v) = 0$.

Для каждой ездки i :

определяются затраты $c_i(i) = \min \{c(i, k) : k \in K\}$;

маршруты сортируются по продолжительности простоя соответствующего автомобиля, причем маршруты с наибольшим простоем помещаются в верхнюю часть списка;

ездка i добавляется к первому маршруту из списка, для которого $c(i, k) \leq 1,5c_i(i)$;

простой автомобиля в маршруте, к которому была добавлена ездка i , сокращается на величину, соответствующую времени выполнения ездки i .

После определения начального решения запускается сам алгоритм поиска с запретами. Данный метод основан на перестановке ездов между маршрутами. Перестановка может осуществляться как перемещением ездов с одного маршрута на другой, так и взаимным обменом ездов между двумя маршрутами. Метод запретов позволяет продолжать поиск после нахождения локального оптимума, тем самым расширяется пространство поиска даже в направлении анализа промежуточных недопустимых решений, в надежде найти новое допустимое решение, более близкое к оптимальному.

Решение, полученное после первого запуска алгоритма поиска с запретами, не является окончательным. Поиск повторяется после корректировки списка ездов. Это необходимо, так как в рассматриваемом подходе нет гарантии, что сгенерированное на первом этапе метода множество ездов является оптимальным. Нельзя утверждать, что именно эти ездки путем комбинирования друг с другом заведомо образуют маршруты, близкие к наилучшим. Поэтому для улучшения качества окончательного решения необходимо скорректировать состав ездов с учетом полученных в первом приближении маршрутов. Ездки, которые не были использованы в маршрутах, удаляются из списка ездов. Вместо них генерируются новые ездки, которые могут потенциально улучшить качество решения. Это возможно, так как после выполнения первого этапа имеется некоторый избыток ездов (около 5 %), которые могут быть переформированы. Новые ездки генерируются в целом так же, как было описано выше, но с учетом двух дополнительных правил.

Первое правило требует (при наличии такой возможности) создания для каждой точки разгрузки как минимум двух ездов сверх необходимых для достижения нижней границы запросов потребителя, привязанного к этой точке разгрузки. Это обеспечивает более широкий выбор вариантов ездов при формировании маршрутов.

Второе правило (рис. 5) используется для замены в списке ездов одних ездов на другие, с учетом полученных в первом приближении маршрутов.

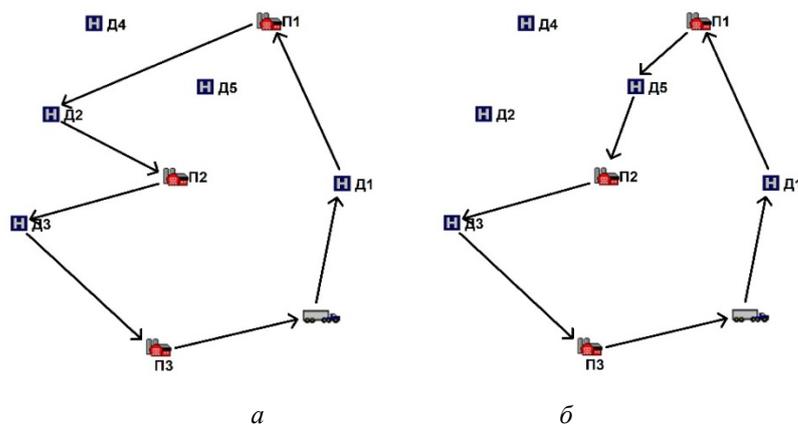


Рис. 5. Второе правило корректировки списка ездов

На рис. 5 а показан полученный в первом приближении маршрут автомобиля. В него включены три ездки: Д1-П1, Д2-П2 и Д3-П3. Точки погрузки Д4 и Д5 не были включены в транспортный план по результатам решения транспортной задачи, но в данном случае они могут быть использованы для улучшения этого маршрута. Если сгенерировать новую ездку Д5-П2 и заменить ею в маршруте старую ездку Д2-П2, можно значительно сократить пробег автомобиля (рис. 5 б). Как раз это и выполняется в процессе корректировки списка ездов.

После корректировки алгоритм поиска с запретами запускается еще раз с получением более эффективного решения. Далее опять можно выполнить корректировку и т. д. Число корректировок и новых решений зависит от заданного пользователем допустимого времени решения. Чем больше итераций будет выполнено, тем точнее будет общее решение задачи.

Выводы

Рассмотренный подход позволяет в полном объеме решать задачу оперативного планирования транспортного процесса ЛЗП с учетом всех его основных особенностей. К основным отличительным характеристикам этого подхода следует отнести его сложность, которая, несомненно, вызвана сложностью самой задачи. Качество получаемого окончательного решения здесь сильно зависит от возможностей взаимной увязки результатов решения оптимизационных задач, решаемых на отдельных этапах этой методики. Главным недостатком подхода следует считать то, что цели двух основных решаемых задач оптимизации отличаются. При решении транспортной задачи, выполняемой на первом этапе, принимается допущение, что используются только маятниковые маршруты перевозки, на втором этапе на основе сгенерированных с учетом этого допущения ездов формируются кольцевые маршруты по схеме «многие ко многим». Поэтому нельзя утверждать, что состав ездов, полученных на первом этапе, обеспечит наилучшее решение на втором. Для снижения влияния этого недостатка используется процедура коррекции ездов с последующим повторным решением поисковой задачи. Однако качественное решение может быть получено только после многократных повторений процедур коррекции и поиска, что при большой размерности задачи значительно увеличивает время решения.

Кроме того, к недостаткам подхода следует отнести предположение, что все используемые автомобили имеют одинаковую грузоподъемность (грузовместимость), а также то, что грузовая работа распределяется по всем имеющимся автомобилям равномерно, что в случае локального снижения запросов потребителей может привести к неэффективному использованию парка автомобилей (методика не позволяет управлять числом задействованных автомобилей в зависимости от реальной потребности в конкретном рассматриваемом периоде времени).

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Валуев А.М.* Задача вычисления субоптимальных путей на сети и возможности ее применения для управления перевозками // Горный информационно-аналит. бюл. 2010. Т. 5, № 12. С. 44–51.
2. *Воронов Р.В., Косицын Д.П., Шабаев А.И., Воронова А.М., Щеголева Л.В.* Математическая модель задачи планирования многопередельного производства в лесопромышленном комплексе // Ученые записки ПетрГУ. Сер. Ест. и тех. науки. 2013. № 4 (133). С. 101–104.
3. *Герасимов Ю.Ю., Сюнёв В.С., Соколов А.П.* Алгоритмы определения оптимальных маршрутов на графах для решения задач управления системами транспортировки древесины для лесопромышленного комплекса и биоэнергетики // Тр. лесоинж. фак. ПетрГУ. 2010. Вып. 8. С. 30–33.
4. *Дли М.И., Карпова Т.П.* Критерии оптимизации путей доставки продукции при использовании нечетких моделей муравьиных колоний // Вестн. РАЕН. 2012. № 1. С. 55–56.
5. *Домке Э.Р., Жесткова С.А., Акимова В.Ю.* Особенности решения задачи маршрутизации транспорта методом ветвей и границ // Вестн. МАДИ. 2012. № 2. С. 76–79.
6. *Карпов А.С.* Организация автомобильных перевозок: лекции. Воронеж: ВГЛТД, 2002. 72 с.
7. *Лукинский В.С., Бережной В.И., Бережная Е.В., Цвиринько И.А.* Логистика автомобильного транспорта: концепция, методы, модели. М: Финансы и статистика, 2002. – 278 с.
8. *Лукинский В.С., Бережной В.И., Бережная Е.В., Зайцев Е.И., Цвиринько И.А.* Логистика автомобильного транспорта: учеб. пособие по спец. Экономика и управление на предприятии транспорта. М.: Финансы и статистика, 2004. 367 с.
9. *Миротин Л.Б.* Логистика: управление в грузовых транспортно-логистических системах : учеб. пособие по спец. Организация перевозок и управление на транспорте / Под ред. Л.Б. Миротина. М.: Юристъ, 2002. 414 с.
10. *Нахаев З.Н., Сушков А.С.* Выбор кратчайших сетевых расстояний перевозок лесоматериалов по лесовозным автодорогам // Вестн. МГУЛ – Лесн. вестн. 2008. № 4. С. 69–70.
11. *Пасевич В.* Анализ процессов мультимодальных грузовых перевозок на базе логико-логистической матрицы и задачи формирования АСУ мультимодальными транспортными системами // Журн. Ун-та водных коммуникаций. 2011. № 2. С. 108–112.
12. *Пушкарева Г.В.* Применение гибридного генетического алгоритма для оптимизации маршрутов // Автометрия. 2006. Т. 42, № 2. С. 68–79.
13. *Раков В.С.* Поиск на графах, кратчайшие пути // Отраслевые аспекты техн. наук. 2011. № 7. С. 12–14.
14. *Санакүлова Л.А., Загороднев Д.И., Салахеева А.И.* Исследование методов решения транспортных задач при управлении материальными потоками предприятия // Социально-экон. и техн. системы. 2009. № 4. С. 31–58.
15. *Соколов А.П., Герасимов Ю.Ю.* Геоинформационная система для решения оптимизационной задачи транспортной логистики круглых лесоматериалов // Лесн. журн. 2009. № 3. С. 78–85. (Изв. высш. учеб. заведений).

16. Суриков В.Т. Экономико-математическая модель оптимальных схем лесо-транспорта // Лесн. журн. 1988. № 3. С. 27–31. (Изв. высш. учеб. заведений).
17. Сушков С.И. К вопросу совершенствования структуры региональной транспортной системы лесного комплекса // Моделирование систем и процессов. 2010. № 3–4. С. 38–42.
18. Сушков С.И. Совершенствование многоуровневой системы транспортных связей лесных предприятий // Моделирование систем и процессов. 2012. № 2. С. 75–78.
19. Титов Г.Б. Железнодорожные перевозки леса // Российское предпринимательство. 2010. № 2. С. 139–145.
20. Шегельман И.Р., Скрыпник В.И., Кузнецов А.В., Пладов А.В. Экспериментально-расчетные исследования движения лесовозных автопоездов // Лесн. журн. 2008. № 4. С. 39–44. (Изв. высш. учеб. заведений).
21. Якимович С.Б., Тетерина М.А. Рейсовая нагрузка лесозаготовительных машин // Вестн. МГУЛ – Лесн. вестн. 2006. № 6. С. 92–97.
22. Archetti C, Speranza M, Hertz A. A tabu search algorithm for the split delivery vehicle routing problem // Transportation Science. 2006. N 40(1). P. 64–73.
23. Cordeau J-F, Gendreau M, Laporte G, Potvin J-Y, Semet F. A guide to vehicle routing heuristics // Journal of the Operational Research Society. 2002. N 53. P. 512–522.
24. Cordeau J-F, Laporte G, Mercier A. A unified tabu search heuristic for vehicle routing problems with time windows // Journal of the Operational Research Society. 2001. N 52. P. 928–936.
25. Flisberg F., Liden B., and Rönnqvist M. A hybrid method based on linear programming and tabu search for routing of logging trucks // Canadian Journal of Forest Research. 2009. N 36. P. 1122–1144.
26. Gronalt M, Hirsch P. A tabu search based solution method to optimize round timber transport // Proceedings of the sixth Metaheuristic International Conference, Vienna, Austria, August 22–26, 2005.
27. Kanthavel K., Prasad P.S.S., Vignesh K.P. Optimization of vehicle routing problem with simultaneous delivery and pickup using nested particle swarm optimization // European Journal of Scientific Research. 2012. N 73 (3). P. 331–337.
28. Karttunen K., Väätäinen K., Asikainen A., Ranta T. The operational efficiency of waterway transport of forest chips on Finland's lake Saimaa // Silva Fennica. 2012. N 46 (3). P. 395–413.
29. Kukin M.B. Genetic operators of an evolutionary model for the steiner flow problem // Journal of Computer and Systems Sciences International. 2010. T. 49, N 2. P. 227–233.
30. Nurminen T., Heinonen J. Characteristics and time consumption of timber trucking in Finland // Silva Fennica. 2007. N 41(3). P. 471–487.

Поступила 30.06.14

UDC 634.0.3

Operational Logistics Management of Transport Processes in Wood Harvesting Companies

A.P. Sokolov, Candidate of Engineering, Associate Professor
Petrozavodsk State University, Lenina, 33, Petrozavodsk, 185910, Russia;
e-mail: a_sokolov@psu.karelia.ru

Task of optimal vehicle routing definition is important for operational logistics management of wood harvesting companies. The most difficult to solve is the scheme “Many-to-many” but that it is now widely used at wood harvesting companies. The article provides an overview of approaches, methods and tools for solving the problem of synthesis of transport plans (delivery route). A hybrid approach based on a combination of linear programming and prohibition search method is the perspective assignment to solve this problem. This approach allows to solve the problem of transport operational planning, taking into account all the main features of this process. To the main features of this approach should be primarily belong its complexity, which is caused by the complexity of the problem itself. The quality of the final decision depends heavily on the possibilities for harmonizing the results of solving individual optimization problems. The main disadvantage of the approach is that the two main objectives of optimization tasks are different.

Keywords: wood harvesting, logistics, motor transport, vehicle routing, mathematical programming

REFERENCES

1. Valuev A.M. Zadacha vychisleniya suboptimal'nykh putey na seti i vozmozhnosti ee primeneniya dlya upravleniya perevozkami [The Problem of Calculating Suboptimal Paths in the Network and the Possibility of Its Application to Transportation Management]. *Gornyy informatsionno-analiticheskiy byulleten'*, 2010, vol. 5, no. 12, pp. 44–51.
2. Voronov R.V., Kositsyn D.P., Shabaev A.I., Voronova A.M., Shchegoleva L.V. Matematicheskaya model' zadachi planirovaniya mnogoperedel'nogo proizvodstva v lesopromyshlennom komplekse [A Mathematical Model of Scheduling Problem of Multi-Stage Production in the Forest Complex]. *Uchenye zapiski petrozavodskogo gosudarstvennogo universiteta* [Proceedings of Petrozavodsk State University]. 2013, no. 4 (133), pp. 101–104
3. Gerasimov Yu. Yu., Syunev V. S., Sokolov A. P. Algoritmy opredeleniya optimal'nykh marshrutov na grafakh dlya resheniya zadach upravleniya sistemami transportirovki drevesiny dlya lesopromyshlennogo kompleksa i bioenergetiki [Algorithms to Determine Optimal Routes on Graphs to Solve Tasks of Forest Transport Management for Wood Harvesting and Bioenergetics]. *Trudy lesoinzhenerenogo fakul'teta PetrGU* [Proceedings of the Faculty of Forest Engineering PetrSU]. 2010, vol. 8, pp. 30–33.
4. Dli M.I., Karpova T.P. Kriterii optimizatsii putey dostavki produktsii pri ispol'zovanii nechetkikh modeley murav'inykh koloniy [Optimization Criteria for Ways to Deliver Products Using Uneven Ant Colonies Models]. *Vestnik Rossiyskoy akademii estestvennykh nauk*, 2012, no. 1, pp. 55–56.
5. Domke E.R., Zhestkova S.A., Akimova V.Yu. Osobennosti resheniya zadachi marshrutizatsii transporta metodom vetvey i granits [Features of Solving the Problem of Transport Routing with the Branch and Bound Method]. *Vestnik Moskovskogo avtomobil'no-dorozhnogo gosudarstvennogo tekhnicheskogo universiteta*, 2012, no. 2, pp. 76–79.
6. Karpov A.S. *Organizatsiya avtomobil'nykh perevozok* [Organization of Motor Transportation]. Voronezh, 2002. 72 p.

7. Lukinskiy V.S., Berezhnoy V.I., Berezhnaya E.V., Tsvirin'ko I.A. *Logistika avtomobil'nogo transporta: kontseptsiya, metody, modeli* [Motor Transport Logistics: Conception, Methods, Models]. Moscow, 2002. 278 p.
8. Lukinskiy V.S., Berezhnoy V.I., Berezhnaya E.V., Zaytsev E.I., Tsvirin'ko I.A. *Logistika avtomobil'nogo transporta* [Motor Transport Logistics]. Moscow, 2004. 367 p.
9. Mirotin L.B. *Logistika: upravlenie v gruzovykh transportno-logisticheskikh sistemakh* [Logistics: Management in Freight Logistic Systems]. Moscow, 2002. 414 p.
10. Nakhaev Z.N., Sushkov A.S. Vybór kratchayshikh setevykh rasstoyaniy perevozok lesomaterialov po lesovoznym avtodorogam [Choosing the Shortest Networked Distances of Wood Transport on Forest Roads]. *Lesnoy vestnik*, 2008, no. 4, pp. 69–70.
11. Pasevich V. Analiz protsessov mul'timodal'nykh gruzovykh perevozok na baze logiko-logisticheskoy matritsy i zadachi formirovaniya asu mul'timodal'nymi transportnymi sistemami [Analysis of Multimodal Freight Transport on the Basis of Logic and Logistics Matrix and CMS of Multimodal Transport Systems]. *Zhurnal universiteta vodnykh kommunikatsiy*, 2011, no. 2, pp. 108–112.
12. Pushkareva G.V. Primenenie gibridnogo geneticheskogo algoritma dlya optimizatsii marshrutov [Application of Hybrid Genetic Algorithm for Route Optimization]. *Avtometriya*, 2006, vol. 42, no. 2, pp. 68–79.
13. Rakov V.S. Poisk na grafakh, kratchayshie puti [Search on Graphs, Shortest Paths]. *Otraslevye aspekty tekhnicheskikh nauk*, 2011, no. 7, pp. 12–14.
14. Sanakulova L.A., Zagorodnev D.I., Salakheeva A.I. Issledovanie metodov resheniya transportnykh zadach pri upravlenii material'nymi potokami predpriyatiya [Investigation of Methods for Solving of Transport Problems in Material Flows Management]. *Sotsial'no-ekonomicheskie i tekhnicheskije sistemy*, 2009, no. 4.
15. Sokolov A.P., Gerasimov Yu.Yu. Geoinformatsionnaya sistema dlya resheniya optimizatsionnoy zadachi transportnoy logistiki kruglykh lesomaterialov [Geoinformation System for Solving Optimization Problem of Transport Logistics for Round Timber]. *Lesnoy zhurnal*, 2009, no. 3, pp. 78–85.
16. Surikov V.T. Ekonomiko-matematicheskaya model' optimal'nykh skhem lesotransporta [Economic and Mathematical Model of Optimal Forest Transport Schemes]. *Lesnoy zhurnal*, 1988, no. 3, pp. 27–31.
17. Sushkov S.I. K voprosu sovershenstvovaniya struktury regional'noy transportnoy sistemy lesnogo kompleksa [On the Issue of Improving the Structure of the Regional Transport System of Forest Complex]. *Modelirovanie sistem i protsessov*, 2010, no. 3-4, pp. 38–42.
18. Sushkov S.I. Sovershenstvovanie mnogourovnevnoy sistemy transportnykh svyazey lesnykh predpriyatiy [Improving of Multilevel System of Transport Links of Forest Enterprises]. *Modelirovanie sistem i protsessov*, 2012, no. 2, pp. 75–78.
19. Titov G.B. Zheleznodorozhnye perevozki lesa [Rail Wood Transport]. *Rossiyskoe predprinimatel'stvo*, 2010, no. 2, pp. 139–145.
20. Shegel'man I.R., Skrypnik V.I., Kuznetsov A.V., Pladov A.V. Eksperimental'no-raschetnye issledovaniya dvizheniya lesovoznykh avtopoezdov [Experimental-calculating Study of Logging Trailers Movement]. *Lesnoy zhurnal*, 2008, no. 4, p. 6.
21. Yakimovich S.B., Teterina M.A. Reysovaya nagruzka lesozagotovitel'nykh mashin [Loading of Wood Harvesting Machines]. *Lesnoy vestnik*, 2006, no. 6, pp. 92–97.
22. Archetti C, Speranza M, Hertz A. A tabu search algorithm for the split delivery vehicle routing problem. *Transportation Science*, 2006, no. 40(1), pp. 64–73.

23. Cordeau J-F, Gendreau M, Laporte G, Potvin J-Y, Semet F. A guide to vehicle routing heuristics. *Journal of the Operational Research Society*, 2002, no. 53, pp. 512–522.

24. Cordeau J-F, Laporte G, Mercier A. A unified tabu search heuristic for vehicle routing problems with time windows. *Journal of the Operational Research Society*, 2001, no. 52, pp. 928–936.

25. Flisberg, F., Liden, B., and Rönnqvist, M. A Hybrid Method Based on Linear Programming and Tabu Search for Routing of Logging Trucks. *Canadian Journal of Forest Research*, 2009, no. 36, pp. 1122–1144.

26. Gronalt M, Hirsch P. A tabu search based solution method to optimize round timber transport. *Proceedings of the sixth Metaheuristic International Conference*, Vienna, Austria, August 22-26, 2005.

27. Kanthavel, K., Prasad, P.S.S., Vignesh, K.P. Optimization of vehicle routing problem with simultaneous delivery and pickup using nested particle swarm optimization. *European Journal of Scientific Research*, 2012, no. 73 (3), pp. 331–337.

28. Karttunen, K., Väätäinen, K., Asikainen, A., Ranta, T. The operational efficiency of waterway transport of forest chips on Finland's lake Saimaa. *Silva Fennica*, 2012, no. 46 (3), pp. 395–413.

29. Kukin M.B. Genetic operators of an evolutionary model for the steiner flow problem. *Journal of Computer and Systems Sciences International*, 2010, vol. 49, no. 2, pp. 227–233.

30. Nurminen, T., Heinonen, J. Characteristics and time consumption of timber trucking in Finland. *Silva Fennica*, 2007, no. 41(3), pp. 471–487.

Received on June 30, 2014

УДК 634.0.378

ОПРЕДЕЛЕНИЕ УСИЛИЙ В ГИБКИХ СВЯЗЯХ ПАКЕТНОГО ЛЕСОСПЛАВНОГО ПУЧКА, НАХОДЯЩЕГОСЯ НА СУШЕ© *С.В. Посыпанов, канд. техн. наук, доц.*

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

Разработанные при активном участии автора статьи конструкция и технология сплотки пакетных лесосплавных пучков дают возможность формировать плоты зимней сплотки даже мелким лесозаготовителям, позволяя существенно снизить транспортные затраты без значительных капиталовложений. Для исключения потерь древесины, соблюдения экологических требований следует обеспечить достаточную прочность новых сплоточных единиц, что предполагает определение усилий в их гибких связях. Для решения этой задачи нами предложен комбинированный метод, основанный на комплексном использовании эластиковой теории и теории сыпучей среды. Известно, что наибольшие усилия в гибких связях сплоточной единицы возникают при нахождении ее на суше. Это было принято за расчетный случай. Совокупность лесоматериалов пучка считаем сыпучей средой, сжимаемой силой тяжести. Для нахождения вертикальных давлений в этой среде необходимо знать характерную высоту, определяющую положение пьезометрической плоскости. Используя эластиковую теорию, устанавливаем зависимости между характерной высотой, высотой пакета и коэффициентом его формы, включающие не определяемый на практике модулярный угол. Вводим понятие относительной характерной высоты и, избавившись от модулярного угла, представляем графики для ее определения. Вертикальное сжатие сыпучей среды обуславливает возникновение горизонтальных распорных усилий, уравниваемых в расчетном случае только реакциями в обвязках пакетов. Получены формулы для определения равнодействующих этих усилий для верхнего и нижнего пакетов и реакций в верхних и нижних ветвях обвязок обоих пакетов. С введением понятия коэффициента натяжения формулы для определения искомых усилий стали иметь простой вид. Получены графики для определения коэффициентов натяжения. Доказано, что пучковые обвязки следует рассчитывать по внешним усилиям, прикладываемым к ним при утяжке. Представленные в статье разработки позволяют определять не только усилия в сплоточном такелаже находящегося на суше пакетного пучка, но их можно использовать также для оценки связей его параметров с способностью противодействовать продольному смещению составляющих пучок лесоматериалов и обвязок при транспортировке по воде.

Ключевые слова: лесосплав, пакет, пучок, обвязка, прочность, эластика, сыпучая среда.

Сотрудниками кафедры водного транспорта леса и гидравлики Северного (Арктического) Федерального университета имени М.В. Ломоносова предложены конструкция и технология сплотки пакетных лесосплавных пучков. Эти разработки позволяют воспользоваться экономическими преимуществами водного транспорта леса даже мелким лесозаготовителям, так как обеспечивают возможность формировать плоты зимней сплотки без применения сравнительно

дорогой и узкопрофильной техники – сплотно-транспортных агрегатов, приобретение которых для них экономически неоправданно в связи с относительно небольшими объемами работ. Предлагаемые нами решения позволяют сплачивать на плотбищах пучки нужных габаритов с помощью челюстных погрузчиков, имеющих практически у всех лесозаготовителей. В отличие от сплотно-транспортных агрегатов эти погрузчики после завершения сплотки могут быть использованы на других видах работ.

Судя по фактическим данным, увеличение расхода сплотно-транспортного такелажа, которое в стоимостном выражении относительно невелико, в данном случае с лихвой компенсируется достоинствами пакетной сплотки. К этим достоинствам относятся повышенная надежность сплотно-транспортных единиц, технологичность их выгрузки у потребителей, исключение потерь лесоматериалов при этом, снижение таких потерь в аварийных ситуациях, уменьшение их вероятности, возможность транспортировки по воде лиственных и тонкомерных сортиментов [8]. Перспективность предлагаемых разработок подтверждена их практической реализацией.

Стремление к исключению потерь древесины, повышение экологических требований поднимают значимость вопроса о прочности лесотранспортных единиц, в том числе и пакетных пучков. Обеспечение прочности предполагает определение усилий, возникающих в гибких связях сплотно-транспортной единицы. Для этого применим комбинированный метод, впервые предложенный нами при рассмотрении подобной задачи с отдельным пакетом круглых лесоматериалов [5]. Этот метод предполагает совместное использование эластиковой теории [2, 6] и положений теории сыпучей среды [1, 9]. Первая позволяет достаточно точно определять геометрические параметры пакета круглых лесоматериалов, чего нельзя сказать о его силовых характеристиках в связи с тем, что игнорируются силы внутреннего трения в нем. Отдельное использование второй теории в данном случае не позволяет получить решение из-за невозможности определения так называемой характерной высоты. Более подробно метод описан в работе [5]. Заметим, что результаты расчетов по полученным в ней формулам хорошо совпадают с результатами экспериментальных исследований, т. е. метод можно считать апробированным.

Обратимся к расчетной схеме, приведенной на рис. 1.

В связи с тем, что наибольшие усилия в гибких связях сплотно-транспортной единицы возни-

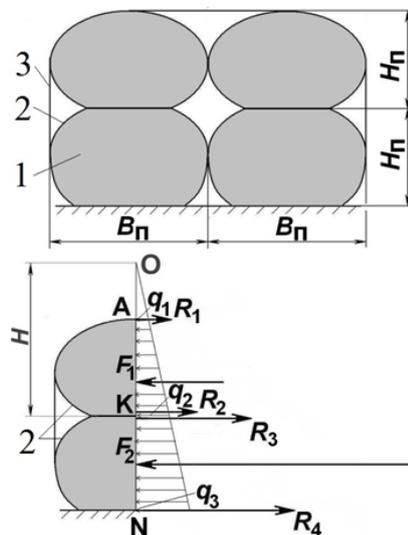


Рис. 1. Расчетная схема пакетного пучка, находящегося на суше: 1 – пакет; 2 – обвязка пакетная; 3 – обвязка пучковая

кают при нахождении ее на суше, рассмотрим ее в этих условиях. Совокупность лесоматериалов пучка считаем сыпучей средой. Находясь на горизонтальном основании, эта среда сжимается под действием сил тяжести. Максимальное сжатие происходит на линии наибольшего вертикального размера пучка. Вертикальные давления на этой линии определим по формуле

$$p = \rho_n g \eta h_o, \quad (1)$$

где ρ_n – плотность лесоматериалов;

g – ускорение свободного падения;

η – коэффициент полнодревесности пакетов;

h_o – расстояние по вертикали от точки O на пьезометрической плоскости до рассматриваемой точки.

Чтобы определиться с положением точки O , представим два выражения из приведенных нами в работе [5]:

$$H_n = 2H \sin^2 \frac{\Theta}{2}; \quad (2)$$

$$C = \frac{B_n}{H_n} = \frac{1}{2} \left((2 - \sin^2 \Theta) \left(K - F(\Theta, 45^\circ) \right) - 2 \left(E - E(\Theta, 45^\circ) \right) \operatorname{cosec}^2 \frac{\Theta}{2} \right), \quad (3)$$

где

H_n – высота пакета;

H – характерная высота, определяющая положение точки O ;

Θ – модулярный угол;

C, B_n – коэффициент формы и ширина пакета;

K, E – эллиптические интегралы полные;

$F(\Theta, 45^\circ), E(\Theta, 45^\circ)$ – эллиптические интегралы неполные [7, 10] при значении угла, изменяющегося вдоль элаستيки и равного 45° , что соответствует самой левой точке поперечного сечения пакета.

Из формулы (3) следует, что коэффициент C является функцией только от модулярного угла Θ . Любая из этих величин однозначно задает форму элаستيки. Выражение (2) связывает через модулярный угол Θ указанную форму, характерную высоту H и высоту пакета H_n . Для уменьшения количества определяющих факторов вводим понятие относительной характерной высоты:

$$h_p = \frac{H}{H_n}.$$

Тогда из выражения (2) имеем:

$$h_p = \frac{H}{2H \sin^2 \frac{\Theta}{2}} = \frac{1}{2 \sin^2 \frac{\Theta}{2}}. \quad (4)$$

Как видно из формулы (4), относительная характерная высота h_p зависит только от формы поперечного сечения пакета, которая может быть задана не только модулярным углом Θ , но и коэффициентом формы пакета C . На прак-

тике замерить угол Θ весьма проблематично, поэтому зависимость $h_p = f(\Theta)$ заменим зависимостью от широко используемого фактора $h_p = F(C)$. Однако для эластиковой теории характерен такой недостаток, как невозможность выразить одни используемые на практике геометрические характеристики пакетов через другие. Определив по формулам (3) и (4) значения C и h_p для одной и той же совокупности величин модулярного угла Θ , построим график зависимости $h_p = F(C)$ (рис. 2), по которому в практических расчетах и предлагаем определять h_p .

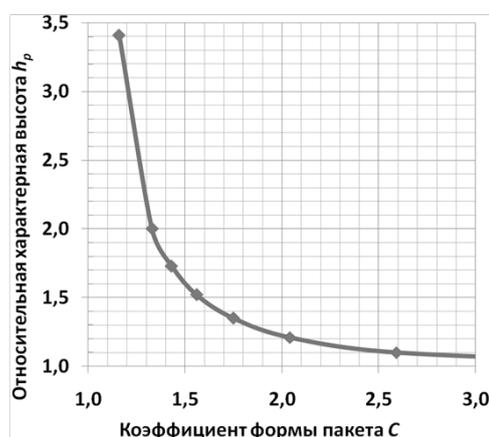


Рис. 2. График зависимости относительной характерной высоты h_p от коэффициента формы пакета C

Необходимо отметить, что вертикальное сжатие сыпучей среды в плотной единице обуславливает возникновение горизонтальных распорных усилий (см. рис. 1). В общем случае эти усилия уравниваются реакциями в обвязках пакетов и пучка. При отсутствии обвязок на пучке, например в процессе его формирования или при ослаблении обвязок по тем или иным причинам, вся распорная нагрузка будет восприниматься гибкими связями пакетов. Рассмотрим именно этот случай.

Для определения горизонтального давления используем выражение

$$q = p\lambda_a, \quad (5)$$

где λ_a – коэффициент активного давления сыпучей среды,

$$\lambda_a = \operatorname{tg}^2\left(45^\circ - \frac{\varphi_{\text{тр}}}{2}\right). \quad (6)$$

Здесь $\varphi_{\text{тр}}$ – угол внутреннего трения круглых лесоматериалов в пакете.

Равнодействующие распорных усилий в рассматриваемом сечении (рис. 1) для верхнего и нижнего пакетов соответственно могут быть определены по следующим формулам:

$$F_1 = 0,5(q_1 + q_2)H_n L; \quad (7)$$

$$F_2 = 0,5(q_2 + q_3)H_n L, \quad (8)$$

где L – длина круглых лесоматериалов в пучке.

Для горизонтальных давлений на уровнях верха пучка, границы между верхним и нижним пакетами, низа пучка:

$$q_1 = \rho_n g \eta \lambda_a (H - H_n); \quad (9)$$

$$q_2 = \rho_n g \eta \lambda_a H; \quad (10)$$

$$q_3 = \rho_n g \eta \lambda_a (H + H_n). \quad (11)$$

Равнодействующая F_1 уравнивается реакциями R_1 и R_2 соответственно в верхних и нижних точках гибких связей верхнего пакета. Подобным образом равнодействующая F_2 уравнивается реакциями R_3 и R_4 соответственно в верхних и нижних точках гибких связей нижнего пакета.

Запишем уравнения сумм моментов:

для верхнего пакета относительно точек К и А:

$$F_1 \frac{H_n \left(\frac{2}{3} q_1 + \frac{1}{3} q_2 \right)}{q_1 + q_2} - R_1 H_n = 0; \quad (12)$$

$$R_2 H_n - F_1 \frac{H_n \left(\frac{2}{3} q_2 + \frac{1}{3} q_1 \right)}{q_1 + q_2} = 0; \quad (13)$$

для нижнего пакета относительно точек N и К:

$$F_2 \frac{H_n \left(\frac{2}{3} q_2 + \frac{1}{3} q_3 \right)}{q_2 + q_3} - R_3 H_n = 0; \quad (14)$$

$$R_4 H_n - F_2 \frac{H_n \left(\frac{2}{3} q_3 + \frac{1}{3} q_2 \right)}{q_2 + q_3} = 0. \quad (15)$$

Выразим из уравнений (12)–(15) реакции R_1 , R_2 , R_3 и R_4 , вместо F_1 , F_2 , q_1 , q_2 и q_3 подставим соответствующие правые части выражений (7)–(11) и после преобразований получим:

$$R_1 = 0,5 \rho_n g \eta \lambda_a L H_n \left(H - \frac{2}{3} H_n \right); \quad (16)$$

$$R_2 = 0,5 \rho_n g \eta \lambda_a L H_n \left(H - \frac{1}{3} H_n \right); \quad (17)$$

$$R_3 = 0,5 \rho_n g \eta \lambda_a L H_n \left(H + \frac{1}{3} H_n \right); \quad (18)$$

$$R_4 = 0,5 \rho_n g \eta \lambda_a L H_n \left(H + \frac{2}{3} H_n \right). \quad (19)$$

После вынесения H_n за скобки и с учетом того, что $H/H_n = h_p$, получим:

$$R_1 = 0,5 \rho_n g \eta \lambda_a L H_n^2 \left(h_p - \frac{2}{3} \right); \quad (20)$$

$$R_2 = 0,5\rho_n g \eta \lambda_a L H_n^2 (h_p - \frac{1}{3}); \quad (21)$$

$$R_3 = 0,5\rho_n g \eta \lambda_a L H_n^2 (h_p + \frac{1}{3}); \quad (22)$$

$$R_4 = 0,5\rho_n g \eta \lambda_a L H_n^2 (h_p + \frac{2}{3}). \quad (23)$$

Для выполнения практических расчетов данные формулы приведем к более простому виду:

$$R_i = K_i \rho_n \eta L H_n^2. \quad (24)$$

Величина K_i (м/с^2 или Н/кг) – это натяжение, приходящееся на единицу условной массы пакета, или удельное натяжение:

$$K_1 = 0,5g\lambda_a(h_p - \frac{2}{3}); \quad (25)$$

$$K_2 = 0,5g\lambda_a(h_p - \frac{1}{3}); \quad (26)$$

$$K_3 = 0,5g\lambda_a(h_p + \frac{1}{3}); \quad (27)$$

$$K_4 = 0,5g\lambda_a(h_p + \frac{2}{3}). \quad (28)$$

Первичными факторами, определяющими данные удельные натяжения, являются угол внутреннего трения круглых лесоматериалов в пакете $\varphi_{\text{тр}}$ и коэффициент формы пакета C . Для сортиментов, доставляемых сплавом, справочные значения $\varphi_{\text{тр}}$ варьируются в довольно узком диапазоне. C достаточной для практики точностью можно считать $\varphi_{\text{тр}}$ постоянной величиной, равной 27° [6]. Сделав расчеты по формулам (25)–(28), построим графики зависимости K_i от C (рис. 3). Они будут полезными при выполнении практических расчетов по формуле (24).

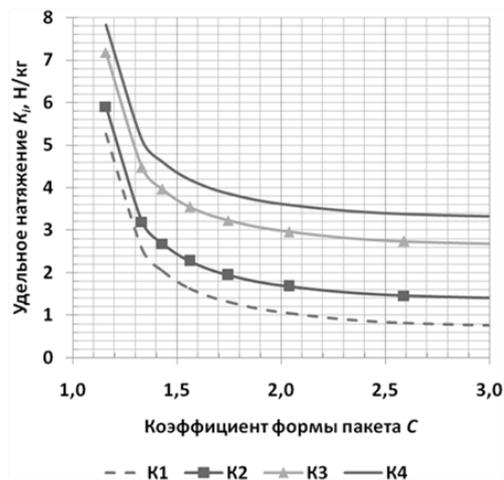


Рис. 3. Графики зависимости удельных натяжений K_i от коэффициента формы пакета C

Методика подбора сплottedного такелажа при известном натяжении знакома специалистам [3, 4], потому в данной статье не рассматривается.

После наложения и утяжки пучковых обвязок часть распорных усилий передается на них. Но натяжения, которые при этом возникают в обвязках, существенно меньше внешних усилий, прикладываемых к ним при утяжке. Это объясняется тем, что утяжке препятствуют силы пассивного отпора совокупности лесоматериалов, а после замыкания эти обвязки воспринимают силы активного распора. Первые значительно больше вторых. Кроме того, силы трения обвязок по лесоматериалам препятствуют утяжке, а после замыкания обвязок эти силы уменьшают растягивающие усилия в них, т. е. расчетным в данном случае является усилие утяжки, которое задают в технических условиях. Практика показывает, что для обвязок пакетного пучка это усилие целесообразно задавать более 10 кН.

Выполнение нами разработки позволяют определять усилия в сплottedном такелаже находящегося на суше пакетного пучка. Их использование предполагается также для оценки связей его параметров с способностью противодействовать продольному смещению составляющих пучок лесоматериалов и обвязок при транспортировке по воде.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Абуханов А.З.* Механика грунтов: учеб. пособие. Ростов н/Д.: Феникс, 2006. 352 с.
2. *Воробьев А.Г.* О расчете по эластической теории пучковых плотов для случая нахождения их на суше // Лесоинженерное дело: науч. докл. высш. шк. 1958. Вып № 3. С. 40.
3. Инструкция по эксплуатации такелажа на лесосплаве. М.: ВНИПИЭИЛеспром, 1980. 134 с.
4. *Камусин А.А., Дмитриев Ю.Я., Минаев А.Н., Овчинников М.М., Пятакин В.И., Пименов А.Н., Полищук В.П.* Водный транспорт леса: учеб. для вузов. 2-е изд. М.: Изд-во МГУЛ, 2000. 432 с.
5. *Посыпанов С.В.* Комбинированный метод расчета пакета круглых лесоматериалов, уложенного на горизонтальном основании // Лесн. журн. 2011. № 1. С. 47–52. (Изв. высш. учеб. заведений).
6. *Реутов Ю.М.* Расчеты пучков (пакетов) круглых лесоматериалов. М.: Лесн. пром-сть, 1975. 152 с.
7. *Фихтенгольц Г.М.* Курс дифференциального и интегрального исчисления: учеб. для вузов. 9-е изд. Т.2. СПб: Лань, 2009. 799 с.
8. *Харитонов В.Я., Посыпанов С.В.* Опыт внедрения единого транспортного пакета вместо молевого лесосплава // Лесн. журн. 2007. №1. С. 45–52. (Изв. высш. учеб. заведений).
9. *Craig R.F.* Soil Mechanics. 6th ed. London, New York: E & FN Spon, 1997. 485 p.
10. *Whittaker E.T., Watson G.N.* A Course in Modern Analysis. 4th ed. Cambridge, England: Cambridge University Press, 2009. 620 p.

Поступила 19.03.2015

UDC 634.0.378

Strains Determination in the Flexible Tie of a Packaged Log Rafting Overland Bundle

S.V. Posypanov, Candidate of Engineering, Associate Professor

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

Developed construction and technology of raft assembly of packaged log rafting bundles make possible to form the rafts in the winter season by small logging enterprises, allowing to decrease the transportation costs avoiding sufficient investments. Taking into consideration significant increase of the requirements for ecological safety of the timber floating and elimination of wood substance losses during its waterborne transport, the correct evaluation of the forces in the flexible ties of a packaged log bundle is becoming more important. This problem is solved on the base of combined method based on theories of elastics and free-flowing medium. The highest strains in the flexible ties arise while it is on overland. This case was taken as a calculation. An assembly of bundle logs is considered as a free-flowing medium affected by gravity forces. For finding of vertical pressures in this medium it is requires to know a characteristic height, which determines the position of piezometric surface. Based on elastics theory, the dependencies between characteristic height, vertical dimension of a bundle and its shape coefficient, including a modular angle, which cannot be measured in practical conditions, were found out. In order to eliminate a modular angle, a term of relative characteristic height and the graphic charts for its evaluation were introduced. A vertical compression of a free-flowing medium causes horizontal pull out forces balanced with reactions in the strappings of the bundles. Equations for evaluation of equivalent forces in upper and lower packages were developed. Reactions in the upper and lower strappings of both packages were derived from the momental equations. The graphic charts for determination of tensioning coefficients (introduced term) were worked out. It was proved, that the bundle strappings ought to be computed upon the external forces applied during packaging. The results presented in the article allow to determinate the raft gearing tensions for a packaged log overland bundle. Besides that, the data obtained could be applied for assessment of relationship between parameters of a package and longitude stability of a log bundle during water transportation.

Keywords: timber rafting, package, bundle, strapping, durability, elastics, free-flowing medium

REFERENCES

1. Abukhanov A.Z. *Mekhanika gruntov* [Soil Mechanics]. Rostov-na-Donu, 2006. 352 p.
2. Vorob'ev A.G. O raschete po elastikovoy teorii puchkovykh plotov dlya sluchaya nakhozheniya ikh na sushe [Application of the Elastics Theory for Design of Log Bundle Rafts Placed Overland]. *Lesoinzhenernoe delo*, 1958, Iss. 3. p. 40.
3. *Instruktsiya po ekspluatatsii takelazha na lesosplave* [Rules for Usage of Rigging at TIMBER floating]. Moscow, 1980. 134 p.

4. Kamusin A.A., Dmitriev Yu.Ya., Minaev A.N., Ovchinnikov M.M., Patyakin V.I., Pimenov A.N., Polishchuk V.P. *Vodnyy transport lesa* [Water Timber Transport]. Moscow, 2000. 432 p.
5. Posypanov S.V. Kombinirovannyi metod rascheta paketa kruglykh lesomaterialov, ulozhennogo na gorizonta'l'nom osnovanii [Combined Calculating Method of Round Timber Pile Stacked on Horizontal Foundation]. *Lesnoy zhurnal*, 2011, no. 1, pp. 47–52.
6. Reutov Yu.M. *Raschety puchkov (paketov) kruglykh lesomaterialov* [Design of the Bundles/Packages of Roundwood]. Moscow, 1975. 152 p.
7. Fikhtengol'ts G.M. *Kurs differentsial'nogo i integral'nogo ischisleniya* [Course of Differential and Integral Calculation]. St-Petersburg, 2009, vol. 2. 799 p.
8. Kharitonov V.Ya., Posypanov S.V. Opyt vnedreniya edinogo transportnogo paketa vmesto molevogo lesosplava [Experience of Introducing Transport Package instead of Drift Floating]. *Lesnoy zhurnal*, 2007, no. 1, pp. 45–52.
9. Craig R.F. *Soil Mechanics*, 6th ed. London, New York: E & FN Spon, 1997. 485 p.
10. Whittaker E.T., Watson G.N. *A Course in Modern Analysis*, 4th ed. Cambridge, England: Cambridge University Press, 2009. 620 p.

Received on March 19, 2015



МЕХАНИЧЕСКАЯ ОБРАБОТКА ДРЕВЕСИНЫ
И ДРЕВЕСИНОВЕДЕНИЕ

УДК 62-233:674.05

**ПЕРСПЕКТИВНЫЕ МАТЕРИАЛЫ ДЛЯ УЗЛОВ ТРЕНИЯ
ДЕРЕВОПЕРЕРАБАТЫВАЮЩЕГО ОБОРУДОВАНИЯ**

© *Е.А. Памфилов, д-р техн. наук, проф.*

Е.В. Алексеева, ассист.

Брянская государственная инженерно-технологическая академия, пр-т Станке
Димитрова, д. 3, г. Брянск, Россия, 241037; e-mail: pamfilov@bgita.ru

Современные машины и оборудование лесного комплекса, в том числе деревоперерабатывающая техника, имеют существенный недостаток – повышенный износ деталей узлов скольжения. Отличительными эксплуатационными особенностями этих узлов, помимо широкого диапазона и уровня прилагаемых нагрузок, являются работа при действии вибраций, абразивных и химически активных сред, недостаточной смазке, существенное влияние оказывают также тепловые процессы, возникающие в результате реализации достаточно высоких давлений и скоростей трения, а также протекания ряда физико-химических процессов под действием триботехнической среды. Для улучшения характеристик опор скольжения во многих случаях для их изготовления можно рекомендовать гетерогенные полимерно-металлические материалы, в которых суммируются положительные свойства пластмасс (самосмазываемость, задиристость, отсутствие шаржирования, коррозионная стойкость, пластичность) и металлов (механическая прочность, жесткость, теплостойкость). Достаточно перспективным является предложенный нами новый теплоаккумулирующий материал, который может быть выполнен на основе как искусственных, так и растительных полимеров, в частности древесины. Использование теплоаккумулирующего эффекта применяемых наполнителей способствует дополнительному улучшению теплофизических свойств создаваемых композиционных материалов. Такой эффект достигается как за счет увеличения количества теплоотводящих металлических компонентов, так и за счет обеспечения возможности аккумуляции тепловой энергии структурными составляющими вследствие теплопоглощения, происходящего при фазовых превращениях эвтектоидного или эвтектического характера. В этом случае выделяющееся при трении тепло отводится металлическими включениями вследствие их высокой теплопроводности и расходуется на плавление легкоплавкого содержимого металлических элементов. При этом дальнейшего увеличения температуры деталей, выполненных из теплоаккумулирующего материала, не происходит. Таким образом, размещение в модифицированной древесине теплоаккумулирующих элементов из легкоплавкого сплава не только повышает эффективность отвода тепла из зоны трения, но и понижает температуру работы детали. Реализация указанных в статье рекомендаций при проектировании и модернизации оборудования и оснастки предприятий лесного комплекса может обеспечить существенное повышение надежности используемой техники.

Ключевые слова: узлы трения скольжения, металлополимерные материалы, теплорассеивающие пластмассы, теплоаккумулирующие материалы.

Значение лесной промышленности в экономике Российской Федерации обусловлено большими запасами древесины и их широкой территориальной распространенностью. При этом основными поставщиками изделий из древесины и древесных материалов являются предприятия лесозаготовительной и деревоперерабатывающей промышленности, для успешного функционирования которых необходима высокопроизводительная и надежная техника, обеспечивающая выпуск качественной продукции с наименьшими затратами на производство.

В связи с этим современное оборудование деревопереработки должно обладать повышенной надежностью и работоспособностью, чтобы справляться возрастающими объемами производства. Несмотря на разнообразие такого оборудования, практически все его виды имеют существенный недостаток – повышенный износ деталей узлов скольжения. К таким деталям относятся направляющие устройства станков, ползуны лесопильных рам, подшипники скольжения, фрикционные тормозные устройства, работающие в большом диапазоне скоростей: от низкоскоростных для роликов транспортеров подающих механизмов до высокоскоростных подшипников скольжения шпинделей станков.

При их эксплуатации далеко не всегда обеспечивается требуемая работоспособность, главным образом, по причине достижения недопустимой величины износа. Замена же износившихся деталей зачастую требует длительной остановки машин, что приводит к простоему оборудования и, как следствие, к снижению его производительности.

Отличительными эксплуатационными особенностями указанных узлов, помимо широкого диапазона и уровня прилагаемых нагрузок, является работа при действии вибраций, абразивных и химически активных сред, недостаточной смазке. Процесс изнашивания рассматриваемых узлов скольжения обычно представляет собой совокупность сложных процессов и явлений, происходящих на функциональных поверхностях и в граничных слоях сопрягаемых деталей пары трения. К таким явлениям относятся деформирование и износ, усугубляемые действием абразива и циклического нагружения, а также проявлением явления схватывания.

Кроме того, на работоспособность этих узлов существенное влияние оказывают тепловые процессы, возникающие в результате реализации достаточно высоких давлений и скоростей трения, а также протекания ряда физико-химических процессов под действием триботехнической среды. В связи с этим актуальным является вопрос повышения долговечности узлов скольжения за счет совершенствования их конструкций, использования более эффективных фрикционных и антифрикционных материалов, обладающих повышенными теплофизическими характеристиками и виброгасящими свойствами,

а также путем оптимизации технологии изготовления и упрочнения деталей, составляющих узлы трения.

Анализ условий эксплуатации подшипников скольжения в деревообрабатывающем оборудовании показывает, что большинство из них работают в условиях отсутствия гидродинамической смазки. В связи с этим повышение износостойкости таких деталей может быть достигнуто либо посредством их конструктивного совершенствования, чтобы обеспечить режим жидкостной или граничной смазки, либо путем целесообразного размещения в зоне фрикционного контактирования материала, способного работать в режиме самосмазывания (например, графит, фторопласт, дисульфид молибдена и т.п.) [1, 2, 6].

Организация режима трения со смазкой в контактной зоне возможна за счет размещения на рабочих поверхностях смазочных карманов, в которых удерживается смазочная среда, закладываемая при сборке соединения. Такие смазочные карманы обычно имеют форму окружности или ромба. Достичь подобного эффекта возможно также путем равномерного размещения на поверхности втулки вставок твердого смазочного материала [12, 13]. Периодическое возобновление этих смазочных материалов в процессе эксплуатации узла позволяет существенно увеличить срок службы подшипников скольжения. Кроме того, используемые смазочные материалы должны по своему химическому составу подбираться таким образом, чтобы обеспечить возможность дополнительной защиты поверхностей деталей подшипникового узла от коррозии.

Если смазка подшипников скольжения трудно осуществима или экономически невыгодна, то для их изготовления могут быть использованы менее чувствительные к недостатку смазки металлокерамические материалы, которые обычно получают путем прессования порошков металлов или их смесей друг с другом, а также с неметаллами в процессе последующего спекания в защитной атмосфере. Существенного эффекта можно достигнуть путем пропитки пористых композиций в смазочной среде. Для изготовления вкладышей подшипников чаще других применяют такие металлокерамические материалы, как пористое железо, железо- и бронзографит. При этом пористые материалы на железной основе по сравнению с бронзографитовыми менее дефицитны, имеют более высокие механические свойства и могут работать в более тяжелых условиях [3].

Наиболее существенным преимуществом пористых металлокерамических вкладышей подшипников является наличие пор, которые заполняются смазкой и служат источником образования достаточно устойчивой масляной пленки. Это связано с тем, что при пропитке втулки или вкладыша нагретая смазка заполняет имеющиеся в подшипниковом материале поры и капилляры и ее запас обеспечивает в процессе последующей эксплуатации формирование смазочной пленки на трущихся поверхностях.

Эффект самосмазывания достигается при использовании полимеров, которые хорошо противостоят коррозии, обладают высокой водо-, масло- и бензостойкостью, хорошо демпфируют динамические нагрузки, быстро прирабатываются, имеют низкие коэффициенты трения по стали в большом диапазоне нагрузок и скоростей, отличаются высокой износостойкостью. Отличительной особенностью антифрикционных полимерных материалов является то, что при смазывании водой они сохраняют достаточно высокую работоспособность в ряде случаев не меньшую, чем при смазывании минеральными маслами. Поэтому в случае попадания из внешней среды различных жидкостей в узлы, выполненные с применением полимерных материалов, их достаточно высокая работоспособность сохраняется. Кроме того, антифрикционные или фрикционные элементы, изготовленные из полимеров, значительно дешевле широко применяемых дорогостоящих сплавов цветных металлов.

Для изготовления вкладышей подшипников используют синтетические термореактивные (пластмассы на основе фенолоформальдегидной смолы – текстолит, карболит и др.) и термопластичные (полиамиды, полиэфир и др.) материалы [5].

Однако полимерные материалы обладают рядом существенных недостатков (малая теплопроводность и большой коэффициент термического расширения), что негативно сказывается на эксплуатационных свойствах подшипниковых узлов. Например, нагрев полимера в процессе эксплуатации сверх допустимой температуры вызывает изменение зазора между валом и подшипником, приводит к оплавлению полимера и, в итоге, к разрушению функциональных поверхностных слоев и выходу узла трения из строя.

Во избежание температурного перегрева подшипника целесообразно использовать в опорах скольжения теплорассеивающие полимерные композиты, представляющие собой гранулированную пластмассу, как правило, на основе высокотемпературных полимеров – полиамида, полифениленсульфида [10]. Такие материалы отличаются низким коэффициентом линейного термического расширения, способны лучше других полимеров (в 30–300 раз больше) проводить тепло и рассеивать его в окружающей среде, что позволяет повысить скорости и нагрузки в узлах скольжения подшипников и тормозных устройств.

Применение в паре трения с металлом теплорассеивающих пластмасс со специально введенными «смазывающими» компонентами позволяет увеличить $p\cdot v$ -фактор до 5,0...10,0 МПа·м/с по сравнению с наполненными полиамидами и полиформальдегидами (0,8...2,5 МПа·м/с) [10].

Теплорассеивающие пластмассы позволяют создавать более надежные высоконагруженные самосмазывающиеся узлы трения, способные работать при температурах до 200...250 °С в условиях абразивосодержащих и агрессивных сред. Конструкции подшипников на основе теплорассеивающих пластмасс достаточно просты, технологичны и надежны. Однако применение дета-

лей из теплорассеивающих полимеров целесообразно в изделиях, обеспечивающих непосредственную передачу теплового потока от источника в окружающую среду, поэтому их использование в узлах трения без дополнительной оптимизации составов и эксплуатационных характеристик затруднено.

Для улучшения характеристик узлов скольжения во многих случаях можно рекомендовать использовать не гомогенные материалы, а вводить оптимизирующие наполнители во фрикционный или антифрикционный материал, создавая более работоспособную гетерогенную структуру. Требуемые свойства гетерогенных материалов достигаются за счет комбинирования различных составляющих в композите, которое обеспечивает получение новых материалов, проявляющих не только свойства отдельных исходных компонентов, но и имеющих определенные совокупные характеристики за счет проявления синергетического эффекта [6].

Таким образом, за счет подбора исходных материалов и целесообразной технологии создания композитов возможно получать материалы с заранее прогнозируемыми свойствами. В частности, для снижения уровня теплового воздействия на детали узлов скольжения, изготовленных из полимеров, в качестве наполнителя целесообразно использовать металлы, обладающие высокой теплопроводностью. Для повышения работоспособности деталей при их фрикционном взаимодействии без смазки можно использовать в антифрикционном материале сочетание металлической и полимерной составляющих. Такой же результат достигается путем создания комбинированных конструкций деталей узлов скольжения, состоящих из полимеров и металлов, соединяемых между собой механическими способами [1, 2, 6, 7, 9, 14].

Из композиционных материалов, используемых для изготовления деталей узлов трения оборудования деревоперерабатывающей промышленности, весьма эффективными являются металлополимерные материалы. По структуре такие материалы делятся на матричные, слоистые и дисперсные. Матричные материалы состоят из сплошной среды (матрицы), в которой содержатся включения (арматура или дисперсный наполнитель). Матрица делает материал монолитным и придает ему форму, обеспечивает передачу усилий на арматуру и защищает ее от механических повреждений и воздействия агрессивных сред. Матричные материалы, которые содержат дисперсный наполнитель в виде порошка, чешуек, коротких волокон и т. д., называются наполненным. Материалы, в которых в качестве наполнителя используются длинномерные элементы (ткани, сетки, волокна и др.), называют армированными [1, 4].

В матричных материалах суммируются положительные свойства пластмасс (самосмазываемость, задиростойкость, отсутствие шаржирования, коррозионная стойкость, пластичность) и металлов (механическая прочность, жесткость, теплостойкость) [4].

На сопротивляемость изнашиванию и фрикционные характеристики материалов существенно влияют такие факторы, как объемное содержание

наполнителя, размер и форма его частиц, физико-химические свойства материалов наполнителя и основы и др.

От вида, свойств, количества и сочетания наполнителей зависят также объемные и поверхностные физико-механические, термомеханические, теплофизические и технологические свойства композиционных материалов. Из металлов в качестве наполнителей целесообразно использовать порошки бронзы, меди, железа, свинца и др. Из неорганических наполнителей наиболее перспективны оксиды и соли металлов, стекло в виде порошка, волокна, нити и ткани, слюда, глинозем, оксид кремния, кокс, а также антифрикционные наполнители: графит, сульфиды и другие вещества, способные выполнять функции твердой смазки. Из органических наполнителей возможно применение хлопчатобумажных и синтетических волокон и тканей, антифрикционных термопластов (полиамидов, полиэтилена и др.) [8].

При использовании древесины в качестве матрицы для изготовления антифрикционных материалов существенный эффект достигается в результате наполнения ее легкоплавкими металлическими материалами, оксидами и т. д. Создаваемые таким образом материалы имеют, по сравнению с каждым из исходных материалов, повышенные физико-механические и антифрикционные характеристики [6, 9].

Антифрикционные металлополимерные покрытия целесообразно использовать для обеспечения низкого значения коэффициента трения и возможности эксплуатации в условиях отсутствия смазочного материала.

Достижение требуемого уровня теплофизических и триботехнических характеристик деталей узла трения может быть осуществлено путем нанесения на прочную стальную подложку поверхностного слоя, состоящего из полимеров или композитов на их основе (антифрикционные покрытия, ленточные материалы и многослойные композиты).

Повышенные функциональные параметры полимерных антифрикционных покрытий малой толщины (несколько десятков микрометров) могут быть достигнуты за счет выполнения направленной приработки трущихся металлических поверхностей в целях последующего предотвращения их повреждений в случае нарушения целостности слоя гидродинамической или граничной смазки при эксплуатации.

Эффективным способом улучшения эксплуатационных свойств опор скольжения является размещение на стальной подложке ленточных материалов, рабочий слой которых состоит из композиционного материала на основе полимеров, либо создание многослойных металлополимерных материалов, которые состоят из чередующихся слоев полимера и металла, расположенных на жесткой подложке, обычно стальной.

На рис. 1 представлены некоторые варианты конструкций однослойных композитов, на рис. 2 – варианты коммерческих многослойных композитов [11].



Рис.1. Структура однослойных композиционных материалов, нанесенных на стальную подложку

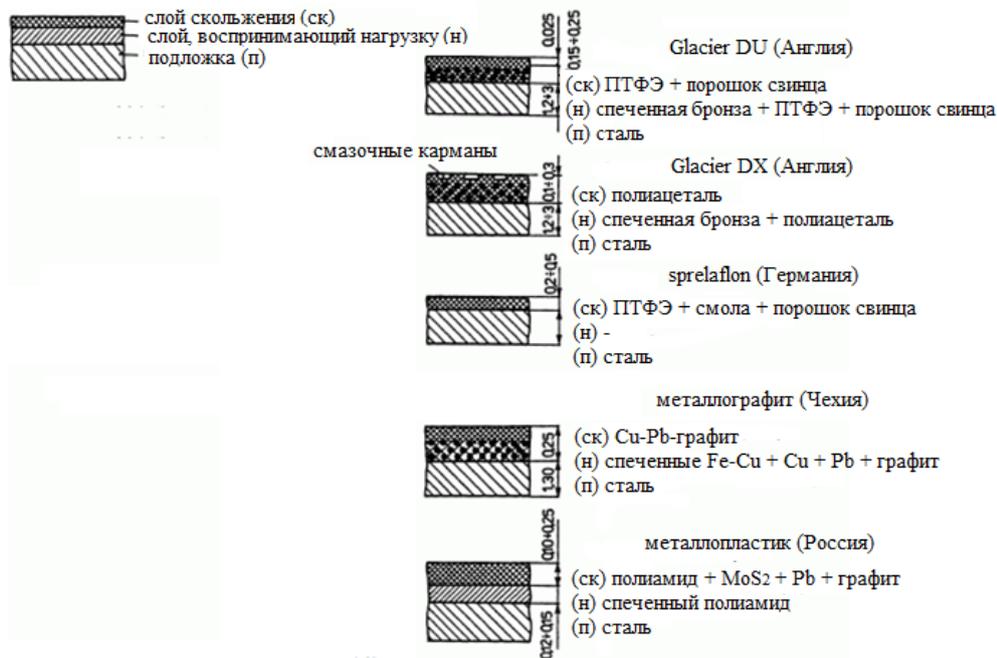


Рис. 2. Структура многослойных наполненных композиционных материалов (размеры в миллиметрах)

Подшипники скольжения, изготовленные из многослойных наполненных металлополимерных композитов, представляют собой металлический пористый каркас, пропитанный полимерами и напыленный на стальную подложку. Металл придает материалу высокую механическую прочность, стабильность размеров и достаточно интенсивно отводит теплоту из зоны фрикционного контакта, полимеры обеспечивают самосмазывание и надежную работу при относительно малых толщинах смазочного слоя. Поэтому такие материалы обладают высокой несущей способностью и предотвращают непосредственное контактирование трущихся поверхностей.

Опоры станков, используемых в деревоперерабатывающей промышленности, могут быть выполнены с вкладышем из антифрикционного композитного материала в виде проклеенной древесины с теплопроводящим элементом в виде металлической полосы, расположенной по спирали между слоями проклеенной древесины [8].

Таким образом, использование композиционных материалов позволяет в существенной степени снизить недостатки отдельных структурных составляющих, при этом получение повышенных механических, теплофизических и триботехнических характеристик достигается путем комбинирования различных по природе материалов.

С этой точки зрения достаточно перспективным выглядит предложенный нами новый теплоаккумулирующий материал [9], который может быть выполнен на основе различных полимеров, как искусственных, так и растительных, в частности древесины. Это связано с тем, что древесина является практически единственным возобновляемым и широко распространенным природным ресурсом. Кроме того, модификация древесины позволяет заменить дорогостоящие породы (бакаут, самшит и др.) в узлах трения на более распространенные и дешевые (сосна, береза, осина и др.). И, наконец, древесина, благодаря своему пористому и волокнистому строению, способна обеспечить режим самосмазывания, обладает возможностью сопротивляться абразивному воздействию, гасить вибрационную и ударную нагрузку, поглощать шум.

Использование теплоаккумулирующего эффекта применяемых наполнителей способствует дополнительному улучшению теплофизических свойств создаваемых композиционных материалов. Такой эффект достигается у указанных материалов как за счет увеличения количества теплоотводящих металлических компонентов, так и за счет обеспечения возможности аккумуляции тепловой энергии структурными составляющими вследствие теплопоглощения, происходящего при фазовых превращениях эвтектидного или эвтектического характера.

В этом случае выделяющееся при трении тепло не только отводится металлическими включениями вследствие их высокой теплопроводности, но и расходуется на плавление легкоплавкого содержимого металлических элементов, при этом дальнейшего увеличения температуры подшипника не происходит.

Таким образом, размещение в модифицированной древесине теплоаккумулирующих элементов из легкоплавкого сплава одновременно повышает эффективность отвода тепла из зоны трения и понижает температуру работы подшипникового узла [9].

Проведенный анализ возможностей использования антифрикционных материалов показал, что ни один гомогенный материал не отвечает в полной мере тем свойствам, которые следует обеспечить подшипникам скольжения деревоперерабатывающего оборудования. В связи с этим решение вопроса комбинирования в конструкциях подшипников скольжения нескольких материалов, способных в совокупности обеспечить для рассматриваемых узлов

**Некоторые триботехнические параметры материалов узлов скольжения
деревообрабатывающего оборудования**

Узел трения скольжения	Скорость скольжения, м/с	Температурный режим эксплуатации, °С	Применяемые материалы
<i>Антифрикционные материалы</i>			
Шпиндель – подшипники скольжения в токарных, шлифовальных, сверлильных и др. станках	10,0...12,0 – обработка мягкой древесины; 0,5...3,0 – твердой	50...70	Стали 40Х, 45, 50 и серые или высокопрочные чугуны – шпиндели; бронзы, баббиты* – подшипники
Направляющие станины – ползуны пильной рамки лесопильной рамы	0,1...0,4	100...140	Древесина твердолиственных пород, лигнофоль, чугуны, текстолит, сплавы меди – ползуны; чугуны, сталь* – направляющие
Направляющие гусеничных механизмов подачи	1,3...2,0	40...50	Текстолит, износостойкие чугуны
Направляющее устройство – ленточная пила ленточнопильного станка	40...50	150...220	Промасленная древесина, древеснослоистый пластик*
Шлифовальная лента – прижимное устройство шлифовального станка	10...30	50...200**	Твердый войлок – прижимное устройство
<i>Фрикционные материалы</i>			
Диски фрикционных тормозов	1,5...2,5	110	Металлокерамические материалы на железной и медной основах, текстолит*
Шлифовальная лента – шкив шлифовального станка	10...30	50...200**	Резиновые покрытия
Тормозная колодка – шкив в ленточнопильных станках		110...270	Сталь, чугун – шкивы; металлическая подложка с фрикционной накладкой (с добавлением бронзы и графита)* – колодки

*Возможна замена обычно применяемых материалов на рекомендуемые в статье теплоаккумулирующие материалы на основе древесины.

**Циклическое воздействие температуры.

необходимые триботехнические характеристики, является важнейшим при выборе наиболее рациональных материалов для изготовления деталей узлов трения. При этом немаловажную роль играют доступность и стоимость составляющих материал компонентов. С конструктивной точки зрения, проектируя подшипники скольжения, необходимо стремиться исключить возможность трения без смазочного материала, обеспечивая тем самым низкий коэффициент трения при эксплуатации рассматриваемой техники. Это дает возможность работать при больших нагрузках и высоких скоростях скольжения в присутствии абразива без шума, вибраций и перегрева подшипника.

Следует отметить, что управление составом и структурой композиционных материалов, в том числе и новых теплоаккумулирующих, позволяет расширить их применение в качестве фрикционных, характеризующих повышенными температурами работы и интенсивным износом.

Исходя из изложенных выше принципов, можно считать целесообразным использование для ряда характерных узлов трения деревоперерабатывающего оборудования антифрикционных и фрикционных материалов, приведенных в таблице.

При этом во многих случаях желательно использовать в качестве дополнительного способа повышения износостойкости рассматриваемых конструкций различные виды поверхностной упрочняющей обработки, позволяющей обеспечить создание повышенной твердости, регулярной шероховатости, благоприятного уровня остаточных напряжений сжатия и коррозионной стойкости.

Реализация указанных рекомендаций при проектировании и модернизации деревоперерабатывающего оборудования может существенно повысить надежность используемой техники.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Белый В.А., Плескачевский Ю.М.* Металлополимерные системы. М.: Знание, 1982. 64 с.
2. *Белый В.А., Свириденко А.И., Петроковец М.И., Савкин В.Г.* Трение и износ материалов на основе полимеров. Минск: Наука и техника, 1976. 432 с.
3. *Воскресенский В.А., Дьяков В.И.* Расчет и проектирование опор скольжения (жидкостная смазка). М.: Машиностроение, 1980. 224 с.
4. *Жариков В.В.* Технологический процесс и оборудование получения композиционных металлополимерных материалов: автореф. дис. ... канд. техн. наук. Тамбов, 2000. 25 с.
5. *Машков Ю.К.* Полимерные композиционные материалы в триботехнике. М.: ООО «Недра-Бизнесцентр», 2004. 262 с.
6. *Памфилов Е.А., Пилюшина Г.А., Прусс Б.Н., Алексеева Е.В.* Новые антифрикционные материалы на основе модифицированной древесины // *Материаловедение*. 2009. № 4. С. 36–39.
7. *Памфилов Е.А., Шевелева Е.В., Муратов Д.И.* Создание новых композиционных древесно-металлических материалов // *Лесн. журн.* 2006. № 2. С. 60–66. (Изв. высш. учеб. заведений).

8. Пат. 108519 РФ, U1 F 16 C 33/04 F 16 C 33/24. Подшипник скольжения / Памфилов Е.А., Лукаш А.А., Прусс Б.Н., Пилюшина Г.А.; заявитель и патентообладатель Брянская гос. инж.-техн. акад. № 2011113560/11; заявл. 07.04.2011; опубл. 20.09.2011.

9. Пат. 2432508 РФ, МПК F 16 C 33/04 F 16 C 33/24. Подшипник скольжения / Памфилов Е.А., Сидоров О.В., Шевелева Е.В., Алексеева Е.В., Пилюшина Г.А.; заявитель и патентообладатель Брянская гос. инж.-техн. акад. № 2007143028/11; заявл. 20.11.2007; опубл. 27.10.2011.

10. *Пошарников Ф.В., Усиков А.В., Серебрянский А.И.* Применение композиционного материала на основе полимера в узлах трения деревообрабатывающего оборудования // Лесн. журн. 2012. № 4. С. 104–111. (Изв. высш. учеб. заведений).

11. Тепло рассеивающие пластмассы // ООО «СПЕЦПЛАСТ-М». URL: <http://teplostok.dax.ru/index.html> (дата обращения 10.05.2013).

12. *Lawrowski Z.* Polymers in the construction of serviceless sliding bearings // Archives of Civil And Mechanical Engineering. 2007. Vol. VII, N. 4. P. 139 – 150.

13. Metal/Polymer Composite Plain Bearings // Schaeffler Technologies AG & Co. KG. 2012. URL: <http://www.ina.com> (дата обращения 19.04.2013).

14. Metal-Polymer Sliding Bearings // CLI Industrial Co., Ltd. URL: <http://www.cli-industrial.com> (дата обращения 20.04.2013).

Поступила 30.07.14

UDC 62-233:674.05

The Perspective Materials for Friction Assemblies of Wood Industry Equipment

E.A. Pamfilov, Doctor of Engineering, Professor

E.V. Alekseeva, Assistant

Bryansk State Engineering Technology Academy, Stanke Dimitrova pr., 3, Bryansk, 241037, Russia; e-mail: pamfilov@bgita.ru

The significant disadvantage of modern machines and equipment of forest industry is the increased wear of sliding bearings. The distinctive operating characteristics of these friction units are the vibration, abrasive and chemically active environments, insufficient lubrication, in addition to a wide range and level of the applied loads. Thermal processes due to high pressure and friction velocity, and flow of some physicochemical processes under the action of tribotechnical environment influence on the details of machines. The usage of the heterogeneous polymer-metal materials which combine the positive properties of plastics (self-lubrication, no charging, corrosion resistance, plasticity) and metals (mechanical strength, hardness, heat-resistance) will improve the performance of bearings. The new heat-accumulating material that can be performed on the basis of various polymers, in particular, of wood, is seemed to be perspective. The usage of heat-accumulating fillers helps to improve the thermophysical properties of composite materials. This effect is achieved by increasing the amount of metal components and by the accumulation of thermal energy due to the heat absorption occurring during the phase transformations eutectoid or eutectic nature. In this case, the friction heat is partly diverted by the metallic inclusions due to their high thermal conductivity and partly spent on the melting of the fusible metal content of elements, thus further temperature increasing does not occur. So, the placement of the heat-

accumulating elements with the fusible alloy inside in a modified wood increases the efficiency of the heat removal from the contact areas and lowers the temperature of the details. The implementation of mentioned recommendations can provide a significant increase of the reliability of the equipment of the forestry complex enterprises.

Keywords: sliding friction units, metal-polymer materials, heat dissipated plastic materials, heat accumulating materials.

REFERENCES

1. Belyy V.A., Pleskachevskiy Yu.M. *Metallopolimernye sistemy* [Metal-Polymer Systems]. Moscow, 1982. 64 p.
2. Belyy V.A., Sviridenok A.I., Petrokovets M.I., Savkin V.G. *Trenie i iznos materialov na osnove polimerov* [Friction and Wear of Materials Based on Polymers]. Minsk, 1976. 432 p.
3. Voskresenskiy V.A., D'yakov V.I. *Raschet i proektirovanie opor skol'zheniya (zhidkostnaya smazka)* [Calculation and Design of Bearings (Liquid Lubrication)]. Moscow, 1980. 224 p.
4. Zharikov V.V. *Tekhnologicheskij protsess i oborudovanie polucheniya kompozitsionnykh metallopolimernykh materialov: Avtoref. dis. ... kand. tekhn. nauk* [Technological Process and Equipment for Production of Composite Metal-Polymer Materials: Cand.Tech.Sci.Diss.Abs]. *Materialovedenie*, 2009, no. 4, pp. 36–39.
5. Mashkov Yu.K. *Polimernye kompozitsionnye materialy v tribotekhnike* [The Polymer Composite Materials in Tribology]. Moscow, 2004. 262 p.
6. Pamfilov E.A., Pilyushina G.A., Pruss B.N., Alekseeva E.V. *Novye antifriktsionnye materialy na osnove modifitsirovannoy drevesiny* [New Antifricition Materials Based on Modification Wood]. *Materialovedenie*, 2009, no. 4, pp. 36–39.
7. Pamfilov E.A., Sheveleva E.V., Muratov D.I. *Sozdanie novykh kompozitsionnykh drevesno-metallicheskih materialov* [The Creation of New Composite Wood-Metal Materials]. *Lesnoy zhurnal*, 2006, no. 2, pp. 60–66.
8. Patent 108519 RF, Pamfilov E.A., Lukash A.A., Pruss B.N., Pilyushina G.A. *Podshipnik skol'zheniya* [Slider Bearing]. no. 2011113560/11, 2011.
9. Patent 2432508 RF, Pamfilov E.A., Sidorov O.V., Sheveleva E.V., Alekseeva E.V., Pilyushina G.A. *Podshipnik skol'zheniya* [Slider Bearing]. no. 2007143028/11, 2011.
10. Posharnikov F.V., Usikov A.V., Serebryanskiy A.I. *Primenenie kompozitsionnogo materiala na osnove polimera v uzlakh treniya derevoobrabatyvayushchego oborudovaniya* [Use of Polymer-Based Composite Material in Friction Units of Woodworking Equipment]. *Lesnoy zhurnal*, 2012, no. 4, pp. 104–111.
11. *Teplorasseyvayushchie plastmassy* [Heat Dissipated Plastic Materials]. Available at: <http://teplostok.dax.ru/index.html> (accessed 10.05.2013).
12. Lawrowski Z. *Polymers in the Construction of Serviceless Sliding Bearings. Archives of Civil and Mechanical Engineering*. 2007, vol. VII, no. 4, pp. 139–150.
13. *Metal/Polymer Composite Plain Bearings*. Schaeffler Technologies AG & Co. KG. 2012. Available at: <http://www.ina.com> (accessed 19.04.2013)
14. *Metal-Polymer Sliding Bearings*. CLI Industrial Co., Ltd. Available at: <http://www.cli-industrial.com> (accessed 20.04.2013).

Received on July 30, 2014

УДК 621.935

ОПРЕДЕЛЕНИЕ КОЭФФИЦИЕНТА КОНЦЕНТРАЦИИ НАПРЯЖЕНИЙ В МЕЖЗУБОВЫХ ВПАДИНАХ ЛЕНТОЧНЫХ ПИЛ ПРИ ИЗГИБЕ

© Г.Ф. Прокофьев, д-р техн. наук, проф.

О.Л. Коваленко, асп.

С.А. Черепанов, асп.

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

В статье дано описание опытов по определению коэффициентов концентрации напряжений в межзубовых впадинах при изгибе делительной ленточной пилы, выполненных на экспериментальной установке в динамике и статике. Определен коэффициент чувствительности материала пилы. После проведения исследований по определению коэффициентов концентрации напряжений при растяжении пилы будет определен эквивалентный коэффициент концентрации напряжений, который можно использовать при расчете ленточных пил на прочность. Кроме того, определены пределы выносливости для материала образцов ленточных пил с зубьями и без зубьев при отнулевом цикле напряжений, что позволит в дальнейшем построить диаграмму предельных амплитуд. Таким образом, появится возможность найти предельные значения напряжений для любых асимметричных циклов нагружения ленточных пил. За рубежом ленточные дереворежущие пилы, как и отечественные пилы из стали 9ХФ, производят из холоднокатанной, закаленной и отпущенной стали. По своему химическому составу импортные пилы схожи с отечественными пилами, хотя легируются дополнительными элементами для улучшения их эксплуатационных свойств. Высокопрочные легированные стали также имеют высокую чувствительность к концентрации напряжений. Поэтому сделанные нами выводы справедливы и в отношении импортных ленточных пил. По результатам экспериментальных исследований установлено: разрушение ленточных пил носит усталостный характер; теоретический и действительный коэффициенты концентрации напряжений при симметричном изгибе в межзубовых впадинах ленточных пил 3405-0032 ГОСТ 6532-77 (сталь 9ХФ) составляют соответственно 1,27 и 1,23, для тех же условий коэффициент чувствительности материала – 0,85; для повышения долговечности ленточных пил необходимо изменить профиль впадин и затормозить развитие усталостной трещины (например, термопластическим способом); после определения коэффициентов концентрации напряжений при растяжении пилы следует определять эквивалентный коэффициент концентрации напряжений, который можно использовать при расчете ленточных пил на прочность.

Ключевые слова: коэффициент концентрации напряжений, ленточная пила, предел выносливости, усталостная прочность, чувствительность.

Многочисленными наблюдениями установлено что разрушение ленточных пил носит усталостный характер [6, 8–10], вызванный повторно-

переменными нагрузками на пилу при пилении. В процессе пиления ленточные пилы испытывают напряжения от изгиба на шкивах, натяжения, центробежных сил инерции, сил резания, вальцевания, наклона шкивов, а также температурные напряжения. При этом основными напряжениями в пиле являются напряжения изгиба и растяжения, составляющие более 80 % от всех суммарных напряжений в пиле в процессе работы [9].

В ленточных пилах межзубовые впадины являются концентраторами напряжений. Влияние концентрации напряжений на прочность пилы при совместных деформациях изгиба и растяжения оценивается эквивалентным коэффициентом концентрации напряжений [9]:

$$k_э = \frac{k_и\sigma_и + k_н\sigma_н}{\sigma_и + \sigma_н},$$

где $k_и, k_н$ – коэффициенты концентрации напряжений соответственно при изгибе и растяжении;

$\sigma_и, \sigma_н$ – напряжения соответственно от изгиба пилы на шкивах и натяжения пилы.

На экспериментальной установке [3] были проведены испытания ленточных пил на усталостную прочность при изгибе (рис. 1).



Рис. 1. Экспериментальная установка для исследования ленточных пил на усталостную прочность при изгибе

Цель эксперимента – определение пределов выносливости при изгибе ленточной пилы 3405-0032 ГОСТ 6532–77, изготовленной из стали 9ХФ, при симметричном и отнулевом циклах нагружения и коэффициентов концентрации напряжений в межзубовых впадинах ленточных пил при изгибе.



Рис. 2. Измерительный комплекс для тарировки тензодатчиков

При определении напряжения изгиба в образцах ленточных пил методом тензометрирования в качестве измерительных датчиков применяли проволоочные тензорезисторы ПКБ-10-100. Градуировку датчиков производили на калибровочной балке равного сечения с использованием измерительного комплекса Zet-210, общий вид которого показан на рис. 2. Программное обеспечение для измерительного комплекса работает в операционной среде Windows XP. Для увеличения уровня сигнала датчиков использовали дифференциальный усилитель Zet-410.

Схема нагружения калибровочной балки представлена на рис. 3. Тензодатчики, наклеенные вдоль балки в пределах расстояния между опорами, испытывают деформацию чистого изгиба. Каждой величине прогиба балки соответствует определенный уровень сигнала датчика, выраженный в милливольтах.

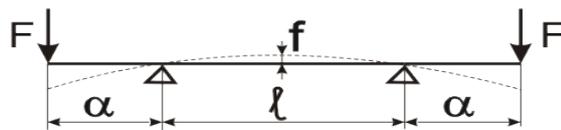


Рис. 3. Нагружение калибровочной балки

Напряжения изгиба на калибровочной балке определяли по формуле

$$\sigma_u = \frac{4Eh}{l^2} f,$$

где E – модуль упругости для стали, $E = 2,1 \cdot 10^5$ МПа;

h – толщина балки, $h = 6$ мм ;

l – расстояние между опорами, $l = 200$ мм (рис. 3);

f – прогиб балки, измеряемый индикатором часового типа.

По результатам градуировки тензодатчиков построен график, представленный на рис. 4.

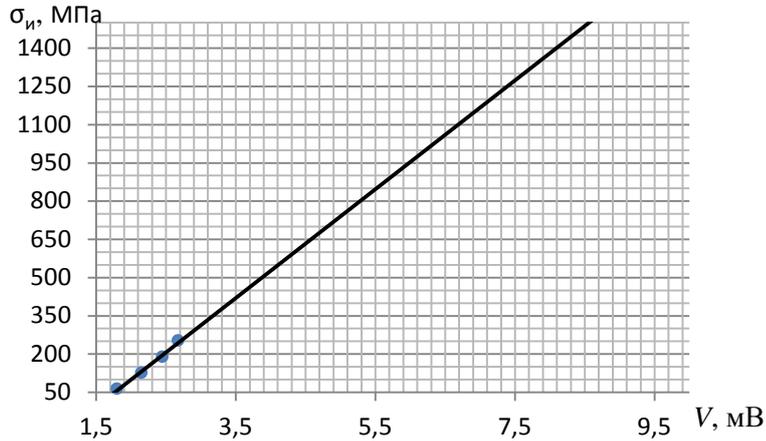


Рис. 4. График градуировки тензодатчиков

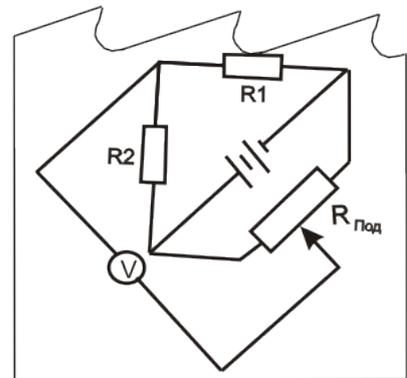
Для определения действующих напряжений при испытаниях была применена четвертьмостовая схема с использованием подстроечного резистора [5] (рис. 5). Датчики наклеивали с помощью бакелито-фенольного клея БФ-2 в непосредственной близости от межзубовой впадины и в середине полотна ленточной пилы (рис. б). Соотношение сигналов датчиков, расположенных в непосредственной близости от впадины и в середине полотна ленточной пилы, позволило определить теоретический коэффициент концентрации напряжений α_σ в межзубовых впадинах ленточных пил:

$$\alpha_\sigma = \frac{V_{\text{вп}}}{V} = \frac{3,8}{3} = 1,27,$$

где $V_{\text{вп}}$ – сигнал датчика в непосредственной близости от межзубовой впадины, мВ;

V – сигнал датчика в середине полотна ленточной пилы, мВ.

Рис. 5. Измерительная четвертьмостовая схема с подстроечным резистором (R1 – тензорезистор, испытывающий деформацию изгиба; R2 – тензорезистор для температурной компенсации; Rпод – подстроечный тензорезистор)



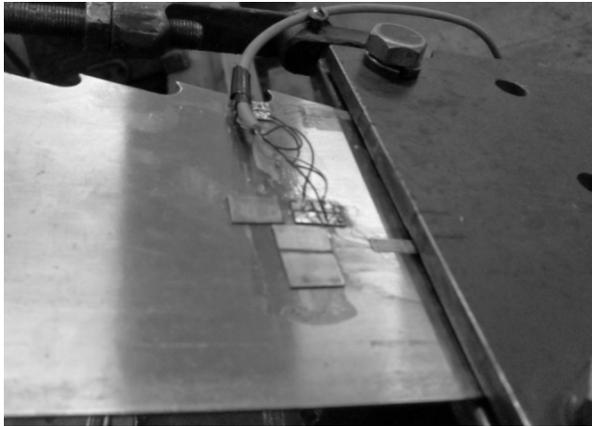


Рис. 6. Измерительная четвертьмостовая схема для определения напряжений, действующих в непосредственной близости от впадины и в середине полотна ленточной пилы при изгибе

Согласно ГОСТ 25.502–79, для построения семейства кривых усталости испытания целесообразно проводить на четырех – шести уровнях напряжения. Количество образцов в серии вычисляли по следующей формуле [1]:

$$n \geq 1,5 + \frac{Z_{1-\frac{\alpha}{2}}^2}{2\Delta_{\sigma}^2},$$

где $Z_{1-\frac{\alpha}{2}}$ – квантиль нормированного нормального распределения, принимаем

$$Z_{1-\frac{\alpha}{2}} = 1,96;$$

Δ_{σ} – предельная относительная ошибка при доверительной вероятности $P = 0,95$, принимаем $\Delta_{\sigma} = 0,5$.

Тогда

$$n \geq 1,5 + \frac{(1,96)^2}{2(0,5)^2} \geq 9,2.$$

Таким образом, для построения семейства кривых усталости и определения предела выносливости, соответствующих вероятности разрушения 50 %, испытанию были подвергнуты 10 одинаковых образцов на каждом из четырех уровней напряжения.

База испытаний для определения предела выносливости принималась равной 10^7 циклов нагружения [1].

Испытания образцов ленточных пил на усталостную прочность при изгибе на четырех уровнях напряжений проводили при следующих значениях:

для симметричного цикла нагружения – 300, 350, 400, 450 МПа;

для отнулевого цикла нагружения – 500, 550, 600, 650 МПа.

Указанные значения напряжений изгиба были выбраны с учетом результатов предварительных опытов и исходя из анализа литературных источников [6, 10].

Количество циклов нагружения до излома образца определяли с помощью датчика Холла [3].

Испытания проводили на образцах, имеющих следующие параметры: 1 – ленточная пила с зубьями 3405–0032 ГОСТ 6532–77 (сталь 9ХФ; толщина $S = 1,2$ мм, шаг зубьев $t = 30$ мм); 2 – полотно ленточной пилы без зубьев (сталь 9ХФ, ширина $H = 125$ мм, $S = 1,2$ мм).

Результаты испытаний образцов ленточных пил на усталостную прочность при изгибе при симметричном и отнулевом циклах нагружения приведены соответственно в табл. 1 и 2.

Таблица 1
Количество циклов нагружения до излома образца при изгибе (симметричный цикл нагружения)

Номер опыта	Количество циклов при предельных значениях напряжений, МПа			
	450	400	350	300
1	137 600/137 882	310 459/35 0857	436 482/1 074 238	1 621 036/4 650 323
2	149 466/167 456	331 784/37 7 986	489 346/1 325 626	2 014 982/> 10^7
3	159 763/187 340	369 806/40 8903	539 572/1 567 894	2 234 517/> 10^7
4	168 498/198 786	369 933/46 5567	585 638/2 215 037	2 602 781/> 10^7
5	178 998/221 765	401 573/521 983	687 450/2 711 786	3 223 459/> 10^7
6	182 750/245 352	429 876/569 684	739 654/> 10^7	> 10^7 /> 10^7
7	205 781/250 455	467 345/59 3402	850 349/> 10^7	> 10^7 /> 10^7
8	231 456/278 324	486 760/622 987	864 435/> 10^7	> 10^7 /> 10^7
9	287 654/326 457	489 453/647 121	972 675/> 10^7	> 10^7 /> 10^7
10	318 200/378 765	523 221/687 234	1 029 349/> 10^7	> 10^7 /> 10^7
N_{cp}	202 016,6/239 258,2	418 021/524 572	719495,0/–	–
S	60 031,6/73 655,8	72 558,1/118 540,8	206297,5/–	–

Примечание. Здесь и далее, в табл. 2, в числителе – данные для пил с насеченными зубьями, в знаменателе – без них; N_{cp} – среднее арифметическое значение долговечности; S – среднее квадратическое отклонение.

Таблица 2
Количество циклов нагружения до излома образца при изгибе (отнулевой цикл нагружения)

Номер опыта	Предельные значения напряжений, МПа			
	650	600	550	500
1	313 937/38 8346	411 345/459 075	579 641/1 163 639	1 858 943/4 752 023
2	344 986/397 453	434 760/498 345	668 450/1 556 322	2 748 094/5 687 938
3	367 543/418 923	474 832/541 908	738 047/1 987 978	3 436 870/> 10^7
4	380 465/437 349	521 987/542 677	791 239/2 474 057	3 784 122/> 10^7
5	385 234/456 828	589 343/587 453	877 385/2 906 971	3 911 367/> 10^7
6	389 430/474 832	602 346/593 421	940 123/2 968 834	4 137 204/> 10^7
7	400 742/486 376	631 576/644 197	982 091/3 217 312	> 10^7 /> 10^7
8	415 098/492 678	652 345/644 982	98 4432/> 10^7	> 10^7 /> 10^7
9	430 962/503 453	677 202/697 641	1 102 973/> 10^7	> 10^7 /> 10^7
10	451 357/515 231	689 473/762 479	1 151 298/> 10^7	> 10^7 /> 10^7
N_{cp}	396 201,9/457 146,9	568 520,9/597217,8	851 598,0/–	–
S	32 569,6/44 842,5	101 412,5/92428,6	169707,5/–	–

По результатам испытаний построены кривые распределения долговечности образцов ленточных пил (рис. 7), где по оси абсцисс откладываем долговечность образцов N (число циклов нагружения), по оси ординат – вероятность их разрушения P (накопленные частоты), которую вычисляем по следующей формуле:

$$P = \frac{i - 0,5}{n} 100 \%,$$

где i – номер образца в вариационном ряду (см. табл. 1);
 n – число испытанных образцов, $n = 10$.

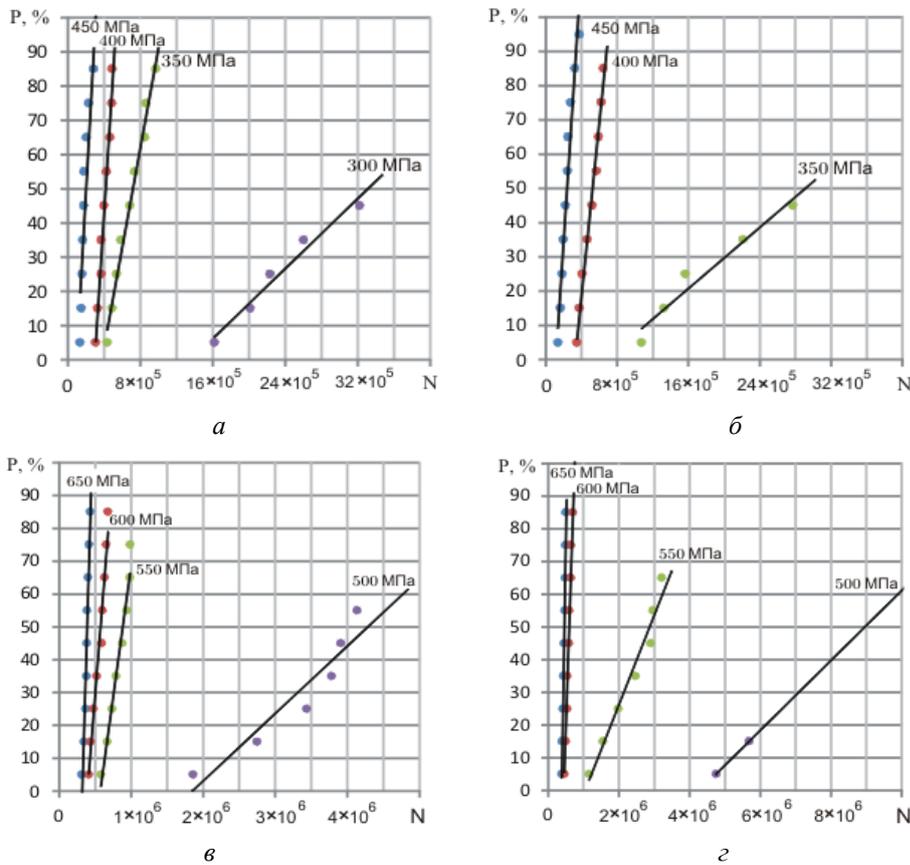


Рис. 7. Кривые распределения P долговечности полотен ленточных пил при симметричном ($a, б$) и отнулевом ($в, г$) циклах нагружения: $a, в$ – с зубьями; $б, г$ – без зубьев (Здесь и далее, на рис. 8, N – количество циклов нагружения)

По результатам испытаний построены кривые усталостной прочности σ_n образцов ленточных пил, соответствующие 50 %-й вероятности разрушения [1] при симметричном (рис. 8 a) и отнулевом циклах нагружения (рис. 8 $б$).

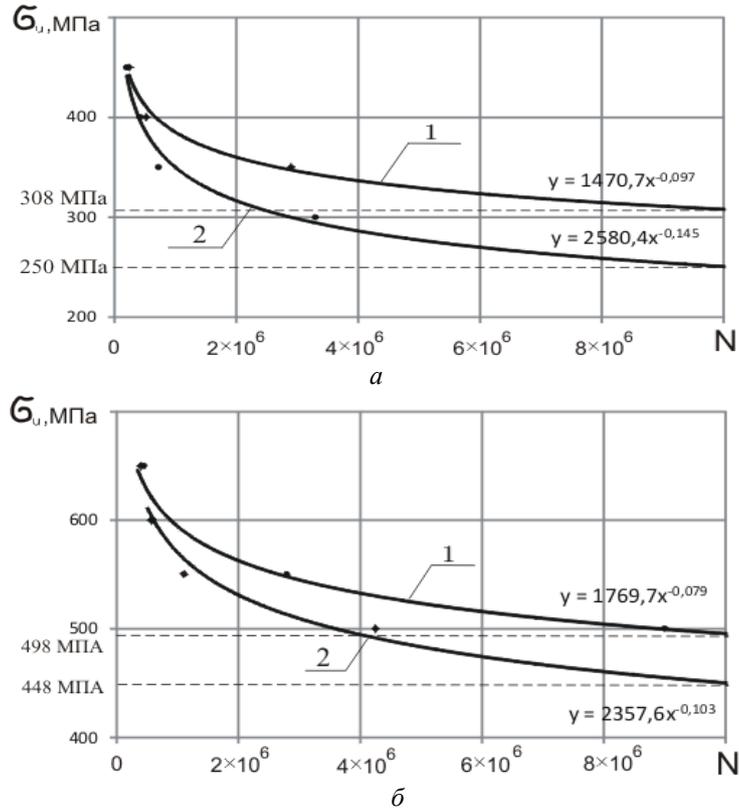


Рис. 8. Кривые усталостной прочности образцов ленточных пил при симметричном (а) и отнулевом (б) циклах нагружения, соответствующие 50 %-й вероятности разрушения: 1 – для полотен пил без зубьев; 2 – для пил 3405-0032 ГОСТ 6532–77 (сталь 9ХФ)

Кривые усталостной прочности в обоих случаях не имеют горизонтального участка. Это свойство характерно для кривых усталости деталей из высокопрочных сталей [4]. Представленные кривые усталостной прочности получены в результате аппроксимации зависимости к степенной функции с помощью программы Microsoft Excel 2010. Ординаты пересечения кривой усталости и абсциссы $N = 10^7$ циклов нагружения дают значения предела выносливости.

Таким образом, по результатам экспериментальных исследований определены следующие пределы выносливости при изгибе:

$\sigma_{-1} = 308$ МПа – для полотен ленточных пил без зубьев (сталь 9ХФ; толщина $S = 1,2$ мм);

$\sigma_{-1л/л} = 250$ МПа – для ленточных пил с зубьями 3405-0032 ГОСТ 6532–77 (сталь 9ХФ; толщина $S = 1,2$ мм; шаг зубьев $t = 30$ мм);

$\sigma_0 = 498$ МПа – для полотен ленточных пил без зубьев (сталь 9ХФ; толщина $S = 1,2$ мм);

$\sigma_{0л/п} = 448$ МПа – для ленточных пил с зубьями 3405-0032 ГОСТ 6532–77 (сталь 9ХФ; толщина $S = 1,2$ мм; шаг зубьев $t = 30$ мм).

Полученные значения пределов выносливости ленточных пил 3405-0032 ГОСТ 6532–77 (сталь 9ХФ) и полотен ленточных без зубьев (сталь 9ХФ) при симметричном цикле нагружения меньше пределов выносливости для стали 9ХФ, полученных другими исследователями [6, 10]. Это объясняется влиянием масштабного фактора, поскольку испытания проводились непосредственно с ленточными пилами, а не с уменьшенными лабораторными образцами.

Действительный коэффициент концентрации напряжений при симметричном изгибе ленточной пилы

$$k_{и} = \frac{\sigma_{-1}}{\sigma_{-1л/п}} = \frac{308}{250} = 1,23.$$

Для определения эквивалентного коэффициента концентрации напряжений $k_{э}$ необходимо также определить напряжения в зоне межзубовых впадин от натяжения ленточных пил.

Ряд авторов приводят различные коэффициенты концентрации напряжений, так как условия, при которых они определены, и методы определения различны. Например, в работе [2] рассмотрено определение коэффициента концентрации напряжений у зубьев пил со следующими параметрами: ширина пилы $b = 85$ мм; толщина пилы $S = 1$ мм; шаг зубьев $t = 40$ мм; высота зубьев $h_3 = 10$ мм; радиус межзубовых впадин $r = 4$ мм. В результате исследований получены коэффициенты концентрации напряжений при растяжении $k_{н} = 1,58$ и изгибе $k_{и} = 1,21$. В работе [6] в результате усталостных испытаний определен коэффициент концентрации напряжений в межзубовых впадинах при изгибе $k_{и} = 1,24$ для следующих параметров зубьев пил: $r = 4$ мм; $t = 50$ мм; $h_3 = 10$ мм.

Значения теоретического α_{σ} и действительного $k_{и}$ коэффициентов концентрации напряжений, полученные в данной работе, отличаются. Это обусловлено чувствительностью металла к концентрации напряжений и характеризуется соответствующим коэффициентом чувствительности [4]:

$$q = \frac{k_{и} - 1}{\alpha_{\sigma} - 1}.$$

Подставив найденные значения $k_{и}$ и α_{σ} в эту формулу, получим $q = 0,85$. Данный результат подтверждает высокую чувствительность стали 9ХФ к концентрации напряжений.

За рубежом ленточные дереворежущие пилы производят из холоднокатанной, закаленной и отпущенной стали, как и отечественные пилы из стали 9ХФ. По своему химическому составу импортные пилы схожи с отечественными пилами, хотя легируются дополнительными элементами для улучшения их эксплуатационных свойств. Высокопрочные легированные стали также имеют высокую чувствительность к концентрации напряжений [9]. Поэтому выводы, сделанные в статье, справедливы и в отношении импортных ленточных пил.

Как известно, для повышения долговечности ленточных пил существуют различные способы торможения развития усталостной трещины. Авторами статьи получен патент на термопластический способ торможения развития усталостной трещины [7].

Выводы

1. Результаты, выполненных испытаний подтверждают, что разрушение ленточных пил носит усталостный характер.

2. Теоретический и действительный коэффициенты концентрации напряжений при симметричном изгибе в межзубовых впадинах ленточных пил 3405-0032 ГОСТ 6532–77 (сталь 9ХФ) составляют $\alpha_k = 1,27$, $k_{эф} = 1,23$; коэффициент чувствительности материала ленточных пил для тех же условий $q = 0,85$.

3. Для повышения долговечности ленточных пил необходимы меры конструктивного и технологического характера:

изменение профиля впадин;

торможение развития усталостной трещины, например, термопластическим способом.

4. После проведения исследований по определению коэффициентов концентрации напряжений при растяжении пилы следует определять эквивалентный коэффициент концентрации напряжений, который можно использовать при расчете ленточных пил на прочность.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. ГОСТ 25.502–79 Методы механических испытаний металлов. Методы испытаний на усталость. Введ. 30-10-1979. М.: Изд-во стандартов, 1980. 12 с.
2. Добрынин Е.Д. Концентрация напряжений в полотнах ленточных пил от насечки зубьев // Деревообраб. пром-сть. 1962. № 4. С. 10–11.
3. Коваленко О.Л. Экспериментальная установка для исследования усталостной прочности ленточных // Наука – северному региону: сб. науч. тр. / АГТУ. Архангельск, 2002. С. 110–112.
4. Когаев В.П., Дроздов Ю.Н. Прочность и износостойкость деталей машин: учеб. пособие. М.: Высш. шк., 1991. 319 с.
5. Логинов В.Н. Электрические измерения механических величин. М.: Энергия, 1970. 80 с.
6. Мальшев Ю.В. Влияние некоторых факторов на долговечность полотен ленточных делительных пил. Л.: ЛТА, 1974. 10 с.
7. Пат. 2395388 РФ, МПК В 27 В 33/00. Способ торможения распространения трещины в ленточной пиле / Прокофьев Г.Ф., Иванкин И.И., Коваленко О.Л. № 2009115975/03; заявл. 27.04.2009; опубл. 27.04.2010, Бюл. № 21.
8. Прокофьев Г.Ф. Определение требуемой прочности пил многопильных ленточнопильных станков // Лесн. журн. 1989. № 6. С. 81–85. (Изв. высш. учеб. заведений).
9. Прокофьев Г.Ф. Интенсификация пиления древесины рамными и ленточными пилами. М.: Лесн. пром-сть, 1990. 240 с.

10. Швамм Л.Г. Исследование и разработка методов повышения долговечности ленточных пил для распиловки древесины: автореф. ... канд. техн. наук. Л.: ЛТА, 1982. 20 с.

Поступила 26.05.14

UDC 621.935

Test of Bulging Stress Concentration Factors in the Band Saw Notches

G.F. Prokof'ev, Doctor of Engineering, Professor

O.L. Kovalenko, Postgraduate Student

С.А. Черепанов, аспирант

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

The article gives the description of the tests of bulging stress concentration factors in the band saw notches. Animation and static tests were carried out at the pilot plant. As a result the sensibility factor of the saw material is identified. After the tests defining the concentration saw tensile stress factors the equivalent stress concentration coefficient for band saw stress calculation can be determined. The endurance limit of the material patterns of the band saws with the sawteeth and without the sawteeth at the zero-to-tension stress cycle is also defined. It will allow constructing a limiting amplitude scheme. Thus, it will be possible to define the limit stress values for any asymmetric depth cycles of band saws. Abroad the wood-milling band saws are made from hard-rolled tampered steel, as well as domestic saws of steel 9ХФ. The tapping specification of foreign saws is similar to domestic saws, though they are alloyed by additional elements to improve their operational properties. High-impact alloyed steels are also highly sensitive to the stress concentration. Therefore, the conclusions made in the article are also valid in relation to the foreign band saws. According to the results of the experimental studies we have drawn the following conclusions:

1. The results of performed tests confirm that the destruction of band saws is of fatigue nature.
2. The theoretical and actual coefficients of stress concentration at symmetric bending in the notches of the band saws 3405-0032 GOST 6532-77 steel 9ХФ are respectively: $\alpha_k = 1.27$, $\kappa_{\phi} = 1.23$. The sensibility factor of the band saws material for the same conditions is also determined: $q = 0.85$.
3. To increase the band saws life the following meaningful and technological measures are necessary:
 - to edit a notch profile;
 - to slow the process of the fatigue cracks development, for example, by the thermo-softening method [10].
4. After the research of the stress concentration factors of the tensile saw the equivalent stress concentration coefficient should be defined. This coefficient can be used at the band saws stress calculation.

Keywords: stress concentration factor, band saw, endurance limit, endurance strength, sensitivity.

REFERENCES

1. GOST 25.502-79. *Metody mekhanicheskikh ispytaniy metallov. Metody ispytaniy na ustalost'* [State Standart 25.502-79. Methods of Mechanical Tests of Metals. Methods of Fatigue Tests]. Moscow, 1980.
2. Dobrynin E.D. Kонтсентрати́я напры́зheniy v polotnakh lentochnykh pil ot nasechki zub'ev [Dependence of Stress Concentration in the Band Saw Blades on Notches Sawteeth]. *Derevoobrabatyvayushchaya promyshlennost'*, 1962, no. 4, pp. 10-11.
3. Kovalenko O.L. Eksperimental'naya ustanovka dlya issledovaniya ustalostnoy prochnosti lentochnykh pil [Pilot Plant for the Research of Band Saws Endurance Strength]. *Nauka - severnomu regionu; Sb. nauch. tr.* [Proc. Science to the Northern Region]. Arkhangelsk, 2002, pp. 110-112.
4. Kogaev V.P. *Prochnost' i iznosostoykost' detaley mashin: ucheb. posobie dlya mashinostr. spets. vuzov* [Strength and Endurance of Machine Elements]. Ed. by V.P. Kogaev, Yu.N. Drozdov. Moscow, 1991. 319 p.
5. Loginov V.N. *Elektricheskie izmereniya mekhanicheskikh velichin* [Electric Measurements of Mechanical Quantities]. Moscow, 1970. 80 p.
6. Malyshev Yu.V. *Vliyaniye nekotorykh faktorov na dolgovechnost' poloten lentochnykh delitel'nykh pil* [Influence of Some Factors on the Band Saw and Resawing Machine Blades Life]. Leningrad, 1974. 10 p.
7. Prokofev G.F., Ivankin I.I., Kovalenko O.L. *Sposob tormozheniya rasprostraneniya treshchiny v lentochnoy pile* [The Way to Slow Down the Crack Extension in a Band Saw]. Patent RF, no. 2395388, 2009.
8. Prokofev G.F. Opredeleniye trebuyemy prochnosti pil mnogopil'nykh lentochnopil'nykh stankov [Required Strength Definition of Saws of Multifunctional Band Sawing Machines]. *Lesnoy zhurnal*, 1989, no. 6, pp. 81-85.
9. Prokofev G.F. *Intensifikatsiya pileniya drevesiny ramnymi i lentochnymi pilami* [Intensification of Wood Sawing by Frame Saws and Band Saws]. Moscow, 1990. 240 p.
10. Shvamm L.G. *Issledovaniye i razrabotka metodov povysheniya dolgovechnosti lentochnykh pil dlya raspilovki drevesiny: avtoref. dis... kand. tehn. nauk.* [Research and Development of Enhancing Methods of Band Saws Life for Wood Sawing: Cand. Tech. Sci. Diss. Abs.]. Leningrad, 1982. 20 p.

Received on May 26, 2014

УДК 674.05

ФУНКЦИОНАЛЬНО-ЭЛЕМЕНТНЫЙ АНАЛИЗ ПРОСТОГО РЕЗЦА

© С.В. Иванов, канд. техн. наук, доц.

Е.С. Шарпов, канд. техн. наук, доц.

А.С. Королев, асп.

Поволжский государственный технологический университет, пл. Ленина, д. 3,
г. Йошкар-Ола, Республика Марий Эл, 424000; e-mail: sharapov_evgeniy@mail.ru

Даже сейчас, в XXI в., все еще нет отдельно изложенной теории профилирования резца, однако имеющиеся теоретические основы теории резания древесины способны вооружить конструкторов необходимыми данными. Но для этого на рассматриваемый объект надо посмотреть с другой стороны, в некоторых моментах скорректировать имеющиеся данные, представить их в ином свете и использовать при проектировании инструмента, анализе и профилировании его режущих элементов. Эффективным и новым в данном случае инструментом исследования является функционально-элементный анализ. На основании функционально-элементного анализа у резца выделены плоские передняя и задняя грани и прямая режущая кромка, располагающаяся перпендикулярно к вектору скорости резания. Элементы резца: режущая кромка, передняя и задняя грани. Функции элементов и самого объекта описаны в естественной форме, с обязательным наложением на них особых условий и ограничений. На резце-клине исходным элементом является его режущая кромка – край, находящийся на смыкании и окончании передней и задней поверхностей резца. Этот край (кромка) и осуществляет резание, отделение от предмета его части путем силового концентрированного воздействия на локальную область. Клиновидная форма резца придает режущей кромке необходимую прочность и жесткость, передает энергию. Функционально-элементный анализ показал, что взаимосвязанные элементы простого резца (передняя и задняя грани) в зависимости от толщины срезаемой стружки, переднего угла и других условий резания содействуют выполнению функций резания по-разному. Кроме того, это содействие ограничено простотой формы резца-клина. Поэтому для повышения эффективности резания рассмотренные элементы резца следует выполнять более сложными, оснащать его дополнительными элементами, приспособлять резец к конкретным режимам и условиям резания.

Ключевые слова: резец, клин, сдвиг, элемент, функция, сопротивление, деформация, отделение.

Простым называют резец, используемый для проведения исследования элементарного резания. Он имеет плоские переднюю и заднюю поверхности и прямую переднюю режущую кромку, которая при резании ориентируется перпендикулярно вектору скорости резания.

Казалось бы, функции резца, его режущей кромки, передней и задней граней достаточно полно изложены еще в 1955 г. в труде С.А. Воскресенского [2]. Тогда, почему А.Э. Грубе – другой корифей науки в рассматриваемой нами области, спустя полтора десятка лет с сожалением резюмировал следующее: «Несмотря на большое количество экспериментальных данных, уста-

навливающих оптимальное значение угловых и размерных параметров, все еще нет теории профилирования режущих элементов на базе динамики процесса резания и теоретических основ формирования поверхности обработки. Теоретические основы резания древесины не вооружают конструкторов-инструментальщиков необходимыми аналитическими данными» [3, с. 6].

Соглашаясь с тем, что и сейчас все еще нет отдельно изложенной теории профилирования резцов, с этим положением можно согласиться лишь частично. На самом деле, имеющиеся теоретические основы резания древесины способны вооружить конструкторов-инструментальщиков необходимыми данными, но для этого надо на объект посмотреть с другой стороны, а имеющиеся данные скорректировать и в ином свете представить, иначе выстроить применительно к другому целевому назначению, а именно: к проектированию инструмента, профилированию его режущих элементов, анализу их функций. В теории резания эти данные обслуживают именно теорию резания, а не инструмент. Это явно просматривается и в учебнике В.И. Любченко «Резание древесины и древесных материалов» [8], где практически повторяется изложение функций резца, приведенное С.А. Воскресенским. Но, в противоположность последнему, силы у него всегда [8] почему-то направляются на заготовку, не зависимо от того, что рассматривается (резец или заготовка). Хотя известно, что при резании эти силы различны и по величине (на резце они больше) и по сути. На заготовку действуют силы резания, на резец – сопротивление резанию [6].

Что касается работ, где рассматривается дереворежущий инструмент, то в них, например в справочнике В.Г. Морозова [9], функции элементов резца, к сожалению, не приводятся. В должной мере они не приводятся и в учебниках последних лет [1]. К тому же, в них фигурирует неадекватная формулировка понятия резания, что не способствует ясному изложению и пониманию содержания раздела «Режущие инструменты».

Поэтому для устранения указанного пробела в данной статье поставили цель – дать описание функций резца на основе его функционально-элементного анализа и исходя из нового уточненного понятия «резание».

Полезно вернуться назад и взять за исходную точку фундаментальный труд М.А. Дешевого «Механическая технология дерева» [4]. Какие точные и ясные термины он применяет! Он пишет, что задача резания – удаление с заготовки части ее материала, преодолевая сцепление между частицами. Обратите внимание, что резание – это удаление (отделение), а не разрушение [1], как утверждается теперь. Его термин «сцепление» точнее термина «связь», употребляемого в настоящее время. Далее, М.А. Дешевой пишет, что трение резца о материал – это добавочное сопротивление, а сопротивление резанию – это совокупность всех сопротивлений. Он использует термин «сопротивление резанию», а не «сила резания», как принято теперь. В самом деле, первично сопротивление заготовки резанию, а не сила резания, не сила действия резца. Не будет сопротивления резанию – не появится на резце никакая сила.

А сегодня при изложении теории резания почему-то используют только один термин: «сила резания», термин вторичный и не всегда точный. Необходимо отметить его замечательное наблюдение: «материал противодействует увлечению его за собой резцом» [4] и тем самым осуществляет «подпор». Степень этого противодействия он называет «крепостью» материала.

Прежде чем проводить функциональный анализ резца, надо определиться с тем, что называть резцом и что называть резанием.

Резец. В учебниках по резанию древесины [2, 8] резцом называется твердое тело клиновидной формы. Такая не прямая, а косвенная характеристика не раскрывает до конца подлинную сущность резца, остается какая-то тайна. Ведь надо знать не то, как выглядит резец и на что он похож, а что он есть на самом деле.

В нашем случае полезно прямо признать и принять, что простой резец – это клин, со всеми присущими ему признаками и свойствами. Но, это клин, который «укротили», «обуздали» и наклонили для того, чтобы он уже не раскалывал, не откалывал и не отщепывал, а гладко резал, внедряясь в материал и соприкасаясь с ним не обеими, а только одной гранью, используя только половину своей силы. Мы не одиноки в таком утверждении. Например, какое суждение мимоходом, не останавливаясь на пояснения, как само собой разумеющееся, излагает С.С. Некрасов: «Большинство режущих инструментов, даже очень сложных (например сверло, фреза) имеют в своей основе клин» [10, с. 5]. Близка к этому, но не столь определена и однозначна, оценка В.Г. Морозова: «Для осуществления процесса резания необходимо, чтобы режущая часть инструмента имела форму клина» [9, с. 5]. Г.А. Зотов заявляет прямо и безоговорочно: «резец – клин» [5, с. 10].

Резание. Ни в литературе по резанию древесины, ни в литературе по резанию металлов и других материалов мы не нашли устраивающую нас и корректную формулировку понятия резания, формулировку, раскрывающую сущность резания в общем, а не частном случае, раскрывающую ведущую, главную роль в нем резца и его лезвия. Ниже приводим свое определение понятия резания [7].

Резание – это способ обработки предмета (материала) путем концентрированного воздействия инструментом на его локальную область, в результате которого от предмета отделяется его часть и образуется поверхность раздела по следу перемещения концентрированного воздействия инструмента.

Мы должны признать, что в нашем определении, на самом деле, не так уж много своего, оригинального. Примененные нами термины («концентрированно», «локальная область», «след») не совсем новые, их задолго до нас употребил С.А. Воскресенский при анализе работы лезвия резца [2, с. 32, 33]. Но он сам не догадался поместить их в формулировку понятия резание, а последователи, вероятно, решили пойти своим путем либо не придали им должного значения.

Таким образом, подводя итог изложенному выше, принимаем, что резец – это клин, приспособленный для резания путем концентрированного действия на локальную область материала. А отделяемый слой материала, противодействуя, сопротивляясь увлечению его за собой лезвием и передней гранью резца-клина, непрерывно отделяется и удаляется от основной части материала.

Теперь переходим непосредственно к заявленной теме. При функциональном анализе у рассматриваемого объекта E сначала определяют его функцию F . Затем объект разделяют на ряд важных, значимых элементов E_1, E_2 и т. д., выделяя по возможности основной, исходный элемент E_0 , выполняющий основную часть функции F , функцию F_0 рассматриваемого объекта E . Затем формулируют функции F_0, F_1, F_2 и т. д., которые должны в совокупности составлять и усиливать функцию F объекта E . Функции описывают обычно следующей формулой:

$$F = (D, G, H),$$

где D – производимое действие;

G – объект, на который направлено действие;

H – особые условия и ограничения.

В рассматриваемом нами случае объект E – резец (см. рисунок), а выполняемая им функция F – резание (они сформулированы выше). Выделим на резце его элементы E_0, E_1, E_2 и последовательно определим их функции F_0, F_1, F_2 , выявляя возможности их усиления за счет внесения изменений в элементы E_0, E_1, E_2 или условия и ограничения H .

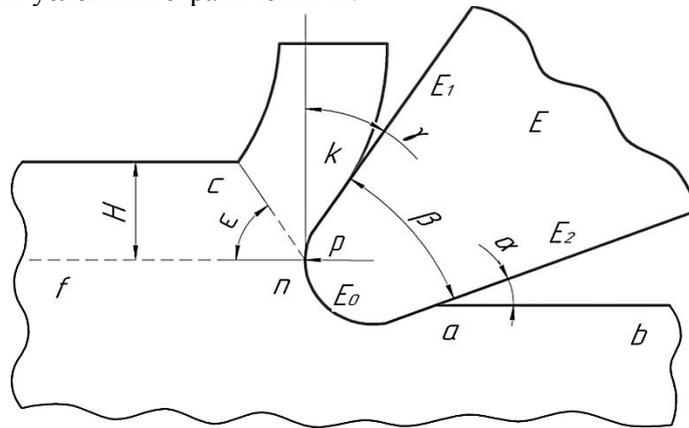


Схема резания и существенные признаки и элементы резца: E – резец; E_0 – лезвие; E_1 – передняя грань; E_2 – задняя грань; H – толщина срезаемого слоя; n – передняя точка лезвия; $n-f$ – условная линия (граница) предстоящего раздела; $n-c$ – линия сдвига; $n-k$ – протяженность контакта передней грани со срезанным слоем; $n-a$ – протяженность контакта лезвия и задней грани с обрабатываемым материалом; $a-b$ – образовавшаяся новая поверхность (след лезвия резца); β, γ, α – угол заострения резца, передний и задний углы резания; ϵ – угол сдвига срезаемого слоя; ρ – радиус закругления лезвия

Элемент E_0 – режущая кромка резца (лезвие). Это основной, исходный элемент резца, который выполняет основную функцию резца. F_0 – создает концентрированное воздействие на локальную область материала, в результате которого от материала отделяется его часть и на поверхности материала образуется поверхность раздела по следу перемещения режущей кромки, соответствующая конфигурации режущей кромки и кинематике резания. При элементарном резании простым резцом поверхность раздела представляет плоскость.

Для более полного раскрытия функции лезвия F_0 надо рассмотреть большее количество особых условий и ограничений H_0 и более подробно рассмотреть сам процесс отделения части материала.

Понятия концентрация напряжений, предел прочности пришли в теорию резания из учебников по сопротивлению материалов. Но там предел прочности имеет и другое название – временное сопротивление. А сами напряжения возникают в материале в результате его деформации (см. закон Гука). Следовательно, напряжения вторичны, деформации – первичны. К разрушению приводят предельные деформации. Поэтому в нашем случае полезнее оперировать не напряжениями, а деформациями. Концентрацию напряжений следует понимать как концентрацию деформаций, как их локальность, как предельное удаление смежных точек друг от друга.

Следует иметь в виду, что не столько от сжатия материала режущей кромкой в локальной области происходит отделение срезаемого слоя, сколько от резкого различия между сжатием материала в локальной области перед режущей кромкой и растяжением материала в смежной области, ниже режущей кромки. Одна часть материала сдвигается относительно другой.

Разрушить материал равномерным всесторонним сжатием нельзя. Разрушение происходит от неодинаковости перемещений смежных точек материала при его деформировании. При всех видах нагружения разрыв сцепления смежных точек происходит тогда, когда они удаляются друг от друга на предельное для цельности (прочности) расстояние. Путем сближения точек разорвать их сцепление нельзя.

Абсолютно острый резец не только не осуществим на практике, но и введение его в виде теоретического образа неплототворно. Но режущую кромку можно мысленно отделить от резца, придать ей различную сущность, в нашем случае представить в виде тонкой прочной нити, либо поместить на край тонкой пластинки и рассмотреть резание ею в чистом виде, без передней грани. По мере заглубления режущей кромки в древесину все больше сминаются ближние к зоне контакта и деформируются следующие слои и клетки древесины, двигаясь вместе с лезвием, как бы прилипая к нему за счет сил трения и внутреннего сцепления. Затем, под действием все возрастающего подпора древесины движению резца, материал, находящийся выше передней точки лезвия n , движется вверх вместе с отделяемым слоем H , контактирующие точки материала, лежащие ниже передней точки лезвия n , сопротивляются этому движению, противодействуют движению точек материала, находя-

щихся выше передней точки лезвия. В результате этого слой материала, контактирующий с лезвием, приобретает деформацию неравномерного растяжения. Эта неравномерность приводит к тому, что линия раздела проходит не по линии $n-f$ (см. рисунок), а выше или ниже ее. Только при достаточной величине срезаемого слоя H , коэффициенте трения, равном нулю, и изотропности материала раздел будет идти строго по линии $n-f$, что мало вероятно.

Если взять резание, когда реальное острое лезвие воздействует на слишком маленький слой отделяемой древесины H , менее $5r$, то контактные силы натяжения по линии $n-k$ недостаточны для разрыва древесины в локальной области перед лезвием. Весь слой H будет затягиваться под лезвие.

Затем, при постепенном увеличении H , силы сцепления по линии $n-a$ уже будут не в состоянии затянуть вниз весь слой H . Силы натяжения и давления по линии $n-k$ становятся достаточными для отделения срезаемого слоя H путем сдвига по линии $n-c$ под углом ε . Линия раздела пройдет ниже $n-f$, а образовавшаяся поверхность раздела $a-b$ может оказаться выше линии $n-f$ за счет восстановления упрессованной лезвием древесины.

При срезании большого слоя H , который приобретает свойства стружки-балки, создаются значительные растягивающие напряжения перед передней точкой, разгружается лезвие. Линия раздела пройдет выше линии $n-f$, а поверхность раздела $a-b$ будет ниже этой линии. При дальнейшем увеличении слоя H лезвие будет сильно разгружаться передней гранью резца, теряя свою определяющую роль в резании тем больше, чем больше H и чем больше угол заострения резца β , если только специально не снижать особыми средствами жесткость стружки-балки и не противодействовать ее сколу давлением сверху. Но это особые случаи резания древесины.

В подавляющем числе ситуаций резания режущая кромка резца является его самым нагруженным элементом, испытывающим наибольшее давление, значительно превосходящее предел прочности древесины, полученный при испытании стандартных образцов по стандартной методике, далекой от нагружения в процессе резания. Давление на лезвие зависит не только от твердости и прочности обрабатываемого материала, но и в не меньшей степени от условий резания. Линия раздела материала проходит то ниже, то выше передней точки, и все это приводит к тому, что, именно, режущая кромка подвергается при резании наибольшему износу. Для уменьшения износа лезвие должно изготавливаться из износостойкого, твердого материала с возможно меньшим коэффициентом трения с древесиной.

Для уменьшения энергии, затрачиваемой на резание, и снижения шероховатости обработанной поверхности надо повышать локальность и концентрированность приложения нагрузки к обрабатываемому материалу. Это можно осуществить несколькими путями. Можно острее затачивать резец, а чтобы его кончик не обламывался, выбирать надежный угол заострения резца, при изготовлении и заточке резца сводить к равновесному, устойчивому минимуму давление на него и сглаживать неровности и микротрещины на лез-

вии. Можно режущую кромку разорвать, превратить в пунктирную линию, т. е. в линию, состоящую из отдельных точек. Можно режущую кромку сделать не прямой, а косой, дугообразной. Но в этих случаях резец перестает быть простым.

Теперь рассмотрим следующий необходимый элемент резца E_1 – его переднюю грань. Функция ее F_1 во многом схожа с функцией клина. Но, она давит, отдирает и удаляет только одну часть материала, его срезаемый слой H . Особые условия и ограничения H_1 заключаются в том, что угол заострения β и толщина срезаемого слоя взаимосвязаны ограничениями.

Угол заострения может изменяться от 0 до 90° и более. При 0° передняя грань пассивна, она не помогает резанию, а при большей ее протяженности может увеличивать сопротивление резанию. Вместе с тем, она не позволяет отделенной части материала вновь примкнуть к оставшейся. Угол 180° самоликвидирует резец, так как лишает резец его основного элемента E_0 . Обычно, за некоторым исключением, используются углы заострения в диапазоне 35...60°, задние углы резания – 10...15°. Толщина срезаемого слоя в общем случае составляет 0,02...2 мм.

Толстый слой срезают при малом угле заострения резца. Это требует наименьших удельных затрат на резание, но приводит к невысокому качеству поверхности резания. С другой стороны, наоборот, при некотором увеличении угла заострения (уменьшении переднего угла резания γ) и уменьшении толщины срезаемого слоя повышается качество поверхности резания, но повышаются и удельные, а в целом, и общие энергозатраты на резание, так как срезаемый слой уже не столько отдирается от заготовки, сколько сжимается и сдвигается.

Получается противоречие. Срезание толстого слоя – хорошо для снижения энергоемкости резания, но плохо для качества поверхности. И, наоборот, срезание тонкого слоя – хорошо для качества поверхности, но плохо для энергозатрат.

Разрешается это противоречие не путем поиска компромисса, как это бы сделали политики, а более глубокого проникновения в суть, так, чтобы «и овцы были целы и волки сыты», т. е. практически идеальным образом. Во-первых, это делается чисто кинематически, как, например, при встречном фрезеровании, где в начале врезания зуба фрезы снимается очень тонкая стружка, при которой и формируется поверхность обработки. Далее, толщина стружки все возрастает, но это уже происходит далеко от получаемой (новой) поверхности, потому на ее качество не влияет. Во-вторых, делается конструктивными средствами. На переднюю грань резца накладывают стружколоматель. В иных случаях делают переднюю грань вогнутой, как, например, на циклевальных, гладильных ножах для зачистки поверхности после фрезерования и снятия кинематических гребешков. Но в этих случаях резание и резец перестают быть элементарными.

Рассмотрим другой необходимый элемент E_2 – заднюю грань резца-клина. Эта грань клина стала в резце задней, потому что выведена из контакта с обрабатываемым материалом и оторвана от поверхности раздела поворотом клина, вокруг режущей кромки на угол α . Функция задней грани F_2 заключается в том, чтобы был сформирован необходимый угол заострения резца β .

В процессе резания под действием сопротивления резанию и силы трения лезвие изнашивается, растет радиус закругления режущей кромки ρ , при этом, поскольку в большинстве случаев срезаются относительно тонкие стружки, на задней грани, около режущей кромки, нарабатывается фаска износа, которая вызывает сильное увеличение сил сопротивления резанию и разогрев резца. Это вредная наработка на задней грани.

Для уменьшения износа задней грани, а вместе с ней и режущей кромки, необходимо, чтобы передняя грань разгрузила заднюю, взяла на себя большую нагрузку за счет своего положения, конфигурации и выбора толщины срезаемого слоя. Полезно при этом, в разумных пределах, иметь более массивный резец, с большим углом заострения. Еще полезно изготавливать поверхность задней грани из более износостойкого материала.

Там, где это полезно, можно пойти и обратным путем – превратить вред в пользу. Можно усложнить простой резец, специально сформировав по задней грани микрофаску, повышающую стойкость резца. При относительно малых скоростях резания можно изготавливать фаску большей величины, а задний угол при ней делать даже равным нулю или отрицательным. Это позволяет задней грани часть функции режущей кромки взять на себя, разгрузить ее и тем самым локализовать положение границы раздела отделяемого слоя от заготовки, повысить качество как поверхности резания, так и получаемой стружки – продукта.

Подводя итог, следует заключить, что функционально-элементный анализ резца позволил выявить и выделить на нем его исходный, основной элемент E_0 . Подчеркиваем, именно этот метод в теории инженерно-технического творчества предусматривает такую процедуру. При других подходах исходный элемент E_0 не ищется, не ищется этот важнейший элемент и поэтому не акцентируется его значение в исследуемом объекте, он в значительной мере заслоняется «толпой» других, менее важных элементов.

На резце-клине исходным элементом E_0 является его режущая кромка – край, находящийся на смыкании и окончании передней E_1 и задней E_2 поверхностей резца E . Этот край (кромка) и осуществляет резание F , отделение от предмета его части путем силового, концентрированного воздействия на локальную область предмета. Клиновидная форма резца придает режущей кромке необходимую прочность и жесткость, передает энергию.

Режущую кромку резца можно отделить от резца в виде тонкой нити (провода) и резать ею мягкие материалы, продукты. Можно эту нить разорвать на мелкие части и получить из них абразивные зерна, а собрав их вместе, изготовить шлифовальный инструмент. Можно пойти еще дальше, совсем

обойтись без этой нити, а функцию E_0 возложить на передний край энергетического потока (лазерного излучения, струи воды и т. п.). Вот что вытекает из нахождения на резце элемента E_0 и применения новой формулировки понятия резания.

Если же взять резец-клин в целом, то чем острее его кромка и чем меньше его угол заточки, тем более концентрированно и более локально, менее повреждающе действует он на обрабатываемый материал. Это используется при срезании толстых стружек. При снятии тонких стружек локальность воздействия обеспечивается уже самой малой толщиной стружки, поэтому без какого-либо урона, а наоборот с большим успехом, применяют большие углы резания. Это повышает устойчивость и качество процесса резания.

Функционально-элементный анализ простого резца также показал, что взаимосвязанные элементы резца (передняя E_1 и задняя E_2 грани) содействуют выполнению функций резания лезвия E_0 различно в зависимости от толщины срезаемой стружки, переднего угла и других условий резания. Кроме того, это содействие ограничено простотой формы резца-клина. Поэтому для повышения эффективности резания рассмотренные элементы резца E_1 и E_2 , а также и E_0 следует выполнять более сложными, оснащать резец дополнительными элементами, лучше приспособлять его к конкретным режимам и условиям резания.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Амалицкий В.В. Оборудование отрасли. М.: МГУЛ, 2006. 584 с.
2. Воскресенский С.А. Резание древесины М; Л.: Гослесбумиздат, 1955. 200 с.
3. Грубе А.Э. Дереворежущие инструменты. 3-е изд., перераб. и доп. М.: Лесн. пром-сть, 1971. 344 с.
4. Дешевой М.А. Механическая технология дерева: приемы, орудия и машины, используемые при механической обработке дерева. Ч. 1 : приемы механической обработки дерева. Л.: [Б. и.], 1934. 511 с.
5. Зотов Г.А., Швырев Ф.А. Подготовка и эксплуатация дереворежущего инструмента: учеб. для профтехучилищ. 4-е изд., перераб. и доп. М: Лесн. пром-сть, 1986. 301 с.
6. Иванов С.В. К терминологии и способу измерения сил при резании древесины // Науч. тр. МЛТИ. 1974. № 76. С. 25–42.
7. Иванов С.В., Шаранов Е.С. Резание древесины: обзор, анализ и формулировка понятия // Лесн. журн. 2013. № 6. С. 86–90. (Изв. высш. учеб. заведений).
8. Любченко В.И. Резание древесины и древесных материалов: учеб. пособие для вузов. М: Лесн. пром-сть, 1986. 296 с.
9. Морозов В.Г. Дереворежущий инструмент: справ. М.: Лесн. пром-сть, 1988. 344 с.
10. Некрасов С.С. Соппротивление хрупких материалов резанию. М.: Машиностроение, 1971. 186 с.

Поступила 26.08.14

UDC 674.05

Functional and Element Analysis of a Simple Cutter

S.V. Ivanov, Candidate of Engineering, Associate Professor

E.S. Sharapov, Candidate of Engineering, Associate Professor

A.S. Korolev, Postgraduate Student

Volga State University of Technology, Lenin sq., 3, Yoshkar-Ola, Republic of Mari El, 424000, Russia; e-mail: sharapov_evgeniy@mail.ru

Even now, in 21 century, there is no separately explained theory of simple cutter profiling, however, available theoretical bases of the wood cutting theory are capable to arm designers with necessary data. But it is necessary to look at considered object from the other side and to correct available data in some moments, to present in other light, otherwise, to line up to other mission, especially for cutting tool designing, for the analysis and profiling it's cutting elements. Based on the functional element analysis were marked main cutter's elements – front face, back face and cutting edge which is perpendicular to the cutting velocity vector. Elements of the simple cutting tool are: cutting edge, front surface, back surface. Elements and the whole of object functions were described in the natural form, with necessary imposition on them special conditions and limits. On the cutter-wedge main element is the cutting edge, the edge which located on the connection and at the end of the front and back faces of the cutter. This edge effect on cutting process: separation from the object of the part by the forceful, concentrated impact on the local area of this subject. V-shaped form of the cutting edge gives the required strength and rigidity, transfer the energy. Functional element analysis of the simple cutter showed that the interrelated elements of cutter – front and back, surfaces assist to cutting process function by cutting edge differently, depending on the thickness of the chips, rake angle and other cutting process conditions. In addition, assistance is limited by simple shape of the cutter-wedge. Therefore, to increase the efficiency of the cutting process reviewed elements of the cutter should be made more complex, equipped cutter with additional elements, adapt cutter to the specific terms and conditions of cutting process.

Keywords: cutter, wedge, creeping, element, function, resistance, deformation, division.

REFERENCES

1. Amalitskiy V.V. *Oborudovanie otrasli* [Woodworking Equipment]. Moscow, 2006. 584 p.
2. Voskresenskiy S.A. *Rezanie drevesiny* [Wood Cutting]. Moscow, 1955. 200 p.
3. Grube A.E. *Derevrezhushchie instrumenty* [Woodcutting Tools]. Moscow, 1971. 344 p.
4. Deshevoy M.A. *Mekhanicheskaya tekhnologiya dereva: priemy, orudiya i mashiny, ispol'zuemye pri mekhanicheskoy obrabotke dereva. Ch. 1 : priemy mekhanicheskoy obrabotki dereva* [Wood Mechanical Technology: Receptions, Tools and Equipment, used in Wood Mechanical Technology. Part 1: Wood Technology Methods]. Leningrad, 1934. 511 p.
5. Zotov G.A., Shvyrev F.A. *Podgotovka i ekspluatatsiya derevrezhushchego instrumenta* [Preparation and Operation of Woodcutting Tools]. Moscow, 1986. 301 p.

6. Ivanov S.V. *K terminologii i sposobu izmereniya sil pri rezanii drevesiny* [To Nomenclature and a Way of Wood Cutting Forces Measurements]. 1974, no. 76, pp. 25–42.
7. Ivanov S.V., Sharapov E.S. *Rezanie drevesiny: obzor, analiz i formulirovka ponyatiya* [Wood Cutting: Overview, Analysis and Concept Formulation]. *Lesnoy Zhurnal*, 2013, no. 6, pp. 86–90.
8. Lyubchenko V.I. *Rezanie drevesiny i drevesnykh materialov* [Wood and Wood Materials Cutting]. Moscow, 1986. 296 p.
9. Morozov V.G. *Derevrezhushchiy instrument* [Woodcutting Tools]. Moscow, 1988. 344 p.
10. Nekrasov S.S. *Soprotivlenie khrupkikh materialov rezaniyu* [Cutting Resistance of Friable Materials]. Moscow, 1971. 186 p.

Received on August 26, 2014



УДК 634*861

ВЫДЕЛЕНИЕ ЭКСТРАКТИВНЫХ ВЕЩЕСТВ ИЗ ЛУБА КОРЫ БЕРЕЗЫ ПРИ ВОЗДЕЙСТВИИ СВЧ-ПОЛЯ

А.И. Захарова, асп.

С.И. Третьяков, канд. техн. наук, проф.

Н.А. Кутакова, канд. техн. наук, проф.

Е.Н. Коптелова, канд. техн. наук, преп.

Северный (Арктический) федеральный университет им. М.В. Ломоносова,
наб. Северной Двины, д. 17, г. Архангельск, Россия, 163002; e-mail: allenza@yandex.ru

Изучено влияние расхода щелочи и концентрации этилового спирта при проведении сверхвысокочастотной экстракции луба коры березы. Использовался луб, полученный путем отделения от технической бересты. Выбор луба обусловлен тем, что в нем содержится больше веществ, подверженных экстракции горячей водой, по сравнению с берестой. Данная береста является отходом окорки древесины березы. Эксперименты проводили с применением сверхвысокочастотной камеры, так как использование сверхвысокочастотного поля позволяет эффективно осуществить процесс экстракции и сократить ее продолжительность. Независимыми параметрами были выбраны: концентрация этилового спирта, расход щелочи (КОН), жидкостной модуль. Выходными параметрами являются выход экстрактивных веществ и продолжительность фильтрации проэкстрагированного луба. Изучено влияние основных параметров на процесс сверхвысокочастотной экстракции березовой коры. В ходе выполнения опытов было выявлено, что концентрация этилового спирта и расход щелочи оказывают существенное влияние на выход экстрактивных веществ. При снижении концентрации этилового спирта и увеличении расхода щелочи, выход экстрактивных веществ повышается и проходит через максимум при увеличении жидкостного модуля. Показано, что с увеличением расхода КОН от 10 до 30 % выход экстрактивных веществ возрастает, с увеличением концентрации этилового спирта от 10 до 30 % он уменьшается, с повышением жидкостного модуля от 10:1 до 20:1 – проходит через максимум. Было определено изменение продолжительности фильтрации от концентрации этилового спирта, расхода КОН и жидкостного модуля. Продолжительность фильтрации уменьшается при увеличении концентрации этилового спирта и снижается при уменьшении жидкостного модуля. Найдены оптимальные условия процесса сверхвысокочастотной экстракции по выходу экстрактивных веществ и продолжительности фильтрации. Оптимальные условия необходимы для того, чтобы достичь максимального значения выхода исходя из минимальной продолжительности процесса фильтрации. Исследована кинетика процесса экстракции с использованием сверхвысокочастотной камеры. Определено влияние выхода экстрактивных веществ от продолжительности экстрагирования. Установлено, что при сверхвысокочастотной экстракции возрастает скорость процесса и выход экстрактивных веществ по сравнению с экс-

тракцией методом настаивания. Определено время, за которое достигается выход, соответствующий содержанию экстрактивных веществ в исходном сырье.

Ключевые слова: луб, экстрактивные вещества, сверхвысокочастотная экстракция.

Березовая кора состоит из внешнего (береста) и внутреннего (луб), слоев, которые значительно отличаются по химическому составу [5]. Луб березовой коры, составляющий основную ее часть (около 80 %), содержит водорастворимые вещества, наиболее ценными из которых являются таниды – полифенольные соединения, обладающие дубящими свойствами.

Как было определено в работе [7], водорастворимые полифенолы (таниды), содержание которых в лубе может составлять 10 %, представлены катехинами, флавонолами, фенолкарбоновыми кислотами и другими соединениями. Луб содержит в 20 раз больше веществ, экстрагируемых горячей водой; в бересте веществ, извлекаемых 1 %-м раствором NaOH, больше, чем в лубе (соответственно 34,5 и 25,5 %) [2].

При наличии довольно высокого содержания танидов (8...11 % масс.) становится возможным проведение исследований по переработке луба с получением природных дубильных экстрактов, имеющих достаточный уровень качества [6].

В работе [3] показано, что одним из эффективных способов экстракции растительных материалов является микроволновая обработка в сверхвысокочастотном (СВЧ) поле. Основным преимуществом СВЧ-экстракции перед традиционными способами экстрагирования является значительное сокращение продолжительности экстракции, как правило, от нескольких секунд до нескольких минут (15...20 мин).

Цель настоящей работы – выделение экстрактивных веществ из луба коры березы при воздействии СВЧ-поля с определением оптимальных условий процесса.

Экспериментальная часть

Исходным сырьем в данной работе является измельченный луб (фракция менее 1 мм), отделенный от технической бересты, – отхода окорки березовой древесины, полученной на Архангельском фанерном заводе. Влажность луба 10 %. В качестве экстрагента использовали водный раствор этилового спирта (этанола) с добавлением гидроксида калия (KOH).

Экстракцию вели в СВЧ-камере, подробное описание которой представлено в работе [4]. Сначала луб загружали в колбу и заливали соответствующим количеством экстрагента, колбу помещали в СВЧ-камеру и подсоединяли ее к обратному холодильнику, затем включали мешалку. Полученный раствор фильтровали. Для фильтрования применяли двухслойный фильтр: нижний слой – фильтровальная бумага, верхний слой – фильтрующая ткань (полиэстер), уровень фильтрации которой 10...50 мкм. Далее фильтрат упаривали на водяной бане.

Основные факторы и уровни их варьирования при реализации планированного эксперимента представлены в табл. 1. Продолжительность процесса экстракции с использованием СВЧ-установки составляет 15 мин.

В качестве независимых параметров были определены: X_1 – концентрация этилового спирта (C_2H_5OH), %; X_2 – расход KOH , %; X_3 – жидкостной модуль, мл/г. В качестве выходного параметра Y служил выход ЭВ, % от массы луба.

Условия планированного эксперимента и выходные данные представлены в табл. 2.

Таблица 1

Основные факторы и уровни их варьирования

Характеристика плана	Переменные факторы		
	Концентрация C_2H_5OH , %	Расход KOH , %	Жидкостной модуль, мл/г
Основной уровень X_i^0 (0)	20	15	15
Шаг варьирования λ_i	10	5	5
Верхний уровень X_i^+ (+1)	30	20	20
Нижний уровень X_i^- (-1)	10	10	10

Таблица 2

Условия планированного эксперимента

№ опыта	Концентрация C_2H_5OH (X_1), %	Расход KOH (X_2), %	Жидкостной модуль (X_3), мл/г	Выход ЭВ (Y), %
1	10	10	10	15
2	30	10	10	10
3	10	20	10	20
4	30	20	10	21
5	10	10	20	15
6	30	10	20	15
7	10	20	20	30
8	30	20	20	22
9	3	15	15	33
10	37	15	15	21
11	20	6	15	11
12	20	23	15	26
13	20	15	6	10
14	20	15	23	24
15	20	15	15	25
16	20	15	15	27
17	20	15	15	21
18	20	15	15	24
19	20	15	15	26
20	20	15	15	25

Примечание. Опыты с 1 по 8 – основные; с 9 по 14 – звездные точки; с 15 по 20 – центр плана («0»).

Обсуждение результатов

В результате математической обработки [1] экспериментальных данных для выхода ЭВ получено уравнение регрессии:

$$Y = 24,74 - 2,29 x_1 + 4,61x_2 + 2,90x_3 - 2,61 x_2^2 - 3,14 x_3^2.$$

Проверку уравнения регрессии на адекватность осуществляли с помощью критерия Фишера (F). Полученное нами значение $F = 2,19$ меньше табличного, равного 4,78, при уровне значимости 0,05 и числе степеней свободы $f_1 = 9, f_2 = 5$. Таким образом, можно сделать вывод о том, что уравнение регрессии адекватно эксперименту.

С помощью этого уравнения регрессии построены поверхности отклика для выхода ЭВ, представленные на рис. 1. Показано, при увеличении расхода КОН от 13 до 20 % выход ЭВ возрастает от 20 до 30 %, при повышении концентрации этилового спирта от 3 до 37 % выход ЭВ уменьшается от 30 до 10 %.

С увеличением жидкостного модуля (ЖМ) от 6 до 20 выход ЭВ проходит через максимум и приближается к 40 %. При этом один из параметров зафиксирован на значении, соответствующем центру плана.

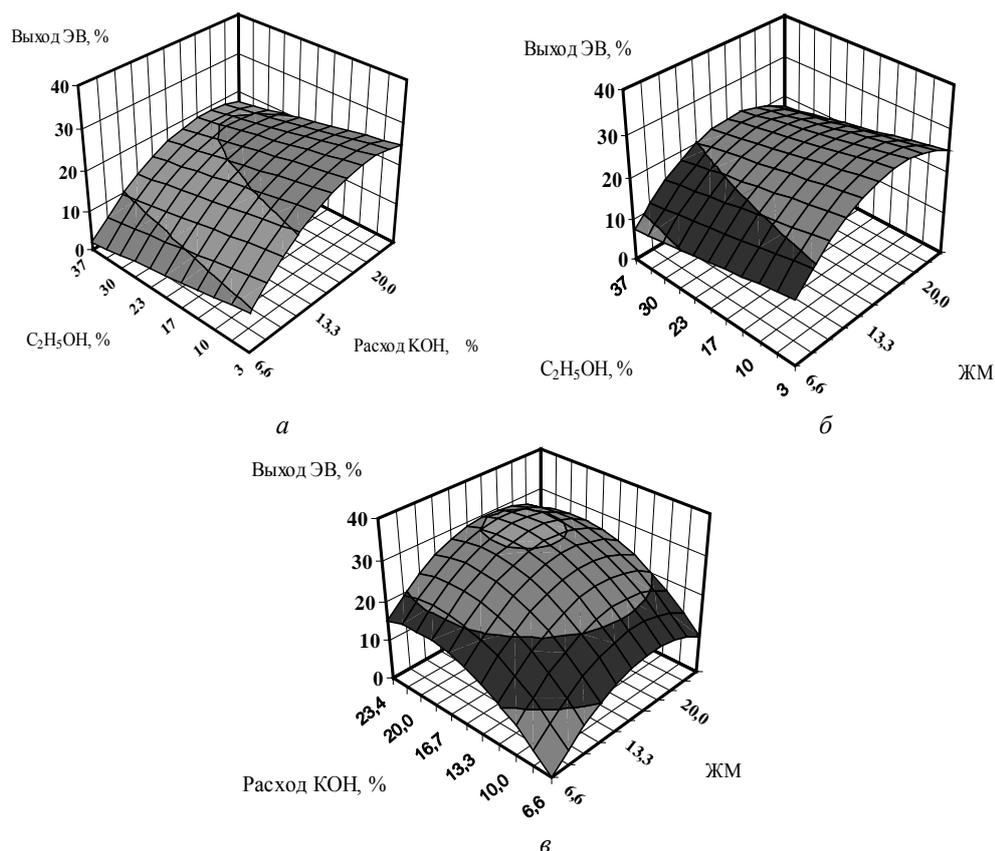


Рис. 1. Поверхности отклика для выхода ЭВ в зависимости от концентрации C_2H_5OH и расхода КОН (а), концентрации C_2H_5OH и ЖМ (б), расхода КОН и ЖМ (в)

Одним из важных технологических параметров является продолжительность фильтрации. В результате математической обработки экспериментальных данных для продолжительности фильтрации (ПФ) получено уравнение регрессии:

$$\bar{Y} = 14,20 + 3,49 x_2 - 3,72x_3 + 8,25x_1 x_3 - 2,00 x_2 x_3 + 3,44 x_1^2 + 1,67 x_2^2 + 3,44 x_3^2 .$$

С помощью этого уравнения регрессии построены поверхности отклика для продолжительности фильтрации, представленные на рис. 2. Проверку полученного уравнения регрессии на адекватность также осуществляли с помощью критерия F . Исходя из того, что полученное нами значение критерия $F = 4,58$ меньше табличного, равного 4,89, при уровне значимости 0,05 и числе степеней свободы $f_1 = 7, f_2 = 5$. Таким образом, уравнение регрессии адекватно эксперименту.

На рис. 2 показано, что с уменьшением расхода КОН от 20 до 6 % продолжительность фильтрации снижается от 40 до 10 мин. Увеличение концентрации этилового спирта от 3 до 37 % приводит к изменению продолжительности фильтрации от 60 до 10 мин. С уменьшением жидкостного модуля с 23 до 6 продолжительность фильтрации снижается от 40 до 10 мин.

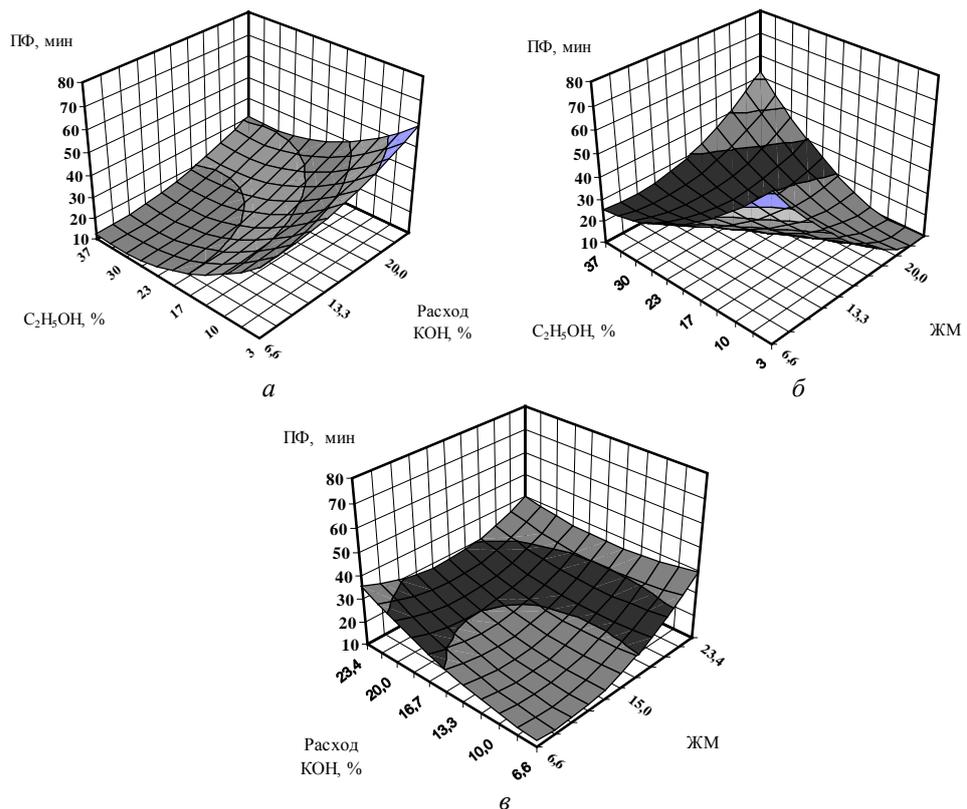


Рис. 2. Поверхности отклика для продолжительности фильтрации (ПФ) в зависимости от концентрации С₂Н₅ОН и расхода КОН (а), концентрации С₂Н₅ОН и ЖМ (б), расхода КОН и ЖМ (в)

В результате планированного эксперимента определены оптимальные условия СВЧ-экстракции для выхода ЭВ и продолжительности фильтрации: концентрация C_2H_5OH – 10 %; расход KOH – 16 %; ЖМ – 16.

При этих оптимальных условиях были проведены исследования кинетики процесса СВЧ-экстракции и для сравнения экстракции методом настаивания при 90 °С. Использовали измельченный луб (фракция менее 1 мм).

Общая продолжительность СВЧ-экстракции составила 15 мин. Отбор проб производили через каждые 2 мин. Последнюю пробу отбирали через 15 мин от начала опыта. Экстракцию методом настаивания проводили в течение 120 мин. В начале пробы отбирали через каждые 2 мин, затем – через 5 мин, в конце опыта – через 30 мин.

На рис. 3 показаны зависимости выхода ЭВ от продолжительности процесса экстрагирования, из которых видно, что скорость процесса при воздействии СВЧ-поля возрастает в 1,5 – 2,0 раза, выход ЭВ – от 20 до 34 %. При СВЧ-экстракции в течение 15 мин достигается выход ЭВ, соответствующий их содержанию в лубе.

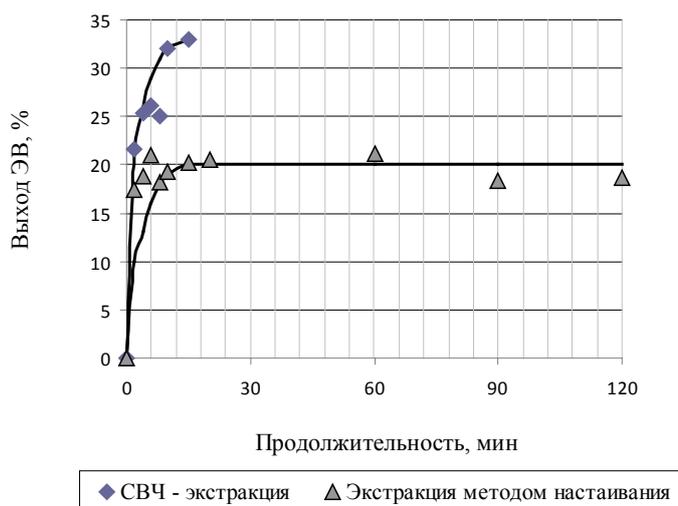


Рис. 3. Динамика спирто-щелочной экстракции луба

Выводы

1. Изучено влияние основных параметров на процесс СВЧ-экстракции луба березовой коры: концентрации C_2H_5OH , расхода KOH , жидкостного модуля. Показано, что выход ЭВ с увеличением расхода KOH от 10 до 30 % возрастает, с ростом концентрации C_2H_5OH от 10 до 30 % – уменьшается, с увеличением жидкостного модуля от 10:1 до 20:1 он проходит через максимум.

2. Определены оптимальные условия процесса экстрагирования для достижения максимального выхода с учетом минимальной продолжительности фильтрации. Показано, что при воздействии СВЧ-поля скорость экстракции и выход ЭВ возрастают в 1,5 – 2,0 раза.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Богданович Н.И., Кузнецова Л.Н., Третьяков С.И., Жабин В.И. Планирование эксперимента в примерах и расчетах: учеб. пособие. Архангельск: Изд-во САФУ, 2010. 126 с.
2. Ведерников Д.Н., Шабанова Н.Ю., Роцин В.И. Изменение химического состава корки и луба березы повислой *Betula pendula* Roth. (*Betulaceae*) по высоте дерева // Химия растительного сырья. 2010. № 2. С. 43–48.
3. Коптелова Е.Н., Кузнецова Л.Н., Кутакова Н.А., Третьяков С.И. Интенсификация процесса выделения бетулина из бересты с использованием СВЧ-поля // Лесн. журн. 2013. № 5. С. 193–201. (Изв. высш. учеб. заведений).
4. Коптелова Е.Н., Кутакова Н.А., Третьяков С.И. Извлечение экстрактивных веществ и бетулина из бересты при воздействии СВЧ-поля // Химия растительного сырья. 2013. № 4. С. 159–164.
5. Похило Н.Д., Уварова Н.И. Изопреноиды различных видов рода *Betula* // Химия природных соединений. 1988. Т. 3. С. 325–341.
6. Рязанова Т.В., Кузнецов Б.Н., Кузнецова С.А., Левданский В.А., Чупрова Н.А., Киселев Е.Г. Оптимизация процесса получения дубильного экстракта из луба березовой коры // Химия растительного сырья. 2004. № 3. С. 2–33.
7. Черняева Г.Н., Долгодворова С.Я., Бондаренко С.М. Экстрактивные вещества березы. Красноярск: Ин-т леса СО РАН, 1986. 125 с.

Поступила 17.11.2014

UDC 634*861

Extractives Isolation Procedure from Birchbark Bast on Exposure to the Microwave Field*A.I. Zakharova, postgraduate student**S.I. Tret'yakov, candidate of Engineering, Professor**N.A. Kutakova, candidate of Engineering, Professor**E.N. Koptelova, candidate of Engineering, Teaching Assistant*

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

The paper investigates the effect of alkali consumption and ethyl alcohol concentration during the microwave extraction from birchbark bast. The bast obtained by separation from the technical bark was used. Bast was chosen due to the number of substances exposed to the hot water extraction as distinct from birchbark. This birchbark is a waste of raw material barking. Experiments were performed with the use of the microwave chamber, since the use of a microwave field allows effectively to carry out the extraction process and to reduce its duration. The independent selected parameters were the next: ethyl alcohol concentration, alkali consumption (KOH), liquid module. The output data are: extractives yield and a period of extracted bast filtration. The influence of the basic parameters of the process of microwave extraction of birchbark is studied. In the course of the experiments it was found that ethyl alcohol concentration and alkali consumption have a significant effect on the yield

of extractives. The output of extractives can be speeded by reducing the ethyl alcohol concentration and increasing alkali consumption and it culminates with increasing liquid module. The yield of extractives increases if KOH consumption increases of from 10 to 30 %; it decreases if ethyl alcohol concentration increases from 10 to 30 %; it culminates if liquid module increases from 10:1 to 20:1. The dependence of the filtration period of ethyl alcohol concentration, KOH consumption and a liquid module was determined. The period of filtration decreases by increasing ethyl alcohol concentration and it decreases as the liquid module is decrease. The optimal parameters of microwave extraction process concerning the yield of extractives and filtration period are established. These parameters are required to attain the maximum output value based on the minimum time duration of a period of filtration. The kinetics of the extraction process with the use of microwave chamber. The microwave extraction increases the seed of the process speed and output of extractives as distinct from the by infusion. The period of the output, corresponding to the content of extractives in the feedstock is defined.

Keywords: cork, extractives, microwave extraction.

REFERENCES

1 *Planirovanie jeksperimenta v primerah i raschetah*: [Design of an Experiment in Examples and Calclations] / Ed. by N.I. Bogdanovich, L.N. Kuznecova, S.I. Tret'jakov, V.I. Zhabin. Arkhangelsk: Northern (Arctic) Federal University, 2010. p. 126

2 Vedernikov D.N., Shabanova N.Ju., Roshhin V.I. *Izmenenie himicheskogo sostava korki i luba berezy povisloj betula pendula roth. (Betulaceae) po vysote dereva.* [Change in the Chemical Composition of the Crust and Bast of Birch *Betula Pendula Roth. (Betulaceae)* Along the Tree Height]. *Khimiya rastitel'nogo syr'ja* Chemistry of plant raw material, 2010. no. 2. pp. 43–48.

3 Koptelova E.N., Kuznetsova L.N., Kutakova N.A., Tret'yakov S.I. *Intensifikacija processa vydelenija betulina iz beresty s ispol'zovaniem SVCh – polya* [Intensification of the Betulin Isolation Procedure Birchbark with the Use Microwave – Field]. *Lesnoy zhurnal*, 2013. no. 5. pp. 193–201.

4 Koptelova E.N., Kutakova N.A., Tret'yakov S.I. *Iz vlechenie ekstraktivnyh veshhestv i betulina iz beresty pri vozdejstvii SVCh - polya* [Extractives and Betulin Recovery from BirchBark with the Use of Microwave Field]. *Himiya rastitel'nogo syr'ya* [Chemistry of plant raw material], 2013. no. 4. pp. 159–164.

5. Pohilo N.D., Uvarova N.I. *Izoprenoidy razlichnyh vidov roda betula* [Isoprenoids of Different Species of the Genus *Betula*. *Khimiya prirodnykh soedineniy* [Chemistry of Natural Compounds], 1988. vol. 3. pp. 325–341.

6 Ryazanova T.V., Kuznetsov B.N., Kuznetsova S.A., Levanskii V.A., Chuprova N.A., Kiselev E.G. *Optimizaciya processa polucheniya dubil'nogo ekstrakta iz luba berezovoy kory* [Process Optimization of obtaining Tanning Extract from Birch Bark Bast. *Khimiya rastitel'nogo syr'ya* [Chemistry of Plant Raw Material], 2004. no. 3. pp. 29–33.

7. Chernjaeva G.N., Dolgodvorova S.Ja., Bondarenko S.M. *Ekstraktivnye veshhestva berezy* [Birch Extractives]. Krasnoyarsk, 1986. p. 125.

Received on November 17, 2014

УДК 676.164.8

**К ВОПРОСУ О ДЕЛИГНИФИКАЦИИ
ДРЕВЕСИНЫ БЕРЕЗЫ В СИСТЕМЕ
ГИДРОКСИД КАЛИЯ–ГИДРАЗИН–ИЗОБУТИЛОВЫЙ СПИРТ–ВОДА**© *В.А. Удальцов, асп.*Г.А. Пазухина, *д-р техн. наук, проф.*

С.-Петербургский государственный лесотехнический университет имени С.М. Кирова, Институтский пер., д. 5, г. С.-Петербург, Россия, 194021; e-mail: vudalcv@rambler.ru; gal.pazukhina@yandex.ru

Для развития технологии щелочной варки древесины в целях получения целлюлозы предложено применять в качестве основного делигнифицирующего реагента гидроксид калия и использовать разработанную на его основе композиционную варочную систему: гидроксид калия–гидразин–изобутиловый спирт–вода. Цель исследования – установить влияние этой системы на процесс делигнификации древесины березы, а также выявить роль гидразина в этом процессе. Особенностью делигнификации древесины в исследуемой системе является предварительная пропитка щепы водным раствором, содержащим гидроксид калия и гидразин, отбор избытка пропиточного раствора и последующая варка с введением изобутилового спирта. Переменные факторы: концентрация гидроксида калия в пропиточном растворе (80 ... 200 г $K_2O/дм^3$) и конечная температура варки (120...140 °С). В результате была получена целлюлоза с широким диапазоном выхода (46,6...55,2 %) при содержании лигнина 2,4...17,6 % от массы целлюлозы. По мере понижения конечной температуры от 140 до 130 °С при равной продолжительности варки делигнификация древесины березы до одинакового количества остающегося в целлюлозе лигнина происходит со значительным увеличением концентрации гидроксида калия в используемом для пропитки растворе. Начиная с температуры 125 °С, процесс делигнификации существенно замедляется, и получить целлюлозу с содержанием лигнина менее 5,6 % от массы древесины в пределах применяемых концентраций гидроксида калия в задаваемом на пропитку растворе не удалось. Установлено, что гидразин как восстановитель наибольшую активность проявляет во время разложения на газообразные продукты: N_2 , H_2 и NH_3 . Чем выше температура варки, тем больше расход гидразина на химические реакции и тем более глубоко происходит процесс делигнификации древесины березы при равных продолжительности варки и концентрации гидроксида калия в растворе, используемом на пропитку. Понижение конечной температуры варки до 125 °С (и особенно до 120 °С) резко замедляет процесс делигнификации, несмотря на увеличение концентрации гидроксида калия до 200 г $K_2O/дм^3$, и усиливает деструкцию углеводов. Установлено, что конечная температура варки древесины березы в системе гидроксид калия–гидразин–изобутиловый спирт–вода лимитируется температурой разложения гидразина на газообразные продукты и может быть понижена до 130 °С без ущерба для выхода целлюлозы и скорости делигнификации.

Ключевые слова: делигнификация, древесина, береза, гидроксид калия, гидразин, изобутиловый спирт, вода.

Введение

Проблема острого дефицита энергетических ресурсов в мире может быть решена за счет поиска новых источников энергии и разработки энергосберегающих технологий для производства различных видов продукции. Второй путь более перспективен, так как позволяет решать как экологические, так и экономические проблемы производства.

Одним из перспективных направлений дальнейшего развития щелочной варки целлюлозы является замена основного делигнифицирующего реагента гидроксида натрия на гидроксид калия и создание на его основе композиционных варочных систем, когда каждый вводимый в систему компонент вносит свой особый вклад в решение проблем щелочного способа варки. Имеющиеся в литературе сведения о взаимодействии гидроксида калия с древесиной достаточно скудны [2, 5, 8, 12]. Однако за последние 10 лет интерес к этому виду основания существенно повысился в связи с увеличивающимся вовлечением в производство целлюлозы отходов сельскохозяйственного производства [9–11].

Соединения калия широко востребованы во многих отраслях промышленности, но основным потребителем остается аграрное производство. Применение гидроксида калия при получении целлюлозы возможно, если содержащиеся в отработанном после выделения целлюлозы растворе соединения калия и продукты деструкции растительного сырья использовать в качестве органоминеральных удобрений. Известно [7], что лигнин и его производные, получаемые в виде отходов производства целлюлозы, повышают агрохимическую эффективность минеральных удобрений, продукты деструкции углеводов служат источником энергии для почвенной микрофлоры [1].

Особый интерес для выделения целлюлозы из древесины представляет варочная система, состоящая из гидроксида калия, гидразина, изобутилового спирта и воды [4]. Гидразин, являясь восстановителем и щелочным реагентом, ускоряет процесс делигнификации древесины и одновременно защищает углеводные компоненты от реакции отщепления («*peeling*»), повышая выход целлюлозы. Ограниченно смешивающийся с водой изобутиловый спирт не растворяет гидроксид калия и гидразин. После пропитки древесной щепы водным раствором, содержащим гидроксид калия и гидразин, и отбора избытка пропиточного раствора добавляемый на варку изобутиловый спирт препятствует выходу из капиллярно-пористой системы древесины делигнифицирующих реагентов, сохраняя их высокую концентрацию в зоне реакций.

В данной работе исследовано влияние концентрации гидроксида калия в растворе, задаваемом на пропитку, и температуры варки на процесс делигнификации древесины березы в системе гидроксид калия–гидразин–изобутиловый спирт–вода.

Экспериментальная часть

Для исследования использовали спелую (65 лет) древесину березы повислой *Betula pendula*, заготовленную в Тосненском р-оне Ленинградской обл. Компонентный состав этого образца, %: целлюлоза Кюршнера–Хоффера – 45,8; целлюлоза Кюршнера–Хоффера за вычетом пентозанов – 40,6; лигнин – 20,9; пентозаны – 24,6; смола (экстракция ацетоном) – 2,0; вещества, растворимые в горячей воде – 1,8; зола – 0,14 (от массы абс. сух. древесины) [3]. Варке подвергали воздушно-сухую щепу длиной 20...25 мм, шириной 20...25 мм, толщиной 2...4 мм. Пропитку и варки проводили в стальных автоклавах вместимостью 0,4 дм³, обогреваемых в глицериновой бане. В каждый автоклав загружали 30 г воздушно-сухой щепы. Условия пропитки были определены в ранее проведенных исследованиях [6]: температура (20±2) °С,

**Результаты варок древесины березы в системе
гидроксид калия–гидразин–изобутиловый спирт–вода**

№ варки	Конечная температура варки, °С	Концентрация КОН на пропитку, г К ₂ О /дм ³	Выход целлюлозы, % от массы древесины	Лигнин, % от массы целлюлозы
1	140	80	51,2	7,9
2		90	50,1	6,8
3		100	49,0	5,5
4		110	47,9	4,0
5		120	46,6	2,4
6	135	100	50,4	8,6
7		110	49,8	7,6
8		120	48,9	6,4
9		130	48,1	5,2
10		140	47,1	4,1
11	130	100	52,5	12,0
12		110	52,0	11,1
13		120	51,2	10,2
14		130	50,4	9,2
15		140	49,7	8,1
16		160	48,3	6,8
17		180	46,7	4,2
18	125	160	52,6	13,5
19		170	51,7	12,9
20		180	50,9	12,5
21		190	50,0	12,0
22		200	48,7	11,4
23	120	140	55,2	17,6
24		150	54,3	17,3
25		160	53,6	17,2
26		180	51,8	16,9
27		200	50,4	16,4

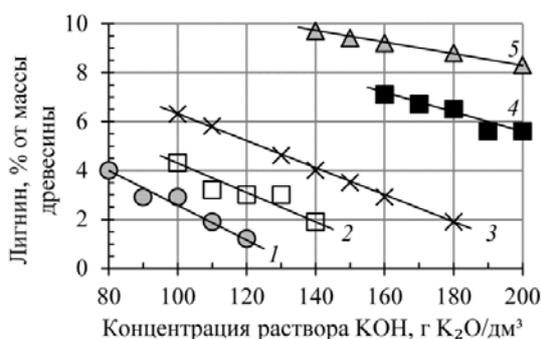
продолжительность 5 ч, жидкостный модуль 4:1. Содержание гидразина в пропиточном растворе составляло 20 % от массы абс. сух. древесины и было одинаковым для всех серий варок. По завершении пропитки отбирали одинаковый объем отекающего раствора и добавляли равное количество изобутилового спирта с сохранением жидкостного модуля при варке 3,5:1,0. Температурный график варки: подъем температуры до конечной – 30 мин, варка на конечной температуре – 150 мин. Переменными факторами варки являлись концентрация гидроксида калия в пропиточном растворе – 80...200 г $K_2O/дм^3$; конечная температура варки – 140...120 °С.

Результаты исследования и их обсуждение

В результате выполненных экспериментов были получены образцы целлюлозы, имеющие широкий диапазон выхода (46,6...55,2 % от массы древесины) при содержании лигнина 2,4...17,6 % (см. таблицу).

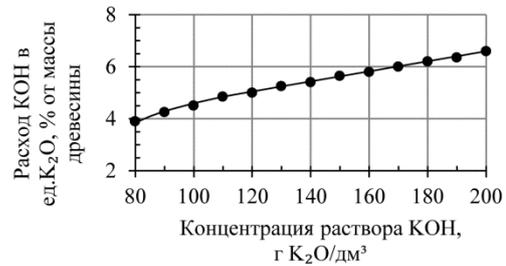
По мере понижения конечной температуры от 140 до 130 °С при равной продолжительности варки делигнификация древесины березы до одинакового количества остающегося в целлюлозе лигнина происходит со значительным увеличением концентрации гидроксида калия в пропиточном растворе (рис. 1). Так, например, для достижения содержания лигнина в целлюлозе 4 % от массы древесины при конечной температуре варки 140 °С достаточно иметь концентрацию гидроксида калия в пропиточном растворе 80 г $K_2O/дм^3$, а при конечной температуре 130 °С ее необходимо увеличивать до 140 г $K_2O/дм^3$.

Рис. 1. Зависимость содержания лигнина в целлюлозе от концентрации КОН в пропиточном растворе и конечной температуры варки: 1 – ○ 140 °С; 2 – □ 135; 3 – × 130; 4 – ■ 125; 5 – ▲ 120 °С

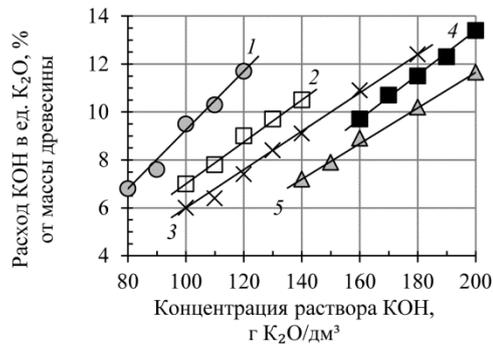


Для достижения более глубокой степени делигнификации целлюлозы (2,0 % лигнина от массы древесины) при сохранении одинаковой продолжительности варки на конечной температуре потребовалось увеличить концентрацию гидроксида калия в пропиточном растворе как в пределах каждой используемой температуры, так и по мере понижения конечной температуры варки от 140 до 130 °С. Начиная с температуры 125 °С процесс делигнификации существенно замедлился и получить целлюлозу с содержанием лигнина менее 5,6 % от массы древесины в пределах использованных концентраций гидроксида калия в растворе, задаваемого на пропитку, не удалось.

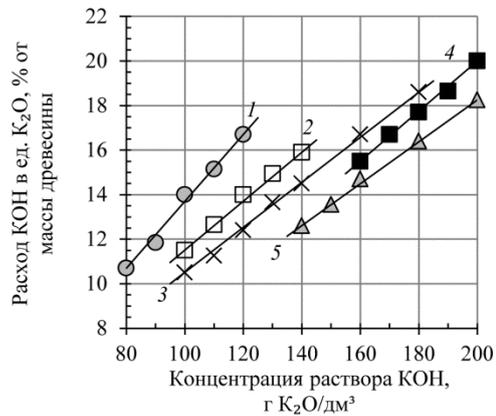
Для объяснения происходящих процессов был определен расход основных делигнифицирующих реагентов (гидроксида калия и гидразина) на химические реакции с древесиной при пропитке, варке и суммарно. Как показано на рис. 2 а, несмотря на низкую температуру пропитки (20±2) °С,



а



б



в

Рис. 2. Расход КОН (в ед. К₂О) на химические реакции с древесиной березы на стадии пропитки (а), варки (б) и суммарно при пропитке и варке (в) в зависимости от концентрации в пропиточном растворе и конечной температуры варки (см. обозначения на рис. 1)

повышение концентрации гидроксида калия в пропиточном растворе от 80 до 200 г $K_2O/дм^3$ непрерывно и практически с постоянной скоростью увеличивает расход гидроксида калия на химические реакции с древесиной от 4,0 до 6,7 % (в ед. K_2O) от массы древесины березы.

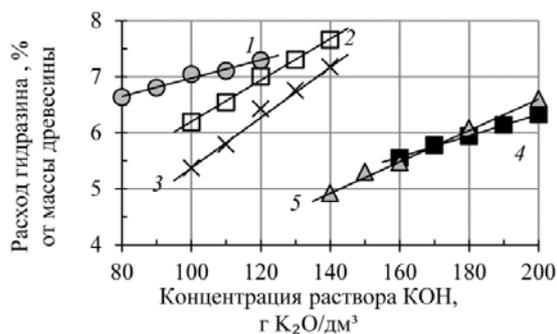
Объяснить это можно развитием набухания древесины по мере повышения концентрации гидроксида калия в пропиточном растворе, а следовательно, увеличением доступности кислотных групп гемицеллюлоз и лигнина для взаимодействия с гидроксидом калия, а также усиливающимся переходом низкомолекулярных углеводов и лигнина в раствор с последующей деструкцией до образования различных кислот. Гидразин практически не участвует в химических реакциях с древесиной на ступени пропитки, и его расход не превышает 0,2...0,3 % от массы древесины.

После отбора пропиточного раствора (50 % от объема, заданного на пропитку) и замены его на 75 %-й (от объема отобранного раствора) изобутиловый спирт начинается быстрый подъем температуры и последующая варка на конечной температуре по описанному ранее режиму.

Как показано на рис. 2 б, при одинаковой продолжительности варки расход гидроксида калия на химические реакции с древесиной непрерывно растет в пределах каждой температуры с практически постоянной скоростью независимо от концентрации гидроксида калия в пропиточном растворе.

Расход гидразина (рис. 3) также увеличивается для каждой отдельной температуры по мере увеличения концентрации гидроксида калия в пропиточном растворе, но понижается по мере уменьшения конечной температуры варки. Особенно это заметно при переходе от температуры 130 °С к температуре 125 и 120 °С.

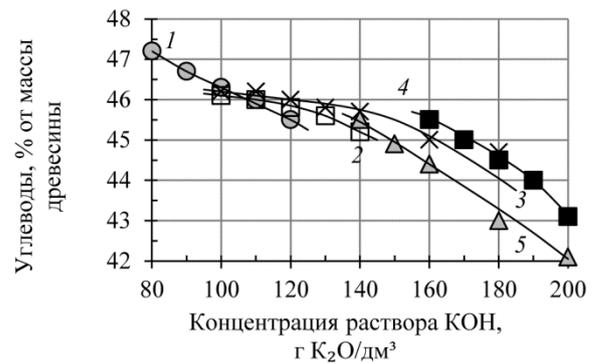
Рис. 3. Расход гидразина на химические реакции суммарно при пропитке и варке щепы древесины березы в зависимости от концентрации КОН в задаваемом на пропитку растворе и конечной температуры варки (см. обозначения на рис. 1)



Такое поведение гидразина свидетельствует о том, что температура варки имеет важное значение для способности гидразина вступать в химические реакции с составляющими древесиной компонентами. В условиях щелочной варки гидразин начинает разлагаться с образованием газообразных продуктов (N_2 , H_2 и NH_3) по достижении температуры 125 °С. Дальнейшее повышение температуры варки ускоряет этот процесс, что благоприятно сказывается

ется как на процессе делигнификации (см. рис. 1, кривые 1–3), так и устойчивости углеводных компонентов древесины по отношению к щелочной деструкции (рис. 4, кривые 1–3). Содержание углеводов в целлюлозе рассчитывали как разницу между выходом целлюлозы и содержанием в ней лигнина, смолы и золы.

Рис. 4. Содержание углеводов в целлюлозе в зависимости от концентрации КОН в задаваемом на пропитку растворе и конечной температуры варки (см. обозначения на рис. 1)



Результаты выполненного исследования свидетельствуют о том, что гидразин как восстановитель наибольшую активность проявляет во время разложения. Чем выше температура варки, тем больше расход гидразина и тем более глубоко происходит процесс делигнификации древесины березы при равных времени варки и концентрации гидроксида калия в пропиточном растворе. Для достижения равной степени делигнификации древесины березы при одинаковой продолжительности варки и одинаковом количестве задаваемого на варку гидразина по мере понижения конечной температуры варки от 140 до 130 °С необходимо увеличивать концентрацию гидроксида калия в пропиточном растворе. Понижение конечной температуры варки до 125 °С (особенно до 120 °С) резко замедляет процесс делигнификации древесины березы, несмотря на увеличение (до 200 г К₂О/дм³) концентрации раствора гидроксида калия при пропитке, что усиливает щелочную деструкцию углеводов. В виду слабого развития реакции разложения гидразина при температуре 125 °С теряет способность ускорять процесс делигнификации древесины и защищать углеводы от щелочной деструкции.

Выводы

1. Конечная температура варки древесины березы в системе гидроксид калия–гидразин–изобутиловый спирт–вода лимитируется температурой начала разложения гидразина на газообразные продукты (N₂, H₂ и NH₃).

2. При взаимодействии с древесиной березы гидразин начинает разлагаться на газообразные продукты при температуре 120...125 °С. В этот период активность гидразина как восстановителя еще крайне низка, и он практически

не реализует свою способность ускорять процесс делигнификации и защищать углеводы от щелочной деструкции.

3. Конечная температура варки древесины березы может быть понижена до 130 °С без ущерба для выхода целлюлозы и скорости делигнификации.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Богомолов Б. Д., Сапотницкий С. А., Соколов О. М. Переработка сульфатного и сульфитного щелоков: учеб. для вузов. М.: Лесн. пром-сть, 1989. 360 с.
2. Непенин Ю. Н., Выборнова Л. Н. Калиево-сульфатная целлюлоза // Журнал прикладной химии. 1959. Т. 32, вып. 6. С. 1332–1340.
3. 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.
4. Пазухина Г. А., Давляшин К. С. Гидразин и возможности его применения при получении целлюлозы из древесины // Изв. СПбГЛТА. 2011. Вып. 195, №2. С. 163–171.
5. Пазухина Г. А., Давляшин К. С. Комплексная переработка растительного сырья при получении целлюлозы с использованием соединений калия // Научно-технические решения актуальных проблем на предприятиях целлюлозно-бумажной промышленности: тезисы докл. междунар. научн-практ. семинара. Минск, БГТУ, 2008. С. 36–39.
6. Пат. 2513387 РФ, МПК D 21 C 1/00. Способ получения целлюлозного полуфабриката / Пазухина Г.А., Давляшин К.С. № 2012118830/12; заявл. 05.05.2012; опубл. 20.04.2014, Бюл. № 11.
7. Тельшева Г.М., Панкова Р.Е. Удобрения на основе лигнина. Рига: Зинатне, 1978. 64 с.
8. Brintzinger H. Kaliumsulfatverfahren für Herstellung von Zellstoff // Kolloid – Zeitschrift. 1941. Bd. 95, N. 2. S. 212.
9. Huang G., Liang X., Chen Z., Li C. Environmentally friendly pulping process for rice straw to eliminate black liquor discharge // TAPPI Journal. June 2011. P. 39–44.
10. Huang G., Zhang C., Chen Z. Pulping of Wheat Straw with Caustic Potash-Ammonia Aqueous Solutions and Its Kinetics // Chinese Journal of Chemical Engineering. 2006. Vol. 14, N 6. P. 729–733.
11. Huang G-L., Shi J. X., Langrish T. A. G. Environmentally friendly bagasse pulping with NH₄OH–KOH–AQ // Journal of Cleaner Production. 2008. Vol. 16, N 12. P. 1287–1293.
12. Lusby G.R., Maass O. The delignification of wood by strong alkaline solutions // Canadian Journal of Research. 1937. Vol. 15, sect. B, N 12. P. 536–544.

Поступила 17.07.14

UDC 676.164.8

Revisiting the Question of Birch Wood Delignification in the Potassium Hydroxide–Hydrazine–Isobutyl Alcohol–Water System

V.A. Udal'tsov, Postgraduate Student

G.A. Pazukhina, Doctor of Engineering, Professor

St. Petersburg State Forest Technical University, Institutskiy per., 5, St. Petersburg, 194021, Russia; e-mail: vudalcv@rambler.ru, e-mail: gal.pazukhina@yandex.ru

In this investigation, potassium hydroxide is used as the main delignification reagent and as a base for the creation of a composite cooking system that also consists of hydrazine, isobutyl alcohol and water. The ultimate purpose is to further develop the technology of alkaline pulping in order to produce cellulose. The aim of this research is to establish what effect this system has on the delignification of birch wood and also to discover what role hydrazine plays in the process. The special features of delignification in this system are the preliminary impregnation of the wood chips with an aqueous solution that contains potassium hydroxide and hydrazine, the collection of the excess solution used for impregnation, and the subsequent introduction of isobutyl alcohol in the cooking process. The variable factors in this investigation were the concentration of potassium hydroxide in the impregnating solution (from 80 g K₂O/dm³ to 200 g K₂O/dm³) and the final cooking temperature (from 120 °C to 140 °C). As a result of the experiments, cellulose was obtained with a wide range of pulp yields, from 46.6 % to 55.2 %, and a lignin content of from 2.4 % to 17.6 % by weight of pulp. When the final temperature was reduced from 140 °C to 130 °C (with no change in the cooking time), delignification of the birch wood down to the same content of residual lignin was accompanied by a significant increase in the concentration of potassium hydroxide in the impregnating solution. At a temperature of 125 °C or less, delignification slowed down substantially, so much so that, within the range of potassium hydroxide concentrations used in the impregnating solution, it was impossible to obtain cellulose with a lignin content of less than 5.6 % by weight of wood. It was discovered that, when it is used as a reducing agent, hydrazine exhibits the greatest activity during decomposition into the gaseous components N₂, H₂ and NH₃. The higher the cooking temperature, the greater the consumption of hydrazine in chemical reactions and the deeper the process of delignification in birch wood, given that the cooking time remains the same, as does the concentration of potassium hydroxide in the impregnating solution. When the final cooking temperature is reduced to 125 °C, the delignification process is sharply retarded (and even more so if it is reduced to 120 °C), even if the concentration of potassium hydroxide is increased up to 200 g K₂O/dm³, and the degradation of carbohydrates is intensified. In the end, it was established that the final cooking temperature of birch wood in a potassium hydroxide – hydrazine – isobutyl alcohol – water system is limited by the temperature at which hydrazine begins to decompose into the gaseous products, and this temperature can be reduced to 130 °C without any detriment to the pulp yield and the rate of delignification.

Keywords: delignification, wood, birch, potassium hydroxide, hydrazine, isobutyl alcohol, water.

REFERENCES

1. Bogomolov B.D., Sapotnitskiy S.A., Sokolov O.M. *Pererabotka sul'fatnogo i sul'fitnogo shchelokov: uchebnyk dlya vuzov* [Recycling of Kraft and Sulphite Liquor]. Moscow, 1989. 360 p.
2. Nepenin Yu.N., Vybornova L.N. Kalievo-sul'fatnaya tsellyuloza [Potash and Kraft Pulp]. *Zhurnal prikladnoy khimii* [Russian J. of Applied Chemistry], 1959, vol. 32, no. 6, pp. 1332–1340.

3. Obolenskaya A.V., El'nitskaya Z.P., Leonovich A.A. *Laboratornye raboty po khimii drevesiny i tsellyulozy: ucheb. posobie dlya vuzov* [Laboratory Researches on Wood and Pulp Chemistry]. Moscow, 1991. 320 p.

4. Pazukhina G.A., Davlyashin K.S. Gidrazin i vozmozhnosti ego primeneniya pri poluchenii tsellyulozy iz drevesiny [Hydrazine and Possibility of Its Application at Pulp Processing from Wood]. *Izvestia Sankt-Peterburgskoj Lesotekhnicheskoy Akademii*, 2011, vol. 195, no. 2, pp. 163–171.

5. Pazukhina G.A., Davlyashin K.S. Kompleksnaya pererabotka rastitel'nogo syr'ya pri poluchenii tsellyulozy s ispol'zovaniem soedineniy kaliya [Complex Plant Raw Material Processing in the Pulp Preparation Using the Potassium Compounds] // *Nauchno-tekhnicheskie resheniya aktual'nykh problem na predpriyatiyakh tsellyulozno-bumazhnoy promyshlennosti: tez. dokl. mezhdunar. nauch.-prakt. seminara* [Scientific and Technical Solutions of Topical Issues in the Pulp and Paper Industry: Abs. Intern. Sci. Practical Meet.]. Belarus, Minsk, 2008, pp. 36–39.

6. Pazukhina G.A., Davlyashin K.S. *Sposob polucheniya tsellyuloznogo polufabrikata* [Method of Cellulose First Stuff Process]. Patent RF, no. 2513387, 2014.

7. Telysheva G.M., Pankova R.E. *Udobreniya na osnove lignina* [Lignin-Based Fertilizers]. Riga, 1978. 64 p.

8. Brintzinger H. Kaliumsulfatverfahren für Herstellung von Zellstoff. *Kolloid-Zeitschrift*, 1941, vol. 95, iss. 2, p. 212.

9. Huang G., Liang X., Chen Z., Li C. Environmentally Friendly Pulping Process for Rice Straw to Eliminate Black Liquor Discharge. *TAPPI Journal*, June 2011, pp. 39–44.

10. Huang G., Zhang C., Chen Z. Pulping of Wheat Straw with Caustic Potash-Ammonia Aqueous Solutions and Its Kinetics. *Chinese J. Chemical Engineering*, 2006, vol. 14, no 6, pp. 729–733.

11. Huang G-L., Shi J.X., Langrish T.A. G. Environmentally Friendly Bagasse Pulping with NH₄OH–KOH–AQ. *J. Cleaner Production*, 2008, vol. 16, no 12, pp. 1287–1293.

12. Lusby G.R., Maass O. The Delignification of Wood by Strong Alkaline Solutions. *Canadian J. Research*, 1937, vol. 15, sect. B, no. 12, pp. 536–544.

Received on July 17, 2014



УДК 630*338.5.368

К ВОПРОСУ О СТРАХОВАНИИ ДОГОВОРНЫХ ЦЕН В ЛЕСОПРОМЫШЛЕННОМ КОМПЛЕКСЕ

© *В.И. Мосягин, д-р экон. наук, проф.*

С.-Петербургский государственный лесотехнический университет
имени С.М. Кирова, Институтский пер., д. 5, г. С.-Петербург, Россия, 194021;
e-mail: public@spbftu.ru; mr.vladimir1939@mail.ru

Цена, зафиксированная в договоре, действует определенный период времени, в течение которого под воздействием разных причин уровень договорной цены может подвергаться колебаниям. Поэтому для сделок, реализация которых растягивается на определенный период, возникает проблема договорного оформления цены с учетом фактора времени. При этом, как правило, чем длительнее период действия договора, тем сложнее решаются вопросы, связанные со страхованием договорных цен. В договорной практике встречаются различные методы страхования цен. Договор о твердых ценах практически перекладывает риск потерь от инфляции на поставщика, договор по фактической цене – наоборот, при этом риски полностью ложатся на потребителя. Страхование договорных цен, прежде всего, направлено на доленое участие как поставщика, так и потребителя в распределении рисков. Как показывает зарубежный опыт, в условиях инфляции наиболее результативной формой корректировки договорных цен выступают скользящие ценовые условия. В статье приведены и обоснованы методы расчетов скользящей цены применительно к условиям работы лесопромышленных предприятий. Предложенный метод, по нашему мнению, наиболее правильно распределяет риски от инфляционных процессов между поставщиками и потребителями продукции.

Ключевые слова: договор, затраты, индексация, прибыль, страхование, цены, эскалация.

В современном лесопромышленном комплексе постоянно совершенствуются рыночные отношения, предъявляющие новые требования к деятельности предприятий. Одной из таких непростых, но весьма приоритетных сфер деятельности выступает страхование договорных цен. Особое значение это имеет для предприятий, реализующих коммерческие сделки в течение длительного промежутка времени. При этом, как правило, чем длительнее период действия договора, тем сложнее решаются вопросы, связанные со страхованием договорных цен [3].

В договорной практике встречаются различные виды цен [6]: первоначальные (базовые), фактические, пересмотренные (конечные), скользящие. Договор о твердых базовых ценах практически перекладывает риск потерь от

инфляции на поставщика. Поэтому базовые договорные цены обычно используются только в тех случаях, когда фирма-поставщик достаточно уверенно и надежно может прогнозировать будущий уровень своих издержек. В свою очередь, такие прогнозы должны быть увязаны с уровнем цен при заключении договоров с поставщиками сырья и оборудования для своего производства. У поставщиков могут возникать негативные ситуации, когда фактически имеет место рост затрат при сохранении неизменного уровня цен [2]. В подобных случаях поставщики товара порой прибегают к завуалированным формам повышения цен: использование при комплектации более дешевых материалов, уменьшение содержимого одной упаковки, сокращение или вообще не предоставление дополнительных услуг и т. п. Однако было бы ошибкой думать, что с помощью подобных мероприятий можно развивать нормальные партнерские отношения. Здесь речь, скорее всего, должна идти об обоснованности ценовых изменений при заключении договоров [5].

Договора на базе фактической цены на момент поставки товара (договор PETS-Prise in Effect at Time of Shipment) перекалывают риск потерь практически полностью на покупателя. Поэтому заключение договоров на поставку материалов по фактическим ценам на практике также встречается достаточно редко.

Наибольшее распространение в действующих условиях хозяйствования получила форма с возобновлением ценового торга, вступающего в силу при наступлении определенных условий. Другими словами, речь идет о пересмотре договорной цены под воздействием определенных причин. Если в процессе реализации договора не возникает никаких условий для корректировки цены, то ее уровень остается прежним. При наступлении меняющихся ценовых условий ведутся повторные переговоры об изменении уровня цены. Таким образом, вопрос о конкретном уровне договорной цены здесь остается открытым. Важно отметить, что подобная форма договора имеет весьма существенный недостаток – она связана со значительными затратами на проведение переговоров. Наиболее эффективной и нередко применяемой в зарубежной практике формой корректировки договорных цен выступают так называемые скользящие ценовые условия [4]. В этом случае сначала достигается договоренность о базовом уровне цены, т. е. на момент заключения договора, затем первоначальный уровень цены корректируется с помощью точно установленных в договоре методов индексирования. Важное достоинство такой формы страхования цен заключается в том, что она базируется на заранее оговоренных в контракте ценовых условиях (индексах), не требующих дополнительных затрат по пересмотру договорных обязательств.

Следует признать, что всестороннее обоснование и согласование между договаривающимися сторонами условий скольжения довольно сложно. При обосновании скользящих ценовых условий чаще всего на практике используют формулу эскалации [1]:

$$Ц_1 = Ц_0(C_M m_1 + C_{зп} m_2 + C_{ц}),$$

где $Ц_1, Ц_0$ – соответственно базовая и конечная договорная цена;

$C_M, C_{зп}$ – соответственно доля издержек на материалы (включая энергию) и заработную плату в цене;

m_1, m_2 – соответственно индекс материальных и трудовых затрат;

$C_{ц}$ – неизменная часть цены.

Поскольку индексы изменения затрат представляют собой соотношение цен материалов и ставок заработной платы, приведенная выше формула может быть представлена в следующем виде:

$$Ц_1 = Ц_0(C_M \frac{\alpha_1}{\alpha_0} + C_{зп} \frac{\beta_1}{\beta_0} + C_{ц}),$$

где α_1 – цена материалов за период скользящего индекса;

α_0 – базовая цена материалов;

β_1 – ставка заработной платы за период скользящего индекса;

β_0 – базисная ставка заработной платы.

Нетрудно заметить, что данная формула ориентирует договаривающиеся стороны на изменение расходов только по двум направлениям:

овеществленному труду (материальные затраты);

живому труду (заработная плата).

При этом не ясен вопрос о порядке корректировки других составляющих цены, помимо издержек. В первую очередь это касается прибыли.

Объективно встает вопрос: какие составляющие договорной цены необходимо индексировать и в каких пределах? Для ответа на данный вопрос автором проанализирована отчетная информация деревообрабатывающих предприятий Ленинградского региона и мебельных фирм г. С.-Петербурга. При этом в качестве объектов исследования были взяты крупные (прирельсовые) деревообрабатывающие предприятия и небольшие фирмы, вырабатывающие в основном пиломатериалы.

Основным признаком дифференциации мебельных предприятий выступал признак их специализации: производство корпусной и мягкой мебели.

Как известно, планирование и учет себестоимости продукции осуществляется путем определения затрат на производство в разрезе элементов затрат и по статьям калькуляции. Группировка затрат по калькуляционным статьям отражает их состав в зависимости от направления расходов (производство или его обслуживание) и места возникновения (основное производство, вспомогательные службы, обслуживающие структуры). В зависимости от группировки затрат и структура себестоимости характеризуется удельным весом как отдельных элементов, так и статей расходов в общей сумме расходов.

В табл. 1, 2 приведены данные о структуре затрат по группам анализируемых деревообрабатывающих предприятий. Нетрудно заметить, что как крупные, так и небольшие фирмы имеют удельный вес материальных затрат (включая энергозатраты) в общих расходах на уровне 59,9...71,0 %. Аналогичное положение отмечено и при рассмотрении структуры затрат по калькуляционным элементам, хотя здесь доля материальных затрат без расходов на энергию несколько ниже: соответственно 49,8 и 62,5 %. На предприятиях корпусной мебели доля материальных затрат составляет 72,9 %, включая энергозатраты, и 55,4 % без стоимости энергии. На предприятиях, выпускающих мягкую мебель, эти показатели соответственно находятся на уровне 58,2 и 38,4 %. В целом анализ себестоимости продукции деревообрабатывающих и мебельных производств показал, что в структуре затрат таких производств она достаточна сопоставима как в разрезе элементов расходов, так и по статьям калькуляции.

Таблица 1

Структура затрат (%) по группам анализируемых деревообрабатывающих предприятий

Элементы и статьи затрат	Крупные прирельсовые предприятия	Небольшие фирмы	В среднем по всем предприятиям
<i>По экономическим элементам</i>			
Материальные затраты	59,9	71,0	63,4
Расходы на оплату труда	25,4	15,7	23,4
Отчисления на социальные нужды	7,0	4,3	6,5
Амортизация основных фондов	4,8	2,9	4,1
Прочие расходы	2,9	2,1	2,6
<i>Итого</i>	100,0	100,0	100,0
<i>По статьям калькуляции</i>			
Сырье и материалы (с учетом возвратных отходов)	49,8	62,5	54,2
Энергозатраты	3,3	3,1	3,2
Заработная плата основная и дополнительная	11,9	9,6	11,1
Отчисления на социальные нужды	3,3	2,7	3,1
Расходы по содержанию и эксплуатации оборудования	16,5	11,8	14,8
Цеховые расходы	2,4	1,6	2,1
Общехозяйственные расходы	6,2	5,8	6,2
Коммерческие расходы	6,6	2,9	5,3
<i>Итого</i>	100,0	100,0	100,0

Таблица 2

Структура затрат (%) по группам анализируемых мебельных предприятий

Элементы и статьи затрат	Корпусная мебель	Мягкая мебель	В среднем по всем предприятиям
<i>По экономическим элементам</i>			
Материальные затраты	72,9	58,2	67,0
Расходы на оплату труда	16,9	21,8	18,9
Отчисления на социальные нужды	4,7	6,0	5,2
Амортизация основных фондов	2,1	4,3	3,0
Прочие расходы	3,4	9,7	5,9
<i>Итого</i>	100,0	100,0	100,0
<i>По статьям калькуляции</i>			
Сырье и материалы (с учетом возвратных отходов)	55,4	38,4	48,6
Энергозатраты	10,6	13,2	11,3
Заработная плата основная и дополнительная	9,2	15,3	11,7
Отчисления на социальные нужды	2,5	4,2	3,2
Расходы по содержанию и эксплуатации оборудования	11,1	13,1	11,5
Цеховые расходы	3,2	5,4	4,1
Общехозяйственные расходы	5,5	8,2	6,5
Коммерческие расходы	2,5	2,2	2,2
<i>Итого</i>	100,0	100,0	100,0

Все это позволяет сделать вывод о целесообразности для деревообрабатывающих предприятий, включая мебельное производство, в общей формуле эскалации выделить две составляющие: непосредственно материальные затраты и энергетические расходы. Необходимость такого разграничения подтверждается также разной динамикой таких расходов, что особенно важно учитывать при скользящих ценовых условиях.

С учетом изложенного формула индексации затрат применительно к деревообрабатывающим предприятиям будет выглядеть следующим образом:

$$\Delta C = C_{\text{МЗ}} \frac{\alpha_1}{\alpha_0} + C_{\text{ЭЗ}} \frac{\gamma_1}{\gamma_0} + C_{\text{ЗП}} \frac{\beta_1}{\beta_0} + C_{\text{Н}} - 1,$$

где $C_{\text{МЗ}}$ – доля издержек на сырье и материалы;

α_0, α_1 – соответственно базисные и конечные цены на сырье и материалы;

$C_{\text{ЭЗ}}$ – доля издержек на энергию;

γ_0, γ_1 – то же на энергоресурсы;

$C_{\text{Н}}$ – неизменная часть издержек.

Как уже отмечалось ранее, формула эскалации не затрагивает вопрос корректировки прибыли как составляющей цены. Вместе с тем разными специалистами ценовые изменения при страховании воспринимаются по-разному. Одни считают, что при договорном оформлении цены прибыль должна корректироваться по аналогии с затратами, другие полагают, что доля прибыли в цене при страховании последней не должна индексироваться. Постараемся аргументировать нашу точку зрения по данному вопросу.

Автору представляется, что скользящая цена должна учитывать все изменения текущих затрат с обязательным сохранением уровня рентабельности, но не к конечной, а к базовой цене, что позволит оставить номинальную прибыль неизменной, постоянной. Нетрудно заметить, что в данном случае реальная прибыль в условиях роста издержек падает.

Разумеется, фирма-продавец заинтересована в том, чтобы индексировать и эту часть цены. Но по нашему мнению, такая позиция противоречит принципу долевого участия в рисках договаривающихся сторон, поскольку создает для поставщика дополнительные резервы роста прибыли (за счет наращивания издержек). Безусловно, данное обстоятельство должно учитываться участниками ценовых переговоров, что напрямую соответствует принципу разумного риска и справедливому его долевному распределению между поставщиком и потребителем товара.

Данное требование может быть соблюдено при расчетах конечной цены C_1 по следующим формулам:

$$C_1 = C_1 + P_0; C_1 = C_0(1 + \Delta C),$$

где C_1 – конечные удельные издержки (с учетом периода скольжения);

P_0 – базовая удельная прибыль;

C_0 – базовые удельные издержки;

ΔC – коэффициент индексации затрат.

Отсюда конечная цена через базовые издержки:

$$C_1 = C_0(1 + \Delta C) + C_0 R_0 = C_0(1 + \Delta C + R_0);$$

через базовые цены:

$$C_1 = C_0 \left[1 + \Delta C \left(1 - \frac{R_0}{1 + R_0} \right) \right] = C_0 \left(1 + \Delta C \frac{1}{1 + R_0} \right).$$

Таким образом, предприятиям лесопромышленного комплекса, у которых уровень договорных цен может подвергаться определенным колебаниям, целесообразно страховать договорные цены на основе скользящих ценовых условий. При этом формула эскалации должна учитывать особенности деятельности договаривающихся сторон.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Данчѐнок Л.А. Маркетинговое ценообразование: политика, методы, практика. М.: Эксмо, 2006. 464 с.
2. Мосягин В.И. Анализ цен с использованием приемов элиминирования // Изв. СПб ЛТА. 2013. Вып. 203. С. 175–182.
3. Мосягин В.И. Цены и ценообразование в лесном комплексе. СПб.: Политехника-сервис, 2012. 640 с.
4. Салимжанов И.К., Рубцов А.В. Договорные цены. М.: Знание, 1990. 62 с.
5. Тарасевич В.М. Ценовая политика предприятия. СПб.: Питер, 2010. 320 с.
6. Шегельман И.Р. Бизнес-словарь лесной промышленности. СПб.: Профи-Информ, 2005. 512 с.

Поступила 26.12.14

UDC 630*338.5.368

Revisited the Insurance of Contractual Prices in the Timber Processing Complex

V.I. Mosyagin, Doctor of Economic Sciences, Professor

St. Petersburg State Forest Technical University named after S.M. of Kirov, Institutskiy pereulok, 5, St. Petersburg, 194021, Russia; e-mail: public@spbftu.ru; mr.vladimir1939@mail.ru

A price fixed in the contract, acts for a certain period of time, when the level of the contract price may be the subject to certain fluctuations under the influence of various reasons. Therefore, for the long-term transactions there is a problem of contractual prices with regard to the time factor. As a rule, the longer the time period of the contract, the more difficult to resolve the issues related to the insurance of the contract prices. There are various methods of insurance prices in the contractual practice. An agreement with a transaction price virtually shifts the inflation risk of loss to the supplier. An agreement with the actual price, on the contrary, shifts the risks fully to the consumer. The insurance of contract prices, primarily is aimed at stake both suppliers and customers in the distribution of risks. The experience of foreign business approves sliding-scale prices as the most productive form of adjusting of contract prices in terms of inflation. The article presents the methods of calculation of sliding-scale prices relating to the performance conditions of wood enterprises. According to the author, the proposed method more properly allocates the inflationary development risks between suppliers and consumers.

Keywords: contract, expenses, indexation, profit, insurance, prices, escalation.

REFERENCES

1. Danchyonok L.A. *Marketingovoe cenoobrazovanie: politika, metody, praktika* [Marketing Pricing: Policy, Methods, Practice]. Moscow, 2006. 464 p.
2. Mosyagin V.I. Analiz cen s ispol'zovaniem priemov jeliminirovaniya [Prices Analysis with the Use of Methods of Elimination]. *Izvestiya Sankt-Peterburgskoy lesotekhnicheskoy akademii*, 2013, no. 203, pp. 175–182.

3. Mosyagin V.I. *Tseny i tsenoobrazovaniye v lesnom komplekse* [Prices and Pricing in a Timber Complex]. Saint Petersburg, 2012. 640 p.
4. Salimzhanov I.K. Rubtsov A.V. *Dogovornyye tseny* [Negotiated Prices]. Moscow, 1990. 62 p.
5. Tarasevich V.M. *Tsenovaya politika predpriyatiya* [Pricing Policy of the Enterprise]. Saint Petersburg, 2010. 320 p.
6. Shegelman I.R. *Biznes-slovar' lesnoy promyshlennosti* [Business Dictionary of the Forest Industry]. Saint Petersburg, 2005. 512 p.

Received on December 26, 2014

УДК 338.27: 330.46

К ВОПРОСУ ПОСТРОЕНИЯ МОДЕЛИ АЖИОТАЖНОГО СПРОСА© *С.В. Еришов, канд. техн. наук, доц.*Северный (Арктический) федеральный университет имени М.В. Ломоносова,
наб. Северной Двины, д. 17, Архангельск, Россия, 163002; e-mail: svershov@gmail.com

Предложена модификация модели распространения «эпидемии» Кермака–МакКендрика для использования при прогнозировании развития ажиотажного спроса. Здоровыми можно считать участников рынка, не делающих запасы нужного товара, больными («зараженными») – поддавшихся панике. Использование этой модели для описания ажиотажного спроса позволяет, подобрав интенсивность заражения и выздоровления, прогнозировать динамику зараженных (поддавшихся панике), но никоим образом не позволяет прогнозировать изменение цены. Модифицированная модель дает возможность прогнозировать динамику изменения цены на товар при ажиотажном спросе. Ажиотажный спрос возможен как на потребительском рынке, так и на рынке промышленной продукции, если этот рынок близок к рынку совершенной конкуренции, а ценовым регулятором является баланс между спросом и предложением. К таким рынкам и товарам можно отнести пиломатериалы, целлюлозу, картон, бумагу. К уравнениям Кермака–МакКендрика, описывающим распространение эпидемии, добавлено уравнение, отражающее баланс спроса и предложения на рынке товара. Интенсивность «заболевания» и «выздоровления» рассматривают как линейные функции цены. Модифицированная модель содержит пять настраиваемых параметров (коэффициентов), для определения которых необходимо, по крайней мере, пять наблюдений изменения спроса. На примере гофрированного картона рассмотрено численное решение системы дифференциальных уравнений модифицированной модели. Установлено, что применение подобной модели позволяет прогнозировать изменение цены при наличии, по крайней мере, пяти наблюдений изменения спроса.

Ключевые слова: спрос, предложение, цена, ажиотажный спрос, эластичность спроса.

Ажиотажный спрос – спрос на товары первой необходимости, определяемый не реальной потребностью, а поведенческими мотивами. В основе ажиотажа могут быть слухи о недостаточном количестве товара, скором повышении цен, срыве поставок и т. п. Поверившие слухам покупатели начинают делать запасы, продажи растут, товар постепенно исчезает с полок магазинов, и слухи начинают «сбываться». Это подталкивает других покупателей делать запасы, и процесс развития ажиотажного спроса начинает питать сам себя. Как правило, ажиотаж сопровождается резким ростом цены. «Соляная паника» 2006 г., сопровождающаяся почти десятикратным ростом цен на поваренную соль, объективно ничем не обоснованный рост цен на гречневую крупу в 2010 г. показали, что необходимо отслеживать начинающийся ажиотажный спрос и применять упреждающие меры. Для этих целей важно иметь математическую модель развития ажиотажного спроса.

Ажиотажный спрос может возникнуть не только на потребительском рынке, но и на рынке промышленной продукции, если этот рынок близок к рынку совершенной конкуренции и ценовым регулятором является баланс между спросом и предложением. К таким рынкам и товарам принадлежат пиломатериалы, целлюлоза, картон, бумага. Следует отметить, что ажиотажный спрос относится к классу лавинообразных процессов, развивающихся по закону цепной реакции.

В области изучения лавинообразных процессов наибольшее распространение получили модели, основанные на модели распространения эпидемии, предложенной Кермаком и МакКендриком в 1927 г. [2]. Суть ее заключается в следующем.

Обозначим:

$s(t)$ – доля здоровых, но восприимчивых к инфекции людей;

$i(t)$ – доля инфицированных (больных), распространяющих инфекцию людей;

$r(t)$ – доля обладающих иммунитетом к болезни (изначально невосприимчивых, а также переболевших);

t – время.

Тогда общая численность людей – величина постоянная:

$$s(t) + i(t) + r(t) = 1.$$

Динамика отдельных групп описывается следующей системой дифференциальных уравнений:

$$\frac{ds(t)}{dt} = -\rho s(t) i(t); \quad \frac{di(t)}{dt} = \rho s(t) i(t) - qi(t); \quad \frac{dr}{dt} = qi(t), \quad (1)$$

где ρ – интенсивность заражения;

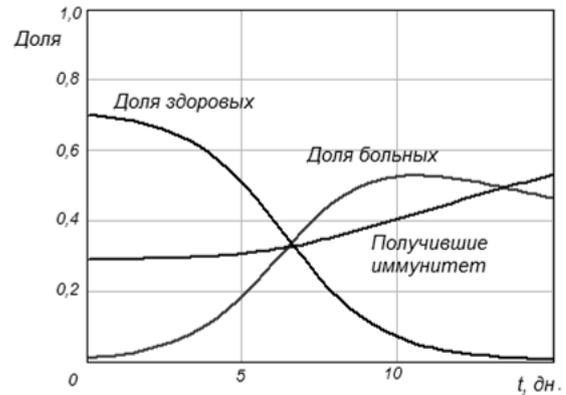
q – интенсивность выздоровления.

Это так называемая *SIR*-модель эпидемии, которая отражает интуитивное понимание зависимости скоростей изменения количественного состава этих трех групп от достигнутых значений этого количественного состава и оперирует понятиями интенсивности. Здоровыми можно считать участников рынка, не делающих запасы нужного товара, больными – поддавшихся панике. Использование этой модели для описания ажиотажного спроса позволяет, подобрав интенсивность заражения и выздоровления, прогнозировать динамику зараженных (поддавшихся панике), но никоим образом не позволяет прогнозировать изменение цены (рис. 1).

Для описания валютной паники В.Н. Данич предложил значительно более сложную модель, основанную на балансе потока ресурса (деньги, товары, валюта) в узлах экономической системы (центральный банк, коммерческие банки, розничные торговцы, потребители) [1].

Построим более простую модель, добавив еще одно уравнение, отражающее изменение цены товара, к системе (1). Предположим, что скорость поступления товара в торговую сеть (темпы производства) – величина постоянная, обозначим ее W_0 . Это и будет предложение товара.

Рис. 1. Результат применения модели Кермака–МакКендрика ($\rho = 1, q = 0,05$)



Логично предположить, что дополнительный спрос на товар пропорционален количеству покупателей, охваченных паникой (зараженных). Тогда движущей силой изменения цены будет прирост дополнительного спроса, выраженного в денежном измерении (дополнительный спрос минус дополнительное предложение):

$$\frac{k i(t)}{W_0} P(t) - \frac{P(t) - P_0}{W_0} W_0,$$

где $P(t)$ – цена товара;

P_0 – начальная цена товара.

Окончательно получим:

$$\frac{dP(t)}{dt} = K \left[i(t) \frac{k}{W_0} - 1 \right] P(t) + KP_0, \quad (2)$$

где K – коэффициент, переводящий разницу спроса и предложения в скорость изменения цены;

k – коэффициент, переводящий количество зараженных в спрос.

Именно такой подход использован в работе [2]. Логично предположить, что коэффициенты ρ и q в системе (1) зависят от цены. Повышение цены – это информационный сигнал к панике. Разница между текущей $P(t)$ и начальной P_0 ценой усиливает ажиотаж, поэтому

$$\rho(t) = \rho \left\{ 1 + b \left[\frac{P(t) - P_0}{P_0} \right] \right\}, \quad (3)$$

где b – коэффициент пропорциональности.

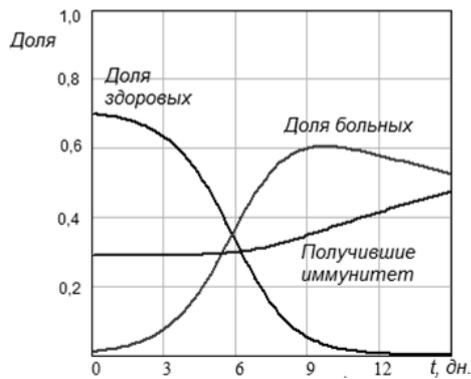
В свою очередь, повышение цены вследствие эластичности спроса должно привести к его уменьшению:

$$q(t) = q \frac{P(t) - P_0}{P_0}. \quad (4)$$

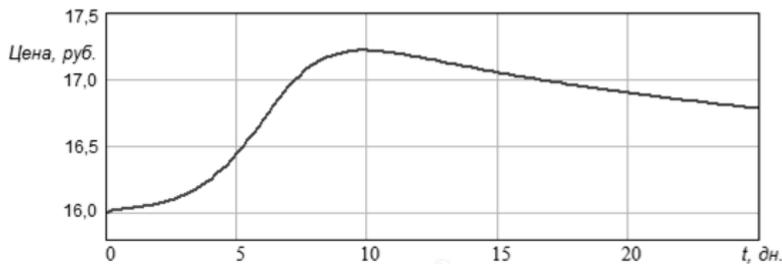
Подставив (3) и (4) в (1) и добавив (2), получим новую систему уравнений первого порядка:

$$\begin{aligned} \frac{ds(t)}{dt} &= -\rho \left\{ 1 + b \left[\frac{P(t) - P_0}{P_0} \right] \right\} s(t)i(t); \\ \frac{di(t)}{dt} &= \rho \left\{ 1 + b \left[\frac{P(t) - P_0}{P_0} \right] \right\} s(t)i(t) - q \frac{P(t) - P_0}{P_0} i(t); \\ \frac{dr(t)}{dt} &= q \frac{P(t) - P_0}{P_0} i(t) \\ \frac{dP(t)}{dt} &= K \left[i(t) \frac{k}{W_0} - 1 \right] P(t) + KP_0. \end{aligned} \quad (5)$$

Поскольку $s(t) + i(t) + r(t) = 1$, количество уравнений в системе (5) избыточно и одно из первых трех уравнений можно убрать.



а



б

Рис. 2. Изменение доли больных (а) и цены товара (б), определенных по модифицированной модели

Пример. Целлюлозно-бумажный комбинат 1 февраля объявляет о повышении цены на гофрированный картон с 1 марта. Текущая цена – 16 р./м². Численное решение системы (5) для этого примера, выполненное в MathCad, при значениях $q = 0,05$; $\rho = 1$; $K = 10$; $k = 7$ и начальных значениях $s_0 = 0,7$; $i_0 = 0,01$; $P_0 = 16$ приведено на рис. 2, из которого видно, что динамика заражения отличается от результата при применении модели Кермака–

МакКендрика. Причина этого – зависимость интенсивности заражения и выздоровления от цены. Важным результатом является прогноз изменения цены.

У цены и доли получивших иммунитет существует некоторый инкубационный период, когда процесс идет, а эти индикаторы изменяются незначительно. По этой причине, отслеживать начало ажиотажного спроса лучше по уменьшению доли здоровых или увеличению доли имеющих иммунитет. Инкубационный период имеет простое логическое объяснение: на первом этапе развития ажиотажного спроса два противоположных процесса (распространение негативной информации и эластичность спроса) уравнивают друг друга.

Для нахождения решения нам потребовались значения пяти параметров (q, ρ, K, k, b) и начальные условия. Это означает, что если располагать пятью наблюдениями, то уже можно построить прогноз развития ажиотажного спроса и, используя дальнейшие наблюдения, уточнить полученную модель и оценивать последствия управляющих воздействий.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Данич В.Н. Моделирование быстрых социально-экономических процессов. Луганск: Изд-во ВНУ им. В. Даля, 2004. 304 с.
2. Kermack W.O., McKendrick A.G. Contributions to the mathematical theory of epidemics // Proceeding of the Royal Society. 1927. Vol. 115. P. 700.

Поступила 03.03.14

UDC 338.27: 330.46

Revisited the Constructing a Model of an Excessive Demand

S.V. Ershov, Candidate of Engineering, Associate Professor

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

A modification of the Kermack - McKendrick epidemic model for forecasting the development of an excessive demand is introduced. We can consider market participants do not lay in a stock the necessary goods as "healthy", "sick" participants are struck with panic. The use of this model for description of the excessive demand and the selection of the intensity of "infection" and "recovery" allow predicting the dynamics of the "infected" (panicked) participants, but do not predict the price change. The modified model allows predicting the dynamics of price change of goods at an excessive demand. An excessive demand is possible both in the consumer market and the market of industrial products, if this market is similar to the market of perfect competition and a price regulator is the balance between supply and demand. These markets and products include lumber, pulp, cardboard, paper. To the equations of Kermack - McKendrick epidemic model one more equation reflecting the balance of supply and demand in the commodity market is added. The intensity of "disease" and "recovery" is considered as the linear functions of a price. The modified model contains

five adjustable parameters (coefficients). Their determination requires, at least, five observations of change in demand. On the example of the corrugated cardboard the computational solution of the differential equation system of the modified model is given. Application of the modified model and at least five observations of change in demand allow predicting the price change.

Keywords: demand, supply, price, excessive demand, demand elasticity.

REFERENCES

1. Danich V.N. *Modelirovanie bystryh social'no-jekonomicheskikh processov* [Modeling of Rapid Social and Economic Processes]. Lugansk, 2004. 304 p.
2. Kermack W.O., McKendrick A.G. Contributions to the Mathematical Theory of Epidemics. *Proc. Royal Society*. London, 1927, vol. 115, 700 p.

Received on March 03, 2014



ИСТОРИЯ НАУКИ

УДК 630*902

Н.А. Моисеев, акад. РАН, д-р с.-х. наук, проф.

Московский государственный университет леса, ул. 1-я Институтская, д. 1, г. Мытищи, Московская обл., Россия, 141005; e-mail:caf-leccult@mgul.ac.ru

ДВУХСОТЛЕТНИЙ ФРАГМЕНТ ИСТОРИИ БЕЛОМОРСКОЙ ТАЙГИ

В статье представлен исторический анализ двухсотлетнего развития лесного хозяйства и лесной промышленности на Европейском Севере, объединяемом понятием «Беломорская тайга». В этот регион включаются Мурманская, Архангельская, Вологодская области и республики Карелия и Коми. Акцентируется внимание на «жертвенной» роли лесов региона в становлении экономики государства. Затронуты отдельные фрагменты истории Беломорской тайги, касающиеся межрегионального сотрудничества по важнейшим направлениям лесного дела.

Ключевые слова: эксплуатационные запасы, смена пород, лесное машиностроение, кооперация, субъекты Российской Федерации, рыночная экономика.

Беломорская тайга подковой охватывает Белое море, простираясь по территории четырех субъектов Российской Федерации (РФ): Мурманской и Архангельской областей, республик Карелии и Коми. Они вместе с Вологодской областью и составляют Европейский Север России, для которого Белое море исторически было первым окном для выхода русского леса в Европу и далее.

На долю Европейского Севера в указанных границах приходится половина всех лесных земель европейско-уральской части России (46 % лесопокрытой площади и 59 % площади хвойных лесов). Уже по этим цифрам можно судить о значимости этих лесов в общем балансе лесопользования страны, если учесть, что основная часть потребителей сосредоточена в Европейской России.

Много общего в истории освоения этих северных лесов, в их особом значении для России и перспективах использования и воспроизводства.

Леса Архангельской области занимают центральное положение на Европейском Севере, если учесть, что к крупнейшему в России Архангельскому лесопромышленному узлу с удобными морскими портовыми причалами тяготеют леса не только всего Северо-Двинского бассейна с притоками, связывающими по р. Сухоне часть лесов Вологодской области, по р. Вычегде – часть лесов Республики Коми. С одной стороны, с этим узлом связаны и потоки лесных грузов по Северной железной дороге, с другой – по железной дороге

Архангельск–Карпогоры и намечаемому к продолжению ее отрезку на Миккуль-Кослан, который даст выход этим грузам не только с Коми, но даже с северной части предгорий Урала, включая часть лесов Пермской области.

А сам Архангельск в XX в. получил название «всесоюзной лесопилки». Во второй половине этого века в устье Северной Двины выросли и крупнейшие целлюлозно-бумажные комбинаты (ЦБК) – наиболее массовые потребители древесного сырья. Они получают его не только в виде балансов, но и отходов от крупных лесопильных и деревообрабатывающих комбинатов, эффективность которых находится в прямой зависимости от их кооперации с ЦБК. Именно от интеграции этих двух видов предприятий и зависит экономика всего лесного комплекса, от недостаточной развитости этой интеграции слабо и далеко не рационально используются леса всего Европейского Севера. Эти мысли с тревогой и болью звучат на страницах этой статьи.

Но не только этот аспект ограничивает использование громадного потенциала Беломорской тайги. Для создания конкурентоспособного и эффективного лесного сектора экономики, способного удержать и расширить свои позиции как на внутреннем рынке России, так и на Западно-Европейском рынке, не обойтись без современной базы лесного машиностроения – «станового хребта» лесного сектора. Недооценка этого фактора всегда была «ахиллесовой пятой» государственной лесной политики России. Именно по этой причине знаменитая Беломорская тайга, как и весь Русский лес, находится в положении большого таежного медведя, обложенного в своей берлоге зарубежными охотниками, четко отслеживающими свои позиции на мировом лесном рынке как в настоящий момент, так и на далекую перспективу.

Безусловно, этот изъян в государственной лесной политике действиями только отдельных субъектов РФ не устранить. Тут требуется под патронажем Правительства продуманная интеграция субъектов РФ, особенно тех из них, которые связаны общими природными и экономическими условиями и интересами строительства современного и весьма капиталоемкого лесного комплекса отраслей, сбалансированных между собой.

Что общего у перечисленных пяти субъектов РФ, расположенных на Европейском Севере? С одной стороны, как плюс, высокая лесистость, которая и на перспективу сохранится, так как большая часть территории в северных условиях, при недостатке тепла, более пригодна для лесного, нежели сельского землепользования. Последнее в основном доминировало вдоль гидрографической сети, особенно на пойменных землях крупных рек. На водораздельных плато сельское хозяйство всегда носило островной характер. Возможно, потепление климата в перспективе расширит площади таких островков, но вряд ли сделает их доминирующими по площади.

Кроме того, уязвимой стороной нынешней Беломорской тайги является то положение, в котором она ныне оказалась. От начальных этапов ее освоения и до последних лет, в связи с неразвитостью глубокой переработки, преимущественно выбирался крупномерный хвойный пиловочный лес высших

сортов, пригодный для лесопиления, в первую очередь для экспорта. До 30-х гг. XX в. эта выборка производилась в основном с помощью подневольного-выборочных рубок, позже перешедших в условно-сплошные рубки. Сплошные концентрированные рубки стали доминирующими лишь в послевоенные годы, но и они располагались в наиболее продуктивных хвойных лесах, оставляя в недорубах мелкотоварные лесные массивы с избыточным увлажнением и древостой мягколиственных пород. В первую очередь обрабатывались лучшие сосновые древостои, затем – высокотоварные еловые.

Поскольку периодически действующие или временные леспромпхозы размещались скученно вдоль транзитных путей, то лучшие хвойные древостои в освоенных лесах уже оказались вырубленными. Лесному хозяйству на Европейском Севере никогда не уделялось должного внимания, поэтому место вырубленных продуктивных хвойных лесов заняли мягколиственные породы. По указанным выше причинам в настоящее время в Беломорской тайге как раз не хватает того крупномерного высокосортного пиловочника, которым она славилась всегда и благодаря которому удерживала твердо свои позиции на западно-европейском лесном рынке. Сейчас этим преимуществом она уже не обладает. Этот недостаток был отмечен и консалтинговой фирмой «Яко Пеури», составившей по просьбе бывшего Госплана СССР и затем нынешней Минэкономики РФ известный «Мастер план» для Северо-Западного региона, куда входят и леса Европейского Севера.

В связи с отмеченным характером освоения северных лесов нельзя не вспомнить оценку, данную академиком И.С. Мелеховым, горячо любившим свой родной Север: «Лесные насаждения Севера в бывшем Советском Союзе взяли на себя жертвенную роль». Отнесение их к третьей группе «закрепило их уже сложившееся бесправное положение» [2].

Как ни прискорбно, но следует признать, что в результате неразумного хозяйствования была по существу потеряна краса и гордость Беломорской тайги – сосна. Тенденции этих потерь были отмечены и ранее. В связи с вышеизложенным лесопильные заводы, работающие на экспорт, сегодня и на перспективу будут испытывать усиливающийся дефицит в высококачественном пиловочнике, что резко снижает эффективность их работы. Основная часть эксплуатационных запасов северных лесов, представленных мелкотоварными хвойными древостоями на землях с избыточным увлажнением и древостоями мягколиственных пород, эффективно может использоваться только при условии дальнейшего форсированного развития целлюлозно-бумажной промышленности (ЦБП). Ныне действующие крупные целлюлозно-бумажные комбинаты работают в основном на импортном оборудовании, которое уже морально устарело, физически изношено и требует замены и реконструкции. Расчет на достаточные для этой цели зарубежные инвестиции вряд ли оправдается в ближайшие 5–10 лет. Не случайно составители «Мастер плана» в своих прогнозах не дали оптимистических выводов относительно перспектив ЦБП, а ограничились рекомендациями по развитию экспорта в

основном балансовой древесины, что упрочивает положение России как «сырьевого придатка». Исходя из вышеизложенного, следует, что без возрождения былого потенциала Беломорской тайги трудно создавать эффективный лесной сектор экономики.

Поднимать на должный уровень лесное машиностроение в стране (даже вместе с обогнавшими нас зарубежными партнерами), конечно, весьма проблематично, хотя крайне необходимо. Слишком много времени и возможностей было упущено по близорукости лиц, имевших отношение к формированию долговременной государственной лесной политики. Например, Финляндия создала свой конкурентоспособный лесной комплекс, включая и машиностроительный компонент, благодаря именно мудрости своих политиков, строивших и воплощавших в жизнь сменяющие друг друга преемственно связанные лесные программы под патронажем государства, для которого лес явился основой экономического роста в послевоенные годы.

Как это не проблематично, но если Правительство и субъекты РФ, для которых леса являются основой экономики, не начнут развязывать «гордиев узел» лесного машиностроения, успеха не видать. Речь не идет о соперничестве или противостоянии отечественной отрасли и зарубежных партнеров. С ними, если они пожелают, или без них, но начинать и развивать лесное машиностроение России придется и в первую очередь именно в тех многолесных регионах, которые имеют отношение к формированию внутреннего лесного рынка России и, тем более, для выхода на мировой. Скорее всего, весомо западные партнеры вольются в кооперацию только тогда, когда поймут, что по ряду направлений Россия будет решать эту проблему. Исторически это напоминает аналогию с открытием «второго фронта». В мирном строительстве блокаду конкурентов также придется преодолевать своими усилиями. Этого могут не понять только те, кто заинтересованы в продолжающемся вывозе капитала из России, обрекая ее этим самым на поражение в рыночной экономике. По ряду лесных отраслей перспективные технические средства должны наиболее полно учитывать региональные особенности лесов (это касается заготовки, транспорта леса и лесного хозяйства). Для лесов Европейского Севера отличительными особенностями являются преобладание суглинистых грунтов избыточной увлажненности, недостаток гравийных и песчаных грунтов, которые свойственны скандинавским странам, облегчающим им заготовку древесины, создание и содержание лесных дорог. По этой причине и технические решения имеют у нас свои особенности. Например, семейство онежских лесных тракторов, в том числе болотных модификаций, были бы незаменимы в условиях Европейского Севера. Разработка для них шлейфа навесных и прицепных орудий и серийное их производство повысило бы эффективность всего комплекса лесных работ в лесной промышленности и лесном хозяйстве. Онежский тракторный завод в этом направлении имеет важное значение не для одной только Карелии, но и для субъектов РФ, смежных с этим регионом. Кооперация их между собой при государственной поддержке

крайне необходима. Это только один из примеров развязывания трудных узлов лесного машиностроения с помощью тесной межрегиональной кооперации. Свое слово могли бы сказать ученые и конструкторы, имеющие прямое отношение к оборудованию ЦБП, при кооперации с конверсионными заводами оборонного комплекса.

Субъекты РФ Европейского Севера не обойдутся без тесной кооперации и между собою. Поэтому разработка программ развития лесного хозяйства и лесной промышленности в рамках одного субъекта – движение полезное, но недостаточное. В этом направлении не обойтись без программ, которые охватывали несколько субъектов РФ, имеющих тесные экономические связи. Для создания экономически эффективного и конкурентоспособного лесного комплекса отраслей субъектам РФ, входящим в Европейский Север, следует разработать программу кооперации, которая должна интегрироваться в Федеральную программу использования и воспроизводства лесных ресурсов России, обеспечивая общий баланс интересов всех субъектов лесных отношений в условиях рыночной экономики в сочетании с мерами государственного регулирования.

Лишь на пути подобной консолидации сил и при неуклонном соблюдении национальных государственных интересов, чего до сих пор не доставало в реформаторской политике, возможен успех в развитии лесной индустрии на Европейском Севере. Только при этом условии будет подъем лесного хозяйства и возрождение былой славы Беломорской тайги, которая для поколений северян, любящих свой край и воплощающих в реалии программы своих осознанных действий, должна войти в историю не только прошлой памятью, но и радующей глаз явью.

В статье затронуты лишь отдельные фрагменты истории Беломорской тайги, касающиеся межрегионального сотрудничества по следующим важнейшим направлениям лесного дела: лесное машиностроение, совершенствование нормативно-правовой базы и технологий лесовосстановления на зональной основе. Правильность решений по этим направлениям проверяется историей. Поэтому особую роль играют научно-исторические публикации, периодически обобщающие этапы динамического развития Беломорской тайги и других регионов страны. Кроме работы академика И.С. Мелехова [2], необходимо отметить и работы других авторов [1, 3].

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Ипатов Л.Ф., Львов П.Н., Трубин Б.В., Трубин Д.В.* Беломорская тайга: вчера, сегодня, завтра. Архангельск: Северо-Зап. кн. изд-во, 1988. 263 с.
2. *Мелехов И.С.* Проблемы бореальных лесов // Лесн. хоз-во. 1993. № 4. С. 16–18.
3. *Молчанов А.А., Преображенский И.Ф.* Леса и лесное хозяйство Архангельской области. М.: Изд-во АН СССР, 1957. 238 с.

Поступила 14.05.2015

UDC 630*902

Bicentennial Fragment of the White Sea Taiga History

N.A. Moiseev, Member of the Russian Academy of Sciences, Doctor of Agriculture, Professor Moscow State Forest University, 1st Institutskaya street, 1, Mytishi, Moscow region, 141005, Russia; e-mail: caf-leccult@mgul.ac.ru

This paper presents a historical analysis of the bicentennial development of the forestry and timber industry in the European North, which is called as "the white sea taiga". Murmansk, Arkhangelsk, Vologda regions and the Republics of Karelia and Komi are included in this region. The article emphasizes the "sacrificial" role of the regional forests in the state economy development.

Keywords: available inventories, alternation of tree species, forestry machine-building, cooperation, subjects of the Russian Federation, market economy.

REFERENCES

1. Ipatov L.F., L'vov P.N., Trubin B.V, Trubin D.V. *Belomorskaya tayga: vchera, segodnya, zavtra* [White Sea Taiga: Yesterday, Today and Tomorrow]. Arkhangelsk, 1988. 263 p.
2. Melekhov I.S. Problemy boreal'nykh lesov [Problems of Boreal Forests]. *Lesnoe khozyaystvo*, 1993, no. 4, pp. 16–18.
3. Molchanov A.A., Preobrazhenskiy I.F. *Lesa i lesnoe khozyaystvo Arkhangel'skoy oblasti* [Forests and Forestry of Arkhangelsk Region]. Moscow, 1957. 238 p.

Received on May 14, 2015



КРИТИКА И БИБЛИОГРАФИЯ

ЦЕННАЯ КНИГА ДЛЯ ОХОТНИЧЬЕГО И ЛЕСНОГО ХОЗЯЙСТВА*

© *И.В. Евдокимов, канд. с.-х. наук, доц.*

Вологодская государственная молочнохозяйственная академия имени Н.В. Верещагина, ул. Мира, д. 8, с. Молочное, Вологодская обл., Россия, 160555;
e-mail: kafedra_les@mail.ru; igorevd1@rambler.ru

В минувшем году вышла в свет книга «Охота и лес (Культурное, природное и историческое природопользование и сохранение биоразнообразия)». Ее авторы А.П. Каледин и М.Д. Мерзленко на основе многочисленных исторических, архивных материалов показали тесную взаимосвязь лесного, сельского и охотничьего хозяйства.

В России с ее обширными пространствами лесов, полей, водоемов, населенных различными животными и птицами, охота всегда имела первостепенное значение в жизни русского человека. На начальном этапе охота являлась средством к существованию и выживанию, в результате чего человек получал пищу, одежду, орудия, кров и прочие блага. Впоследствии она становится частью культуры на Руси. Наиболее широкое развитие и статус охота получила в XIX в., в частности с эволюцией лесного хозяйства.

В книге помещены уникальные фотографии первых лиц государства на охоте – Николая II, Н.С. Хрущева и других видных деятелей, а также фотокопии многих ценных архивных документов.

Несколько разделов книги посвящены истории Беловежской пуши, Лосиного острова, Измайловского леса и организации охоты в них. Среди них фигурируют принадлежащие царской фамилии огромные пространства лесов удельного ведомства, которые были выделены еще в начале XIX в. и национализированы в 1917 г.

Авторы подчеркивают тесную связь охоты с лесным хозяйством. Не зря одно из первых лесных изданий называлось «Газета лесоводства и охоты» (1855–1859 гг.). И сегодня количество периодических изданий в России, связанных с охотой и охотничьим хозяйством, составляет более 30.

Безусловно, эта книга представляет большой как научный, так и практический интерес не только для специалистов и студентов профильных вузов, но и для неравнодушных к судьбе родной природы читателей.

A Valuable Book for Hunting and Forestry

I.V. Evdokimov, Candidate of Agriculture, Associate Professor

Vologda State Dairy Farming Academy named after N.V. Vereshchagin, Mira, 8, Molochnoe-Vologda, 160555, Russia; e-mail: kafedra_les@mail.ru; igorevd1@rambler.ru

* Каледин А.П., Мерзленко М.Д. Охота и лес (Культурное, природное и историческое природопользование и сохранение биоразнообразия). М., 2014. 272 с.