МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

АРХАНГЕЛЬСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ ТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ

ИЗВЕСТИЯ
ВЫСШИХ УЧЕБНЫХ
ЗАВЕДЕНИЙ

Лесной журнал

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

1

2009

ИЗДАТЕЛЬ – АРХАНГЕЛЬСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ
ТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ

ISSN 0536 – 1036. ИВУЗ. «Лесной журнал». 2009. № 1

Главный редактор – д-р хим. наук, проф. **О.М. Соколов**
Заместители главного редактора:
д-р техн. наук, проф. **А.Л. Невзоров**, д-р экон. наук, проф. **Е.С. Романов**

ЧЛЕНЫ РЕДКОЛЛЕГИИ:

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

Ответственный секретарь – заслуженный работник культуры РФ **Р.В. Белякова**

«Лесной журнал» публикует научные статьи по всем отраслям лесного дела, сообщения о внедрении законченных исследований в производство, о передовом опыте в лесном хозяйстве и лесной промышленности, информации о научной жизни высших учебных заведений, рекламные материалы и объявления. Предназначается для научных работников, аспирантов, инженеров лесного хозяйства и лесной промышленности, преподавателей и студентов.

ИЗВЕСТИЯ ВЫСШИХ УЧЕБНЫХ ЗАВЕДЕНИЙ
«ЛЕСНОЙ ЖУРНАЛ» № 1

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

Сдан в набор 04.02.2009. Подписан в печать 03.03.2009. Заказ № 63
Форм. бум. 70×108 1/16. Гарнитура Таймс. Усл. печ. л. 13,84. Усл. кр.-отт. 13,84.
Уч.-изд. л. 18,697. Тираж 1000 экз.
Архангельский государственный технический университет

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

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

© ИВУЗ, «Лесной журнал», 2009

СОДЕРЖАНИЕ

ЛЕСНОЕ ХОЗЯЙСТВО

В.П. Рябчук, Т.В. Юскевич. Микроскопическое строение древесины подсачиваемых интродуцентов…….. 7

Г.С. Вараксин, В.И. Поляков, М.А. Люминарская. Строение и рост культур ели сибирской в Средней Сибири……... 14

П.А. Оскорбин, А.А. Вайс. Динамика пространственной структуры темнохвойных древостоев Западной Сибири……... 21

А.И. Бузыкин, Л.С. Пшеничникова. Реакция средневозрастных сосняков на рубки ухода…… 28

О.И. Гаврилова, В.К. Хлюстов, И.В. Морозова. Закономерности формирования вейника лесного на сплошных вырубках в сосняках черничных Южной Карелии…….. 33

О.С. Залывская, С.В. Хрущева, Н.А. Бабич. Свинец в системе почва – древесное растение в урбанизированной среде……... 39

ЛЕСОЭКСПЛУАТАЦИЯ

П.Н. Перфильев, А.А. Митрофанов. Исследования гидродинамических характеристик линеек из плоских сплоточных единиц…….. 44

Б.А. Потехин. Совершенствование узлов трения в машинах и механизмах предприятий лесного комплекса……. 51

Д.Т. Анкудинов, Л.Т. Раевская. Исследование влияния конструктивных параметров на напряженно-деформированное состояние пневмомотора…….. 55

Г.А. Борисов, В.Д. Кукин. Об оптимизации параметров лесотранспортных сетей в современных условиях…… 60

В.М. Заложных, В.П. Бычков. Предельные грузообороты грунтовых и зимних лесовозных дорог…….. 66

А.Н. Заикин. Моделирование режимов работы лесосечных машин…… 71

МЕХАНИЧЕСКАЯ ОБРАБОТКА ДРЕВЕСИНЫ И ДРЕВЕСИНОВЕДЕНИЕ

Г.Ф. Прокофьев, И.И. Иванкин, Л.А. Ковалев. Определение аналитическим методом точности пиления древесины круглыми пилами…… 78

В.И. Малыгин, Н.В. Лобанов, Л.В. Кремлева. Методы оптимизации и оценки качества дереворежущих фрез при стендовом и математическом моделировании. III. Исследование влияния конструктивных параметров на динамическое качество сборных фрез при стендовом моделировании…….. 83

Б.Д. Руденко. Свойства древесно-цементной композиции при использовании прямоугольной стружки……... 90

С.П. Агеев. Энергетическая характеристика механизма резания лесопильной рамы……... 95

П.Ю. Бунаков, А.В. Стариков, В.Н. Харин, С.Я. Гусев, А.А. Старикова. Перспективная САПР сложной корпусной мебели: концептуальные основы, парадигма проектирования, особенности реализации…….. 100

ХИМИЧЕСКАЯ ПЕРЕРАБОТКА ДРЕВЕСИНЫ

А.Ф. Троянская, А.В. Вельямидова. Современное состояние почв по загрязнению устойчивыми хлорорганическими соединениями от применения пентахлорфенолята натрия на территории Архангельской области……... 108

Н.А. Матонина, Д.Г. Чухчин, О.М. Соколов. Практические аспекты применения электрогидравлического эффекта для обработки целлюлозы…….. 116

Ю.Г. Хабаров, Л.А. Песьякова, Н.Д. Камакина, О.С. Бровко. Изучение фотометрической реакции лигносульфоновых кислот с азотной кислотой……. 120

МЕТОДИКА И ПРАКТИКА ПРЕПОДАВАНИЯ

И.В. Евдокимов. О преподавании истории лесного хозяйства в вузе……... 127

КРАТКИЕ СООБЩЕНИЯ И ОБМЕН ОПЫТОМ

А.Э. Пиир, А.Ю. Верещагин, В.Б. Кунтыш. Методика проектирования и расчет теплопередачи в калориферах лесосушильных камер из биметаллических ребристых труб……... 129

М.Ю. Веретнов. О повышении эффективности лесозаготовительного процесса при интеллектуальной поддержке разработки технологических карт…… 136

ИСТОРИЯ НАУКИ

О.А. Неволин. Неиссякаемый кладезь знаний о лесоустройстве и лесоуправлении (второе издание капитальных трудов М.М. Орлова)…….. 139

КОНФЕРЕНЦИИ И СОВЕЩАНИЯ

Б.Н. Уголев, Я.Н. Станко. Сессия Координационного совета по древесиноведению……. 146

ЮБИЛЕИ

Коллектив лесохозяйственного факультета С.-Петербургской государственной лесотехнической академии. Юбилей профессора А.С. Тихонова……... 149

Ректорат, коллектив факультета механической технологии древесины АГТУ, редколлегия и редакция «Лесного журнала». Юбилей Владимира Ивановича Мелехова…… 152

CONTENTS

FORESTRY

V.P. Ryabchuk, T.V. Yuskevich. Microscopic Wood Structure of Tapped Introduced Species……. 7

G.S. Varaksin, V.I. Polyakov, M.A. Lyuminarskaya. Structure and Growth of Siberian Spruce Cultures in Middle Siberia…… 14

P.A. Oskorbin, A.A. Vais. Spatial Pattern Dynamics of Dark Coniferous Forest Stands in Western Siberia……... 21

A.I. Buzykin, L.S. Pshenichnikova. Response of Middle-aged Pineries to Cleaning Cutting…… 28

O.I. Gavrilova, V.K. Khlyustov, I.V. Morozova. Regularities of Forest Bluejoint Formation on Clear-cut Areas in Bilberry Pine Stands of Southern Karelia…... 33

O.S. Zalyvskaya, S.V. Khrushcheva, N.A. Babich. Lead in Soil – Woody Plant System in Urbanized Environment……... 39

WOODEXPLOITATION

P.N. Perfiljev, A.A. Mitrofanov. Study of Hydrodynamic Characteristics of Bars Made of Flat Raft Sections…….. 44

B.A. Potekhnin. Improvement of Friction Units in Machines and Mechanisms of Forest Industry…… 51

D.T. Ankudinov, L.T. Raevskaya. Investigation of Design Parameters Influence on Deflected Mode of Air Motor…….. 55

G.A. Borisov,V.D. Kukin. On Optimization of Forest Road Network Parameters under Contemporary Conditions……. 60

V.M. Zalozhnykh, V.P. Bychkov. Limiting Freight Turnover of Soil and Winter Wood Tracks……... 66

A.N. Zaikin. Simulation of Logging Machines Operation Modes……. 71

MECHANICAL TECHNOLOGY OF WOOD AND WOODSCIENCE

G.F. Prokofjev, I.I. Ivankin, L.A. Kovalev. Analytical Method of Determining Wood Sawing Accuracy by Circular Saws……. 78

V.I. Malygin, N.V. Lobanov, L.V. Kremleva. Optimization Methods and Quality Assessment of Wood-milling Cutters in Bench-testing and Mathematic Simulation. III. Investigation of Design Parameters Influence on Dynamic Quality of Assembly Cutters in Bench-testing Simulation…….. 83

B.D. Rudenko. Characteristics of Wood-cement Composite when Using Square Chips…… 90

S.P. Ageev. Energetic Characteristic of Cutting Mechanism of Frame Saw…….. 95

P.Yu. Bunakov, A.V. Starikov, V.N. Kharin, S.Ya. Gusev, A.A. Starikova. Perspective Computer-aided Design of Compound Cabinet Furniture: Conceptual Basics, Design Paradigm, Realization Peculiarities……. 100

CHEMICAL TECHNOLOGY OF WOOD

A.F. Troyanskaya, A.V. Veliamidova. Current Soil State regarding Pollution with Persistent Organochlorine Compounds due to Use of Commercial Formulation of Sodium Pentachlorophenolate in Arkhangelsk Region…….. 108

N.A. Matonina, D.G. Chukchin, O.M. Sokolov. Practical Aspects of Electrohydraulic Effect Application for Pulp Treatment ……... 116
Yu.G. Khabarov, L.A. Pesjakova, N.D. Kamakina, O.V. Brovko. Study of Photometric Reaction of Lignosulfonic Acids with Nitric Acid……. 120

METHODS AND PRACTICAL EXPERIENCE OF TEACHING

I.V. Evdokimov. On Teaching History of Forestry at Higher Education Institutes…. 127

SUMMARIES AND EXCHANGE OF TEACHING

A.E. Piir, A.Yu. Vereshchagin, V.B. Kuntysh. Technique of Design and Calculation of Heat Transfer in Heaters of Timber Drying Kilns Made of Bimetallic Ribbed Pipes…… 129
M.Yu. Veretnov. On Enhancing Efficiency of Forest-harvesting Processes under Intelligent Support of Flow Sheets Elaboration…….. 136

HISTORY OF SCIENCE

O.A. Nevolin. Inexhaustible Mine of Knowledge about Forest Organization and Forest Management (second issue of major work by M.M. Orlov)……. 139

SCIENTIFIC AND LEARNED CONFERENCES

B.N. Ugolev, Ya.N. Stanko. Session of Coordination Council for Wood Science…... 146

JUBILEES

Staff of forestry faculty of Saint-Petersburg Forest-Technical Academy. Jubilee of Professor A.S. Tikhonov..... 149
Administration of ASTU, staff of wood technology faculty, editorial board and staff of «Lesnoy Zhurnal». Jubilee of Vladimir I. Melekhov…….. 152

ЛЕСНОЕ ХОЗЯЙСТВО

УДК 630*81

В.П. Рябчук, Т.В. Юскевич

Национальный лесотехнический университет Украины

Рябчук Василий Петрович родился в 1939 г., окончил в 1968 г. Львовский лесотехнический институт, доктор сельскохозяйственных наук, профессор, заведующий кафедрой ботаники, древесиноведения и недревесных ресурсов леса Национального лесотехнического университета Украины (г. Львов). Имеет более 250 печатных работ в области изучения недревесных ресурсов леса.
Тел.: (032) 237-10-48

Юскевич Тарас Васильевич родился в 1974 г., окончил в 1995 г. Украинский государственный лесотехнический университет (г. Львов), кандидат сельскохозяйственных наук, старший преподаватель Национального лесотехнического университета Украины (г. Львов). Имеет 26 печатных работ в области изучения продуктивности и комплексного использования насаждений с участием интродуцированных видов сосны.
Тел.: (032) 237-10-48

МИКРОСКОПИЧЕСКОЕ СТРОЕНИЕ ДРЕВЕСИНЫ ПОДСАЧИВАЕМЫХ ИНТРОДУЦЕНТОВ

Исследована зависимость смолопродуктивности интродуцированных видов от показателей строения древесины. Выведены уравнения зависимости числа вертикальных смоляных ходов от ширины годичного слоя.

Ключевые слова: микроскопическое строение древесины, подсочка, биологическая смолопродуктивность, интродуценты, сосна обыкновенная.

Способность хвойных пород выделять при ранениях живицу дает возможность увеличивать ассортимент продуктов жизнедеятельности деревьев. Добыча живицы – один из эффективных методов прижизненного использования сосновых насаждений, имеющий большое значение в комплексе мероприятий рационального использования лесов и повышающий их общую производительность. Так, лесное хозяйство Франции получает основную прибыль от подсочного хозяйства, которое базируется на искусственно созданных насаждениях сосны приморской. Прибыль от реализации древесины имеет там второстепенное значение [12, 13].

Основным источником получения живицы в Украине являются насаждения сосны обыкновенной, биологическая смолопродуктивность которой довольно низка в сравнении с другими видами подсачиваемых в мире сосен [4,10,12]. Тем не менее насаждения с участием хвойных интродуцентов вырубают пока неподсоченными. Выращивание сосен для подсочки

также может быть направлено не столько на достижение максимального количественного выхода живицы, сколько на получение живицы и терпентинного масла особого состава. Некоторые виды сосны содержат такие летучие соединения, которых в других соснах нет, и в техническом отношении они могут быть более ценными, чем само терпентинное масло [1, 2, 4]. Отбор или специальные мероприятия по выращиванию позволяют получить высокосмолопродуктивные виды и особи деревьев сосны для подсочки и живицу с особым составом [2, 3].

Для изучения смолопродуктивности и микроскопического строения древесины подсачиваемых интродуцентов проводили полевые исследования на постоянных пробных площадях в Бродовском, Бусском и Золочевском лесхозах объединения «Львовлес». Объектами исследований были неподсоченные лесные насаждения с наличием сосен Банкса, веймутовой, жесткой, черной и обыкновенной.

Как известно, сложные процессы смолообразования и смоловыделения происходят в специальных вместилищах (смоляных ходах) древесины. Количество и размеры этих структур обычно определяют анатомическое строение древесины. Отсюда можно сделать предположение о зависимости смолопродуктивности от микроскопических показателей древесины, к которым относятся число смоляных ходов в 1 см^2, их линейные размеры и объем [5, 24, 26, 27].

Показатели микростроения замеряли с помощью измерительной лупы. Препараты готовили на микротоме. Использовали методики, приведенные в работах В.Е. Вихрова, А.А. Яценко-Хмелевского [7, 31, 32]. Степень влияния факторов оценивали по классификации Б.А. Доспехова [13].

В соответствии с современными взглядами биосинтез терпенов происходит в смоляных ходах, поэтому наиболее вероятна корреляция смолопродуктивности деревьев с особенностями смолоносной системы [10, 14, 17, 18, 28]. Согласно исследованиям ученых в разных регионах высокосмолопродуктивные деревья характеризуются большим числом смоляных ходов в 1 см годичного слоя и на единице площади поперечного сечения ствола [6, 9, 11, 20, 22, 24, 29, 30]. Исходя из этого, и у интродуцированных видов мы сможем обнаружить влияние степени развития смоляного аппарата на смолопродуктивность деревьев.

Диаметр вертикальных смоляных ходов. На основе наших исследований, а также согласно литературным данным сделано предположение, что размер смоляных ходов оказывает определенное влияние на смолопродуктивность интродуцированных видов. Чтобы выяснить уровень этого влияния, мы изучали показатели микроскопического строения древесины. Результаты и расчеты исследований приведены в табл. 1.

Диаметр смоляных ходов разных видов колеблется в довольно широких границах: для деревьев сосны Банкса 37,5…112,5, веймутовой – 45,0…175,0, жесткой – 47,5…150,0, черной – 45,0…175,0, обыкновенной в разных условиях произрастания – 37,5…135,0 мкм. Тем не менее, средние размеры смоляных ходов у всех видов несущественно отличаются между

собою, за исключением сосны Банкса, у которой диаметр смоляных ходов меньше, в среднем 62,0 мкм (табл. 1).

Зависимость смолопродуктивности от размеров смоляных ходов в древесине исследуемых видов характеризуют данные табл. 2.

Итак, у всех исследованных видов обнаружена тенденция к повышению выхода живицы с увеличением диаметра смоляных ходов, эта зависимость средняя, менее всего она выражена у деревьев сосны жесткой ($t_ф$=0,73, если t_{05}=2,10).

Таблица 1

Показатели микроскопического строения древесины и их связь со смолопродуктивностью деревьев

Ступень толщины, см	Суточная смолопродуктивность, г	Диаметр смоляных ходов, мкм	Густота смоляных ходов, шт./см^2	Объем смоляных ходов, %
		Сосна Банкса		
24	0,63	59,47	32	1,99
28	0,75	61,95	37	1,86
32	1,38	62,89	39	2,00
36	1,32	63,36	48	2,23
		Сосна веймутова		
36	1,86	71,97	55	2,00
40	1,73	82,74	49	2,57
44	1,84	75,38	44	2,48
48	1,75	69,17	38	1,88
52	1,83	79,26	56	2,56
56	1,77	78,04	52	2,48
60	2,17	78,32	63	2,72
64	1,96	76,16	59	2,43
72	1,89	74,40	74	2,24
		Сосна жесткая		
28	0,68	69,63	30	2,19
32	0,72	68,58	36	2,07
36	1,01	67,94	34	1,96
40	1,08	80,38	41	2,68
44	1,65	79,04	36	2,75
48	1,71	75,23	54	2,58
52	1,96	74,22	42	2,54
56	1,88	81,79	68	3,02
60	2,09	73,01	69	2,21
		Сосна черная		
28	1,63	70,32	24	2,22
32	1,79	71,72	24	2,28
36	2,44	76,02	32	2,32
40	2,40	74,32	36	2,44
44	2,46	68,02	41	2,16
48	2,67	71,11	45	2,30
52	3,19	83,33	41	2,46

Таблица 2

Уравнения регрессии между смолопродуктивностью и показателями микроскопического строения древесины

Уравнение регрессии	Коэффициент корреляции r	Показатель детерминации r^2	t-критерий Стьюдента
Сосна Банкса			
$V = -3{,}64+0{,}07d_{см.х}$	0,64±0,16	0,41	8,52
$V = -1{,}83+1{,}42V_{см.х}$	0,58±0,18	0,34	6,12
$V = -1{,}25+0{,}06N_{см.х}$	0,76±0,11	0,58	16,60
Сосна веймутова			
$V = 3{,}17+0{,}02d_{см.х}$	0,35±0,21	0,12	2,25
$V = 1{,}79+0{,}03V_{см.х}$	0,03±0,24	0,001	0,02
$V = 0{,}96+0{,}02N_{см.х}$	0,56±0,16	0,31	7,42
Сосна жесткая			
$V = -0{,}44+0{,}02d_{см.х}$	0,19±0,21	0,04	0,73
$V = -0{,}50+0{,}75V_{см.х}$	0,36±0,19	0,13	2,89
$V = 0{,}10+0{,}03N_{см.х}$	0,53±0,16	0,28	7,39
Сосна черная			
$V = -0{,}92+0{,}04d_{см.х}$	0,44±0,20	0,19	3,43
$V = -1{,}05+1{,}45V_{см.х}$	0,50±0,19	0,25	4,74
$V = 0{,}70+0{,}05N_{см.х}$	0,73±0,12	0,53	16,31

Примечания. 1. Значение t-критерия Стьюдента: для сосны Банкса t_{05} = 2,15; веймутовой, жесткой t_{05} = 2,08; черной t_{05} = 2,12. 2. V – смолопродуктивность, г на отверстие; $d_{см.х}$ – диаметр смоляных ходов, мкм; $V_{см.х}$ – объем смоляных ходов, %; $N_{см.х}$ – густота смоляных ходов, шт./см^2.

Объем смоляных ходов. Исследователи утверждают, что между смолопродуктивностью и объемом вертикальных смоляных ходов у сосны обыкновенной связь несущественная [19]. Эту зависимость у интродуцированных видов характеризуют данные табл. 2. Наиболее полно ее можно описать с помощью уравнения регрессии. Выявлена связь средней тесноты между объемом смоляных ходов и выходом живицы у деревьев сосны Банкса (r = 0,58), жесткой (r = 0,36) и черной (r = 0,50).

Таким образом, показатель объема смоляных ходов вместе с другими признаками микроскопического строения древесины можно применять для выявления уровня смолопродуктивности интродуцированных видов.

Густота смоляных ходов. Число вертикальных смоляных ходов в каждом годичном слое определяется его шириной. Чем шире годичный слой, тем больше процент поздней древесины и число смоляных ходов в единице окружности слоя [8, 15, 16, 24, 25]. Но поскольку все исследования проводятся в разных регионах и объектами исследований были в основном деревья сосны обыкновенной, ели и лиственницы, мы попробовали выяснить существование такой зависимости у интродуцированных видов в условиях Малого Полесья.

Нашими исследованиями выявлена прямая связь числа смоляных ходов ($n_{см.х}$) от ширины годичного слоя (S) во всех исследованных видах и на разной глубине древесины. Коэффициенты корреляции показывают среднюю тесноту связи, в отдельных случаях переходящую в тесную (табл. 2).

Эту зависимость можно описать следующими уравнениями:

для сосны Банкса

$$n_{см.х} = 0{,}27 + 5{,}74\ S;$$

для сосны веймутовой

$$n_{см.х} = -1{,}55 + 7{,}24\ S;$$

для сосны жесткой

$$n_{см.х} = 1{,}84 + 3{,}06\ S;$$

для сосны черной

$$n_{см.х} = 3{,}78 + 2{,}36\ S;$$

для сосны обыкновенной:

в Бродовском лесхозе

$$n_{см.х} = 2{,}38 + 3{,}08\ S;$$

в Бусском лесхозе

$$n_{см.х} = 3{,}04 + 3{,}66\ S;$$

в Золочевском лесхозе

$$n_{см.х} = 4{,}89 + 1{,}99\ S.$$

Мы изучали также число смоляных ходов на 1 см^2 древесины (густота смоляных ходов). Результаты наблюдений приведены в табл. 1. Наименьшая густота выявлена у деревьев сосны черной (35 шт./см^2), наибольшая у сосны веймутовой (52 шт./см^2), однако это не свидетельствует о высшей смолопродуктивности последней, которая оказалась даже ниже. Некоторые исследователи, в частности Е.П. Проказин [23], отмечают, что у сосны крымской число смоляных ходов на 1 см годичного слоя меньше, чем у сосны обыкновенной, однако выход живицы выше. Тем не менее, в пределах одного вида выявлено повышение выхода живицы при увеличении густоты смоляных ходов на единице площади поперечного сечения древесины, причем эта зависимость характеризуется высокими коэффициентами корреляции (табл. 2).

Итак, показатель густоты смоляных ходов для одного вида можно применять для отбора высокосмолопродуктивных деревьев. Учет числа смоляных ходов в производственных условиях очень трудоемок, поэтому следует использовать более простой показатель – ширину годичного слоя.

Известно, что близлежащие к камбию 2 … 4 годичных слоя более смолопродуктивны, чем отдаленные [21], и это следует учитывать при подсочке [14]. Поэтому все показатели анатомического строения древесины мы определяли на отрезке до 1 см от камбия, а также для сравнения на расстоянии 2 см от внешнего слоя древесины. Отмечено равномерное и несущественное снижение показателей макроскопического строения древесины. Вероятно, это связано с влиянием разных факторов, в том числе экологических.

Таким образом, можно сделать вывод, что при установлении уровня смолопродуктивности интродуцированных видов следует учитывать показатели микроскопического строения древесины.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Акимов, Ю.А.* Количественное содержание компонентов эфирных масел сосны обыкновенной и сосны крымской в течение вегетации [Текст] / Ю.А. Акимов, Г.И. Нилов, Л.Н. Лаштванова // Раст. ресур. – 1975. – Т. 9, вып. 4. – С. 562–568.

2. *Алексеев, В.А.* Подсочка сосны при проходных рубках [Текст] / В.А. Алексеев, С.С. Брюзжилина // Лесн. хоз-во. – 1988. – № 9. – С. 44–47.

3. *Алешинский, Н.А.* Подсочное производство [Текст] / Н.А. Алешинский, И.М. Гурвич. – М.: Лесн. пром-сть, 1969. – 176 с.

4. *Бардышев, И.И.* Изменчивость свойств и состава скипидаров, полученных из индивидуальных деревьев хвойных пород, произрастающих в пределах СССР [Текст] / И.И. Бардышев // Сб. науч. работ БелЛТИ. – Минск: Изд-во Белгосуниверситета, 1958. – Вып 9. – С. 105–114.

5. *Божок, О.П.* Деревинознавство з основами лісового товарознавства [Текст]/ О.П. Божок, И.С. Вінтонів. – К.: НМК ВО, 1992. – 320 с.

6. *Винк, Б.Р.* К вопросу индивидуальной изменчивости сосны ленточных боров Казахстана по признаку смолопродуктивности [Текст] / Б.Р. Винк, И.И. Орлов // Тр. КазНИИЛХ. – Алма-Ата: Кайнар, 1970. – Т. 7. – С. 81–84.

7. *Вихров, В.Е.* Диагностические признаки древесины главнейших и лесопромышленных пород СССР [Текст] / В.Е. Вихров. – М.: Изд-во АН СССР, 1959. – 132 с.

8. *Вишневская, Н.М.* Анатомо-физиологические особенности и биологическая смолопродуктивность сосны обыкновенной [Текст]: автореф. дис. ... канд. биол. наук: 03.00.12 / Н.М. Вишневская; Ин-т экол. раст. и живот. – Свердловск, 1973. – 25 с.

9. *Ворончихин, Н.З.* Изменчивость смолопродуктивности деревьев в зависимости от морфологических признаков в сосняках Верхней Камы [Текст]: автореф. дис. ... канд. с.-х. наук: 06.03.03 / Н.З. Ворончихин; Урал. лесотехн. ин-т. – Свердловск, 1973. – 27 с.

10. *Высоцкий, А.А.* Селекция сосны обыкновенной на смолопродуктивность и рекомендации по созданию насаждений целевого назначения [Текст]: автореф. дис. ... д-ра с.-х. наук: 06.03.01 / А.А. Высоцкий; Науч.-исслед. ин-т лесн. генетики и селекции. – Брянск, 2002. – 37 с.

11. *Гарм, Г.* Новые пути увеличения добычи живицы [Текст] / Г. Гарм; пер. с англ. – М.: ЦБТИ, 1956. – 23 с.

12. *Гордеев, А.В.* Создание на Нижнеднепровских и Нижнедонских песках сырьевых баз длительного подсочного хозяйства за счет разведения сосны крымской (*Pinus pallasiana* Lamb) [Текст]: автореф. дис. ... д-ра с.-х. наук / А.В. Гордеев, Латв. с.-х. акад. – Елгава, 1964. – 31 с.

13. *Доспехов, Б.А.* Методика полевого опыта (с основами статистической обработки результатов исследований) [Текст] / Б.А. Доспехов. – М.: Колос, 1979. – 416 с.

14. *Иванов, Л.А.* Биологические основы добывания терпентина в СССР [Текст] / Л.А. Иванов. – М.; Л.: Всесоюз. кооп. объедин. изд-во, 1940. – 179 с.

15. *Кляч, Э.Э.* Внутривидовая изменчивость сосны обыкновенной по смолопродуктивности в Брянском лесорастительном районе и использование хозяйственно-ценных форм в лесном хозяйстве [Текст]: автореф. дис. ... канд. с.-х. наук / Э.Э. Кляч; Бел. технол. ин-т. – Минск, 1966. – 23 с.

16. *Коростелев, А.С.* Лесоводственно-технологическое обоснование применения минеральных удобрений и сульфитно-дрожжевой бражки при подсочке сосны обыкновенной в условиях Среднего Урала [Текст]: автореф. дис. ... канд. с.-х. наук: 06.03.03 / А.С. Коростелев; Урал. лесотехн. ин-т. – Свердловск, 1975. – 25 с.

17. *Ларсон, Ф.Р.* Опытный лесной участок в штате Флорида США после 9-летней непрерывной подсочки с применением серной кислоты [Текст] / Ф.Р. Ларсон; пер. с англ. – М.: ЦБТИ, 1956. – 4 с.

18. *Лир, Х.* Физиология древесных растений [Текст] / Х. Лир, Г. Польстер, Г.-И. Фидлер; пер. с нем. – М.: Лесн. пром-сть, 1974. – 424 с.

19. *Максим, Я.В.* Вплив параметричної будови дерев на смолопродуктивність сосни звичайної в умовах Малого Полісся [Текст]: автореф. дис. ... канд. с.-г. наук: 06.00.20 / Я.В. Максим; УкрДЛТУ. – Львов, 1996. – 25 с.

20. *Мельников, А.П.* Лесоводственно-технологические особенности подсочки сосны в лесах Казахского мелкосопочника [Текст]: автореф. дис. ... канд. с.-х. наук: 562 / А.П. Мельников; Казах. с.-х. ин-т. – Алма-Ата, 1971. – 21 с.

21. *Орлов, И.И.* Подсочка сосны [Текст] / И.И. Орлов. – М.: Гослесбумиздат, 1936. – 102 с.

22. *Петрик, В.В.* Лесоводственные методы повышения смолопродуктивности сосновых древостоев [Текст]: автореф. дис. ... д-ра с.-х. наук: 06.03.03 / В.В. Петрик; Арханг. гос. техн. ун-т. – С.-Петербург, 2003. – 35 с.

23. *Проказин, Э.П.* Селекция смолопродуктивных форм сосны обыкновенной [Текст] / Э.П. Проказин // Сб. работ по лесн. хоз-ву. – М.: Минсельхоз, 1959. – Вып. 38. – С. 125–186.

24. *Рябчук, В.П.* Рекомендації для відбору дерев сосни звичайної підвищеної смолопродуктивності [Текст] /В.П. Рябчук, О.І. Фурдичко, Я.В. Максим. – Львів: УкрДЛТУ, 1996. – 13 с.

25. *Суханов, В.И.* Связь числа смоляных ходов в древесине со смолопродуктивностью сосны [Текст] / В.И. Суханов, Л.Г. Гоголева // Матер. отчет. сессии по итогам науч.-исслед. работ в IX пятилетке (1971–1975). – Архангельск: АИЛиЛХ, 1976. – С. 72–74.

26. *Уголев, Б.Н.* Древесиноведение с основами лесного товароведения [Текст] / Б.Н. Уголев. – М.: Лесн. пром-сть, 1986. – 368 с.

27. *Федоров, Н.И.* Ход роста и физико-механические свойства древесных культур сосны веймутовой и сосны обыкновенной [Текст] / Н.И. Федоров // Сб. науч. работ БелЛТИ. – Минск: Изд-во Белгосуниверситета, 1958. – Вып. 9. – С. 165–175.

28. *Фролов, Ю.А.* Лесоводственно-биологические и технологические основы подсочки сосны обыкновенной (*Pinus silvestris* L.) [Текст]: автореф. дис. ... д-ра с.-х. наук: 06.03.03 / Ю.А. Фролов; С.-Петерб. науч.-исслед. ин-т лесн. хоз-ва. – С.-Петербург, 2000. – 38 с.

29. *Чудный, А.В.* Отбор высокосмолопродуктивных деревьев сосны обыкновенной и их использование при создании насаждений для целей подсочки [Текст]: автореф. дис. ... канд. с.-х. наук / А.В. Чудный; Урал. лесотехн. ин-т. – Свердловск, 1966. – 23 с.

30. *Шатерникова, А.Н.* Зависимость выходов живицы сосны от строения древесины и влияние подсочки на прирост и число смоляных ходов [Текст] / А.Н. Шатерникова // Сб. тр. ЦНИИЛХ. – Л.: Гослестехиздат, 1936. – № 4. – С. 55–85.

31. *Яценко-Хмелевский,* А.А. Анатомия и физиология смолообразующего аппарата хвойных [Текст] / А.А. Яценко-Хмелевский [и др.]. – Л.: РИО ЛТА, 1979. – 36 с.

32. *Яценко-Хмелевский, А.А.* Основы и методы анатомического исследования древесины [Текст] / А.А. Яценко-Хмелевский. – М., Л.: Изд-во АН СССР, 1954. – 337 с.

Поступила 20.09.06

V.P. Ryabchuk, T.V. Yuskevich

National University of Forestry and Wood Technology of Ukraine, Lvov

Microscopic Wood Structure of Tapped Introduced Species

Dependence of resin tapping productivity of introduced species on wood structure characteristics is studied. The dependence equations of a number of vertical resin canals on annual ring width are derived.

Keywords: microscopic wood structure, tapping, biological resin tapping productivity, introduced species, Scotch pine.

УДК 630*232:630*56

Г.С. Вараксин, В.И. Поляков, М.А. Люминарская

Институт леса им. В.Н. Сукачева СО РАН

Вараксин Геннадий Сергеевич родился в 1957 г., окончил в 1979 г. Сибирский технологический институт, доктор сельскохозяйственных наук, заведующий лабораторией искусственных лесных фитоценозов Института леса им. В.Н. Сукачева СО РАН. Имеет более 80 печатных работ в области лесоведения, лесных культур, лесной селекции, лесной таксации, биологической рекультивации, интродукции древесных растений и защитного лесоразведения.
E-mail: var@ksc.krasn.ru

Поляков Вадим Иванович родился в 1949 г., окончил в 1981 г. Марийский политехнический институт, кандидат сельскохозяйственных наук, старший научный сотрудник лаборатории таксации и лесопользования Института леса им. В.Н. Сукачева СО РАН. Имеет более 40 научных работ по вопросам хода роста, продуктивности, товарности и устойчивости насаждений.
E-mail: vsokolov@forest.akadem.ru

Люминарская Мария Алексеевна родилась в 1978 г., окончила в 2001 г. Сибирский государственный технологический университет, аспирант сектора искусственных лесных фитоценозов Института леса им. В.Н. Сукачева СО РАН. Имеет 10 печатных работ в области лесоводства, искусственного лесовосстановления, экологии, защитного лесоразведения, интродукции..
E-mail: lyumic@ksc.krasn.ru

СТРОЕНИЕ И РОСТ КУЛЬТУР ЕЛИ СИБИРСКОЙ В СРЕДНЕЙ СИБИРИ

По материалам таксации четырех пробных площадей в сплошных культурах ели сибирской возраста 18, 32, 37 и 69 лет исследовано строение и ход роста древостоев. Даны рекомендации по выращиванию высокопродуктивных искусственных насаждений ели в таежно-лесостепной зоне Средней Сибири.

Ключевые слова: подтайга, ель сибирская, ход роста, продуктивность, рубки ухода.

Район наших исследований относится к округу южно-таежных и подтаежных лесов Западно-Сибирской равнинной лесорастительной области [8]. Легкодоступные продуктивные темнохвойные леса (I–III классы бонитета) здесь практически повсеместно вырублены. Восстановление хвойных на вырубках идет через смену лиственных пород, задерживаясь на многие десятилетия. При этом ель сибирская уступает место более теневыносливой пихте сибирской. В результате восстановительных смен снижается продуктивность лесов, ухудшаются их качественные показатели: состав, товарность, долговечность.

В решении проблемы повышения продуктивности и качественного состава лесов ключевое значение приобретают лесные культуры. Наши исследования насаждений искусственного происхождения в южной тайге Средней Сибири [3–7] показали, что самой быстрорастущей породой на площадях из-под темнохвойных лесов является сосна обыкновенная. В сомкнутых культурах она растет по I классу бонитета. Рост в высоту лиственницы сибирской примерно тот же, но она уступает сосне по диаметру. Ель сибирская и кедр сибирский растут медленнее сосны и лиственницы. Темпы их роста примерно равны, а самой медленнорастущей породой в культуре оказалась пихта сибирская.

Медленный рост ели в первые годы жизни (до 10…15 лет) лесоводам хорошо известен. Однако в дальнейшем при благоприятных условиях ель дает интенсивный прирост в высоту (ежегодно до 1,0 м) и к 20…30 годам может догнать сосну равного с ней возраста [10]. В литературе по вопросам продуктивности культур сосны и ели одного возраста, произрастающих в сходных условиях, можно найти массу противоречивых примеров. В ряде случаев лучшими показателями характеризуется сосна, в других – ель [2]. Подавляющее большинство этих исследований проводилось в европейской части России.

Целью нашей работы было изучение хода роста и продуктивности культур ели сибирской старших возрастов, произрастающих в таежной и лесостепной Средней Сибири. Объектами исследований служили четыре пробные площади (ПП), заложенные в 2005 г. в сплошных культурах ели сибирской (табл. 1). Календарный возраст культур 18, 32, 37 и 69 лет.

Натурные работы выполняли по ОСТ 16128–90 «Пробные площади лесоустроительные». Запас древостоев оценивали по местным таблицам

Таблица 1

Таксационная характеристика древостоев ели на 1 га

№ ПП	Состав	Средние			Сумма площадей сечений, м^2	Запас, м^3		Густота, шт.		Класс бонитета	Полнота
		возраст, лет	высота, м	диаметр, см		растущего леса	сухостоя	растущего леса	сухостоя		
1	9Е1К, П,Б, ед.Ос	69	21,0	30,0	41,0	398	7	542	39	II	1,2
2	10Е	18	5,1	5,2	16,9	68	–	7955	136	III	1,2
3	10Е	32	9,1	8,9	30,0	178	1	4778	156	III	1,5
4	10Е	37	11,7	9,3	39,8	285	12	5867	2267	III	1,6

объемов стволов, класс бонитета – по общебонитировочной шкале М.М. Орлова, полноту – по стандартным таблицам ЦНИИЛХ [12]. Отсутствующие в стандартной таблице значения сумм площадей сечений (ΣG) и запасов древостоев (M) при средних высотах (H) ели менее 10 м получили

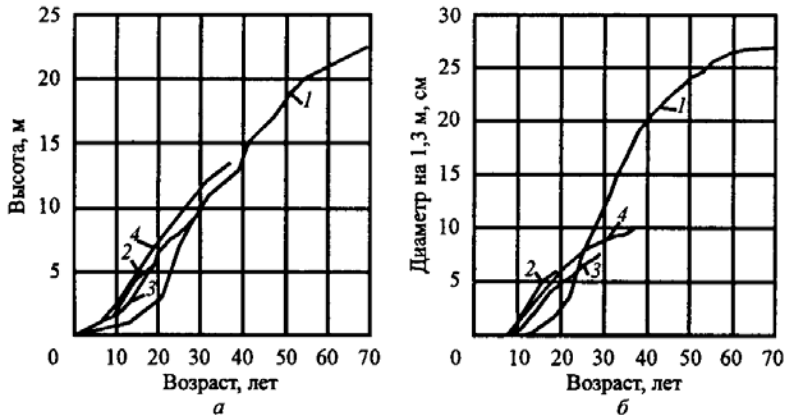
экстраполяцией ΣG и M из диапазона H = 10…35 м с помощью функции Вейбулла (табл. 2).

Пробная площадь 1 заложена в таежной зоне, в Южно-Кытатском лесничестве Ачинского лесхоза, в 69-летних культурах. Ельник осочковый расположен на плакоре водораздельной возвышенности (250 м над уровнем моря). Примесь кедра, пихты и лиственных около 10 %. Подлесок высотой 1,5 м образуют спирея рябинолистная и шиповник. В напочвенном покрове господствует осочка большехвостая, встречаются кисличка, лесное разнотравье. Почва серая лесная среднесуглинистая дренированная свежая. Ельник состоит из нескольких однородных участков общей площадью до 4 га, разделенных ложбинами овражно-балочной сети, и с северо-востока примыкает к покосам. В ближнем окружении преобладают спелые сомкнутые осинники и березняки, средневозрастные пихтарники с елью и кедром. Здесь характерны высокая полнота, практически чистый состав (9Е) и одновозрастность ели (A_i = 67…72 лет по кернам). Ельник создан посевом семян на свежей вырубке в начале 1930-х гг. Размещение посевных мест из-за большого количества пней носило случайный характер. По мере зарастания вырубки ель попала под полог лиственных и некоторое время (до 13 лет) испытывала угнетение. Осветление, проведенное в два приема, позволило ей с 22 лет вступить в стадию быстрого роста [10], которая завершилась к 53–56-летнему возрасту (рис. 1).

Таблица 2

Сумма площадей сечений и запас нормальных ельников высотой менее 10 м

H, м	ΣG, м^2/га	M, м^3/га	H, м	ΣG, м^2/га	M, м^3/га
2	8,2	13	6	16,0	58
3	10,5	22	7	17,6	72
4	12,6	33	8	19,1	87



5	14,4	45	9	20,5	103

Рис. 1. Ход роста в высоту (*а*) и по диаметру (*б*) средних деревьев ели: номера кривых *1–4* соответствуют номерам пробных площадей

Пробные площади 2–4 заложены в лесостепной зоне, в 18-, 32- и 37-летних культурах ели сибирской в Устюгском лесничестве Емельяновского лесхоза (на стационаре «Погорельский бор» Института леса им. В.Н. Сукачева СО РАН). Это небольшие участки культур, созданные на открытых местах посадкой 2-летних сеянцев ели по сплошь подготовленной почве, размещение посадочных мест 1,5 × 0,60…0,75 м. Сейчас на них произрастают 400…1000 деревьев (59…84 % от начальной густоты). Лесоводственные уходы, не считая обрезки усыхающих нижних ветвей и уборки сухостоя, не проводились. Полнота ели в этих загущенных монокультурах остается очень высокой (табл. 1). До настоящего времени это мертвопокровные, чистые по составу древостои. Тип условий местопроизрастания ели на ПП 2–4 тот же, что и на ПП 1 (по В.Н. Сукачеву, B_2–C_2 [9]). Почвы серые лесные среднесуглинистые дренированные свежие.

Растущая в первые годы без затенения ель (ПП 2–4) достигла высоты груди в 7-8 лет, а попавшая под полог лиственных пород (ПП 1) – только к 13 годам (рис. 1). В 20 лет высота и диаметр ели на ПП 3 и 4 были уже в 2–3 раза больше, чем на ПП 1. В третьем десятилетии соотношение темпа роста существенно изменилось, особенно по диаметру. Если в осветленных культурах ели на ПП 1 период быстрого роста прослеживается с 22 лет, то в загущенных на ПП 3 и 4 он так и не наступил. Более того, за последние годы в них намечается снижение не только радиального, но и линейного прироста. Это говорит о необходимости своевременных прочисток и прореживаний в сомкнутых монокультурах темнохвойных.

Строение древостоев ели по толщине иллюстрирует рис. 2. Перечет на ПП 1 произведен по 4-сантиметровым, на ПП 2–4 по 2-сантиметровым ступеням толщины. Результаты перечета для наглядности сглажены функцией Вейбулла. Из рисунка видно, что в древостое на ПП 1 со средним диаметром 30 см встречаются деревья от 8 до 48 см. Изменчивость диаметра (CV_d) составляет 28 %. Кривая распределения имеет незначительную левую

2

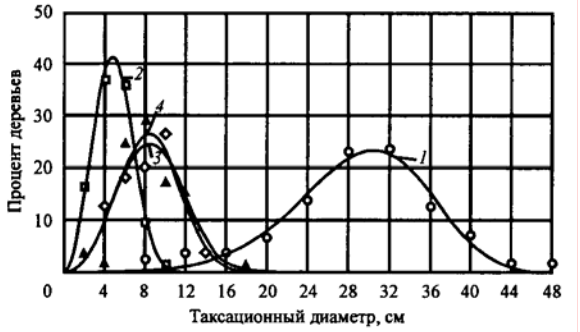


Рис. 2. Строение культур ели по толщине (обозначения см. на рис. 1)

асимметрию (A_s = – 0,38). В молодняке на ПП 2 изменчивость диаметра много выше (CV_d = 38 %). Визуальный эффект положительного эксцесса (на самом деле E_x = –1,2) обусловлен тем, что перечет на ПП 2 выполнен не по 1-,

а по 2-сантиметровым ступеням. Ряды распределения ели в загущенных 32- и 37-летних культурах слишком далеко отстоят от ряда *1* и между собой ничем не отличаются (CV_d = 35…37 %). Увеличение среднего диаметра в них фактически прекратилось, хотя в оптимальных условиях роста пики этих распределений могли бы размещаться над отметками 14…16 и 16…18 см. Так, средние диаметры 27-летних культур ели европейской в Московской области с густотой посадки 3 и 5 тыс. шт./га (густота стояния 1,72 и 3,26 тыс. шт./га) составляли 14 и 11 см соответственно [1]. Но более густые посадки (5 тыс. шт./га), по мнению авторов, предпочтительнее с точки зрения отбора перспективных деревьев на доращивание при рубках ухода.

Характер распределения ели по высоте иллюстрирует рис. 3.

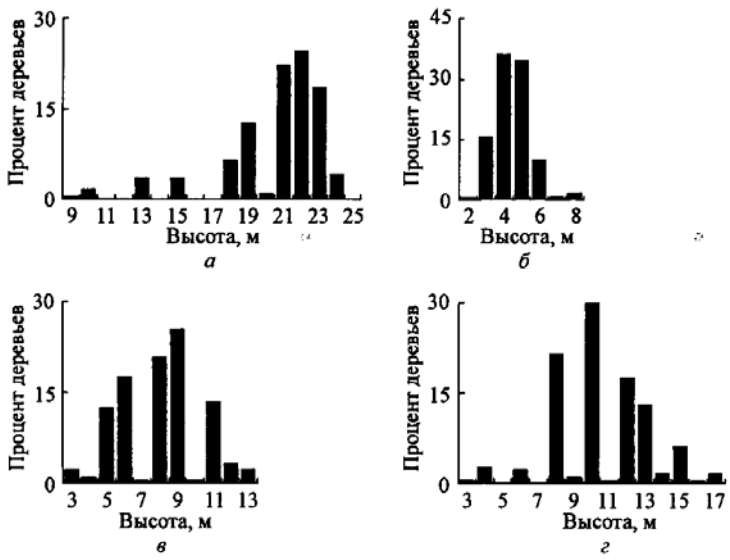


Рис. 3. Распределение ели по 1-метровым ступеням высоты: *а–г* – пробные площади 1–4

Полог крон 69-летней ели на ПП 1 можно считать горизонтально сомкнутым (CV_h = 20 %). Отстающих в росте деревьев (h = 8…15 м) здесь не более 11 %. Средняя протяженность живой части крон 70 % ($CV_{кр}$ = 12 %). Преобладают деревья с густыми, низко опущенными кронами. Стволы имеют повышенный средний сбег (1,4 см/м) и сучковатость, которая, как известно, является пороком и зависит от густоты древостоя. Следовательно, густота (N = 542 шт./га), очевидно, мало изменившаяся с начала периода быстрого роста, оказалась недостаточной для выращивания деловой высококачественной древесины. Оптимальная густота стояния ели в этом возрасте должна быть около 900 шт./га. Но особенно далека от оптимальной густота культур на ПП 2–4. Так, средние диаметр и высота ели на ПП 4 приближаются к предельным линиям самоизреживания древостоев по биопродукционным показателям [11], а ее запас даже выше предельного на 4 %.

Вследствие загущенности этих культур формируется вертикально сомкнутый полог. Если в молодняке на ПП 2 дифференциация деревьев по высоте только началась (CV_h = 31 %), то на ПП 3 и 4 они уже разделились на ярусы (CV_h = 34…36 %). Средний сбег стволов низкий (0,79…0,97 см/м). Кроны высоко подняты и неравномерно развиты как по ширине, так и по высоте (протяженность их живой части 50 ± 21 %). Это влечет за собой смещение центра тяжести крупных деревьев вверх и потерю ими ветроустойчивости. Судьбу таких древостоев без ухода нетрудно предсказать. Поскольку дифференциация деревьев по высоте продолжится, самые крупные, а затем и субдоминантные деревья, занявшие их место, могут подвергнуться ветровалу, а деревья средних размеров и подчиненного положения будут угнетаться и повреждаться при падении крупных. В итоге к показателям технической спелости древостой придет с запозданием и в сильно расстроенном состоянии.

О сравнительной продуктивности культур сосны и ели одного возраста, произрастающих в сходных условиях, на наш взгляд, можно судить по стандартной таблице сумм площадей сечений и запасов нормальных древостоев. Из нее следует, что сосна и ель при одних и тех же средних высотах имеют разные нормы полноты и с высоты 20 м и выше ель превосходит сосну по запасу. Следовательно, при правильном выращивании ель сибирская может оказаться не менее продуктивной, чем сосна обыкновенная.

Таким образом, для достижения оптимального результата начальная густота культур ели должна быть близка к 5 тыс. шт./га, что оставляет больше возможностей для выбора перспективных деревьев на доращивание. В культурах ели необходимо своевременно проводить все виды рубок ухода. К 30-летнему возрасту следует оставлять 3,5 тыс. шт./га, к 70-летнему – 0,9 и к 100-летнему – не более 0,7 тыс. шт./га. Так, в нашем случае в древостое ели на ПП 2 требуется выполнить прочистку интенсивностью 40…50 % по числу деревьев, а на ПП 3 и 4 – до 40…60 %. Однако из-за слабого развития корневых систем (вследствие загущенности культур) рубку следует проводить в два приема с интервалом через 5…7 лет. Практикуемый же в настоящее время метод прореживания густых культур вырубкой целых рядов хотя и обеспечивает достижение желаемой густоты, носит механический характер и, на наш взгляд, не отвечает целям лесовыращивания, поскольку, с отставшими в росте и «лишними» деревьями, вырубаются многие перспективные экземпляры.

При правильном выращивании лесные культуры ели сибирской в Средней Сибири к возрасту технической спелости не будут уступать культурам сосны обыкновенной по запасу и общей продуктивности стволовой древесины.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Бабич, Н.А.* Фитомасса культур сосны и ели в европейской части России [Текст] / Н.А. Бабич, М.Д. Мерзленко, И.В. Евдокимов. – Архангельск, 2004. – 112 с.

2. *Вараксин, Г.С.* Культуры сосны обыкновенной в Красноярском крае [Текст] / Г.С. Вараксин, И.Ю. Коропачинский. – Новосибирск, 2000. – 83 с.

3. *Вараксин, Г.С.* Особенности роста культур пихты сибирской в подзоне южной тайги Средней Сибири [Текст] / Г.С. Вараксин, В.И. Поляков, А.П. Горбунов // Лесн. таксация и лесоустройство. – 2004. – № 1 (33). – С. 131–135.

4. *Вараксин, Г.С.* Особенности формирования и роста хвойных культур в южно-таежной зоне Средней Сибири [Текст] / Г.С. Вараксин [и др.] // Лесн. журн. – 2005. – № 5. – С. 50–56. – (Изв. высш. учеб. заведений).

5. *Вараксин, Г.С.* Состояние культур сосны обыкновенной и лиственницы сибирской в подзоне южной тайги Средней Сибири [Текст] / Г.С. Вараксин [и др.] // Лесн. таксация и лесоустройство.– 2003. – № 1 (32). – С. 156–160.

6. *Вараксин, Г.С.* Оценка состояния и роста опытных культур сосны и лиственницы в подзоне южной тайги Средней Сибири [Текст] / Г.С. Вараксин, В.И. Поляков, С.В. Инюшкин//Лесохоз. информ. Мин-во природных ресурсов; ВНИИЛиМЛХ. – М., 2002. – С. 23–28.

7. *Вараксин, Г.С.* Оценка состояния и ход роста опытных культур ели и кедра в подзоне южной тайги Средней Сибири [Текст] / Г.С. Вараксин, В.И. Поляков, М.А. Петрова // Лесн. таксация и лесоустройство. – 2001. – № 1(30). – С. 18–23.

8. *Коротков, И.А.* Лесорастительное районирование России и республик бывшего СССР [Текст] / И.А. Коротков // Углерод в экосистемах лесов и болот России. – Красноярск, 1994. – С. 29–47.

9. *Лимонов, Е.И.* Полевой справочник лесоустроителя [Текст] / Е.И. Лимонов [и др.]. – Горький: Волго-Вят. кн. изд-во, 1966. – 172 с.

10. *Родин, А.Р.* Культуры ели на вырубках [Текст] / А.Р. Родин. – М.: Лесн. пром-сть, 1977. – 168 с.

11. *Усольцев, В.А.* Фитомасса лесов Северной Евразии: предельная продуктивность и география [Текст] / В.А. Усольцев. – Екатеринбург: УрО РАН, 2003. – 406 с.

12. *Шевелев, С.Л.* Лесотаксационный справочник для южно-таежных лесов Средней Сибири [Текст] / С.Л. Шевелев [и др.]. – М.: ВНИИЛМ, 2002. – 166 с.

Поступила 05.05.06

G.S. Varaksin, V.I. Polyakov, M.A. Lyuminarskaya

Institute of Forest named after V.N. Sukachev, Siberian Branch of RAS

Structure and Growth of Siberian Spruce Cultures in Middle Siberia

Structure and stand development are investigated according to inventory materials of four sample plots in continuous cultures of Siberian spruce at the age of 18, 32, 37 and 69. Recommendations on growing high-productive artificial stands of spruce in taiga forest-steppe zone of Middle Siberia are provided.

Keywords: sub-taiga, Siberian spruce, growth, productivity, improvement felling.

УДК 630*228.3:630*228.5:630*230.2

П.А. Оскорбин[1], А.А. Вайс[2]

[1]Институт леса им. В.Н. Сукачева СО РАН
[2]Сибирский государственный технологический университет

Оскорбин Павел Анатольевич родился в 1981 г., окончил в 2003 г. Сибирский государственный технологический университет, младший научный сотрудник, аспирант Института леса им. В.Н. Сукачева СО РАН. Имеет 10 печатных работ в области изучения смешанных темнохвойных древостоев.
E-mail: oskorbin-p@mail.ru

Вайс Андрей Андреевич родился в 1965 г., окончил в 1987 г. Сибирский технологический институт, кандидат сельскохозяйственных наук, доцент кафедры лесной таксации, лесоустройства и геодезии Сибирского государственного технологического университета. Имеет более 110 печатных работ в области таксации растущего дерева, изучения горизонтальной структуры насаждений.
Тел.: (3912) 27-19-28

ДИНАМИКА ПРОСТРАНСТВЕННОЙ СТРУКТУРЫ ТЕМНОХВОЙНЫХ ДРЕВОСТОЕВ ЗАПАДНОЙ СИБИРИ

Изучена динамика темнохвойных древостоев с преобладанием пихты за 15-летний период. Отмечен групповой тип размещения деревьев при снижении их числа и увеличении запаса стволовой древесины. Определены характер взаимного влияния пород и оптимальный вариант строения одновозрастных смешанных лесов.

Ключевые слова: темнохвойные древостои, пространственная структура, морфологическое и таксационное строение.

На территории Западной Сибири широко представлены смешанные темнохвойные древостои. По мнению ряда авторов, они являются идеальным объектом для ведения выборочной формы хозяйства [1, 11]. Однако теоретические аспекты данного вопроса разработаны слабо. Исследование межвидовых отношений представляется актуальным, поскольку сведения о них позволяют разумно использовать все полезные свойства леса.

А.А. Макаренко подчеркивал, что рациональное лесопользование и улучшение качественного состава лесов должно базироваться на изучении закономерностей формирования и строения древостоев, которые определяют динамику их продуктивности [7]. Однако глубокое познание закономерностей развития лесных сообществ и биогеоценозов, их строения и динамики немыслимо без всестороннего исследования сложных и многообразных отношений между растениями [4].

Цель нашей работы заключается в изучении динамики межвидовых отношений и морфологического строения смешанных темнохвойных древостоев с преобладанием пихты. Объектом исследований служили древостои

юго-восточной окраины тайги Западной Сибири, находящиеся на территории Верхне-Казанского лесничества Большемуртинского лесхоза Красноярского края.

Ю.Г. Санников с соавторами [9] отмечали, что основы будущих лесов как по продуктивности, так и производительности закладываются на этапе формирования молодняков. В целях изучения морфологического и пространственного строения молодняков темнохвойных древостоев в 1991 г. были заложены две пробные площади (ПП) со сплошным перечетом деревьев. У 10 % стволов определяли высоту и возраст. В 2005 г. на этих ПП проводили повторную таксацию. Так как древостои района исследования имеют ярко выраженную мозаичную структуру и неоднородный состав, закладывали дополнительные ПП, представлявшие собой две расположенные крестообразно ленты шириной 10 м и длиной 250 м каждая. Для выявления особенностей мозаичности древостоев пробные площади разбивали на равные квадраты со стороной 10 м, что позволило с большей точностью проследить изменения в составе и пространственной структуре древостоев, произошедшие за 15-летний период.

Пространственная структура подразумевает строение древостоев в вертикальном и горизонтальном измерениях [8]. Горизонтальная структура проявляется в гетерогенности (мозаичности) древостоев, которая порождена неоднородностью условий внешней среды, биологией размножения и формами роста деревьев. Взаимодействие различных факторов, вызывающих мозаичность, носит случайный характер. Это делает крайне редкими случаи закономерного повторения «пятен» растительности с более или менее устойчивым видовым составом [8].

В.Я. Грибанов разделил используемые критерии для определения типа пространственной структуры древостоев на два класса: 1) критерии согласия [2] и 2) критерии соответствия [3]. Первые основаны на определении степени согласия эмпирического распределения теоретическому. Для этих целей, как правило, используют критерий хи-квадрат. На практике наиболее широкое распространение получили критерии соответствия.

Рассмотрев детально все существующие критерии для определения характера распределения растений по площади, В.Я. Грибанов пришел к выводу, что наличие большого числа методов исследования закономерностей пространственной структуры древостоев свидетельствует об отсутствии единого мнения по этому вопросу. В то же время многие авторы отмечали, что для диагностики типа размещения растений не имеют серьезных соперников «относительная дисперсия» и индекс М. Мориситы [15]. Для определения этого индекса пробные площади разбивали на равные квадраты, на которых производили сплошной перечет деревьев.

Вертикальная структура фитоценоза многообразна и в зависимости от его особенностей может быть непрерывной или дискретной. Так как исследованиями ряда авторов убедительно доказано, что темнохвойные леса имеют непрерывную вертикальную структуру [12], изучение данного вопро-

са было сконцентрировано на анализе закономерностей связей высот и диаметров.

Следствием различий в пространственном строении и составе древостоев является варьирование их таксационных показателей и производительности. Для изучения влияния этих различий проанализирована динамика таксационных показателей за 15-летний период, определен произошедший отпад деревьев и текущий прирост древесины. Средние таксационные показатели рассчитывали по стандартной методике [6, 14].

В связи с высокой мозаичностью пространственной структуры древостоев объединение изучаемых пробных площадей не представляется возможным. О равномерности распределения деревьев по территории косвенно можно судить по коэффициентам вариации отдельных показателей (табл. 1).

Для пихты на ПП 1 коэффициенты вариации числа стволов за 15-летний период значительно снижаются, а запаса – изменяются незначительно. На ПП 2 как по числу стволов, так и по запасу нет существенных колебаний. Это свидетельствует о том, что популяция пихты равномерно расположена в горизонтальном пространстве. На значительное снижение коэффициента вариации числа стволов на ПП 1 повлияла большая густота первоначального заселения территории самосевом, которая за 15-летний период также значительно снижается вследствие естественного изреживания и становится примерно равна густоте на ПП 2.

Таблица 1

Показатели пространственного распределения деревьев

№ ПП	Год	Порода	C_v, %		I_m	$I_{m_{табл}}$	χ^2	$\chi^2_{табл}$
			N	M				
1	1991	Пихта	24	13	2,50	2,83	85	40,2
		Все породы	12	23	2,80	2,83	81	40,2
	2005	Пихта	13	11	1,00	2,83	51	40,2
		Все породы	10	15	1,20	2,83	43	40,2
2	1991	Пихта	8	9	1,15	2,30	62	51,0
		Все породы	8	9	1,32	2,26	48	51,0
	2005	Пихта	8	8	1,36	2,26	61	51,0
		Все породы	8	11	1,00	2,26	48	51,0

Примечание. C_v – коэффициент вариации; N – число стволов; M – запас; I_m – индекс Мориситы.

Осина представлена более разнообразными по запасам и числу деревьев биогруппами по сравнению с пихтой, которые имеются практически на всех рассматриваемых пробах. Остальные породы размещаются группами.

Более достоверно общее распределение всех пород в древостое по территории можно описать с помощью математических критериев хи-квадрат [9] и индекса Мориситы [2, 15]. Сравнение фактических и табличных показателей (табл. 1) свидетельствует о том, что на ПП 1 в 1991 г. их применение не дает однозначного представления о характере пространственного распределения деревьев по площади. Это происходит потому, что

при большой густоте древостоев выделенные квадраты оказываются слишком крупными и не могут служить для целей описания пространственной структуры. Такое распределение деревьев по площади Т. Фрей [12] классифицировал как слитное. В 2005 г. в связи со значительным изреживанием древостоя горизонтальная структура принимает групповой характер.

На ПП 2 распределение деревьев по площади групповое и не изменилось за 15 лет, так как индекс Мориситы в значительной степени отличается от табличного значения. Анализ данных ПП, заложенных в 2005 г., также говорит о преимущественно групповом размещении деревьев.

Для установления связи высот и диаметров использовали уравнение М. Продана [5]. Сравнение зависимостей с данными, полученными в разновозрастных древостоях, показало, что на всех изучаемых пробных площадях отмечается тесная связь между этими величинами. Отличием исследуемых древостоев от разновозрастных является то, что при диаметре 8 см разница в высотах составляет примерно 1,5 м. При диаметре более 8 см наблюдаются отклонения в характере линий связи высот и диаметров, что связано, скорее всего, с различиями в таксационном строении древостоев.

В смешанных древостоях процессы конкуренции между слагающими его породами сильно влияют на прирост запаса и распределение деревьев по площади. Так как основную долю в составе древостоев занимают пихта и осина, было рассмотрено их взаимовлияние друг на друга. Соотношение числа стволов на отдельных пробных площадках характерно для всего периода наблюдения. Даже при значительном участии в составе древостоя на пробе осина не влияет на рост и развитие пихты, при увеличении

Характерное соотношение числа стволов на отдельных пробных площадках: *1* – осина; *2* – темнохвойные; *3* – тренд, средняя тенденция изменения числа стволов на учетных площадках

Таблица 2

Общие средние таксационные показатели древостоя в переводе на 1 га

№ ПП	Год	Состав древостоя	*N*	*D*	*G*	*H*	*M*	*P*
1	1991	6П3Ос1Б, ед. Е	4650	10,2	30,63	13,4	212	1,2
	2005	5П4Ос1Е	3167	14,0	35,87	16,4	315	1,3
2	1991	10П+Ос	2911	10,2	23,40	11,9	163	1,1
	2005	9П1Ос	2411	13,5	34,29	17,8	318	1,2

Примечание. *D* – средний диаметр, см; *H* – средняя высота, м; *G* – сумма площадей поперечного сечения, м^2/га; *P* – полнота древостоя.

численности которой доля осины сводится к нулю (см. рисунок). Следовательно, распространение осины имеет групповой характер, а у пихты – более равномерный.

Средние таксационные показатели изучаемых древостоев приведены в табл. 2. Преобладающей породой является пихта, однако ее доля в составе колеблется от полного преобладания до равноправного участия с осиной. Для более детального рассмотрения изменений, произошедших за 15-летний период, в табл. 3 представлена динамика структуры таксационных показателей по элементам леса.

Таблица 3

Средние таксационные показатели древостоя по элементам леса в переводе на 1 га

Год	Порода	*N*	*D*	*H*	*M*	*P*
		Пробная площадь 1				
1991	П	220	8,2	10,3	133	1,1
	Ос	26	13,7	13,9	53	0,3
	Е	22	6,9	8,5	10	0,1
	Б	11	16,1	13,8	16	0,1
Итого на 1 га		4650	–	–	212	–
2005	П	146	10,1	14,9	170	0,8
	Ос	20	20,6	19,4	117	0,5
	Е	14	9,9	11,5	15	0,1
	Б	10	16,6	13,8	13	0,1
Итого на 1 га		3167	–	–	315	–
		Пробная площадь 2				
1991	П	243	10,3	11,9	156	1,00
	Ос	19	7,2	12,9	6	0,04
	Е	2	9,9	11,6	1	0,01
	К	1	8,5	15,0	0,4	–
Итого на 1 га		2944	–	–	163	–
2005	П	202	13,3	18,0	286	1,10
	Ос	15	15,8	15,7	32	0,20
	Е	1	9,2	10,9	0,4	–
	К	1	14,8	19,7	2	–
Итого на 1 га		2433	–	–	320	–

На ПП 1 за период исследования доля пихты в составе древостоя снизилась, произошло существенное изреживание (см. табл. 2). Изменение доли осины в составе связано со значительным увеличением запаса оставшихся деревьев, однако общее их число уменьшилось. Совместный отпад за 15 лет составил 30 м^3/га.

На ПП 2 доля пихты в составе также снизилась, осины – возросла. Значительного изреживания не произошло, тогда как запас увеличился вдвое. Это свидетельствует скорее всего о том, что данная численность дре-

востоя оптимальна при среднем возрасте 55 лет. Отпад за этот период составил 17 м^3/га.

Еще одной отличительной чертой исследуемых древостоев является значительное увеличение запаса при уменьшении числа стволов. Результирующим показателем, по которому можно судить об эффективности функционирования древостоя, является текущий прирост стволовой древесины (табл. 4). Представленные данные говорят о том, что древостой на ПП 2 продуцирует древесины в 1,5 раза больше, чем на ПП 1. При одинаковых лесорастительных условиях это можно объяснить различиями в густоте первоначального заселения и связанным с ней последующим характером изреживания древостоя.

Таблица 4

Текущий прирост древостоев

№ ПП	Запас древостоя, м^3/ га		Отпад за период, м^3/ га	P_v,%	$Z_т$, м^3/ год
	1991	2005			
1	212	315	30	2,8	9,5
2	163	320	17	4,6	12,4

Примечание. P_v – текущий прирост запаса древостоя, %; $Z_т$ – абсолютный текущий прирост запаса древостоя, м^3/ год.

Выводы.

1. За 15 лет пространственная структура исследуемых древостоев существенно изменилась. Наиболее характерным становится групповой характер размещения деревьев по территории. В вертикальной плоскости древостой имеет вид монолитной, не разделяемой визуально совокупности.

2. Взаимовлияние пород не выражено. Это является следствием небольшого числа стволов осины, которая не способна создать какую-либо конкуренцию пихте.

3. Анализ динамики таксационных показателей позволяет с уверенностью сказать, что сочетание пихты и осины для данных лесорастительных условий является оптимальным. Об этом говорит увеличение запаса стволовой древесины в два раза за 15 лет. Однако наиболее удачным следует считать вариант, представленный на ПП 2, где текущий прирост по запасу наибольший.

4. Лесовыращивание, направленное на формирование пихтовых древостоев при сохранении группового размещения деревьев и монолитной вертикальной структуры, в которых интенсивность рубок ухода не превышает естественного отпада, позволит получить высокопродуктивные насаждения целевого назначения.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Анучин, Н.П.* Теоретические основы построения хозяйства в лесах СССР [Текст] / Н.П. Анучин // Тр. ВНИИЛМ. – 1971. – Вып. 53. – С. 21–49.

2. *Грейг-Смит, П.* Количественная экология растений [Текст] / П. Грейг-Смит. – М.: Мир, 1967. – 360 с.

3. *Грибанов, В.Я.* Пространственная структура древостоев [Текст] / В.Я. Грибанов // Структура и рост древостоев Сибири. – Красноярск: ИЛ СО РАН, 1993. – С. 55–67.

4. *Карпов, В.Г.* Экспериментальная фитоценология темнохвойной тайги [Текст] / В.Г. Карпов. – Л.: Наука, 1969. – 235 с.

5. *Кузьмичев, В.В.* Исследования лесных экосистем [Текст]: учеб. пособие / В.В. Кузьмичев. – Красноярск: КГТА, 1994. – 64 с.

6. Лесотаксационный справочник для южно-таежных лесов Средней Сибири [Текст] / МПР РФ, Гос. лесн. служба. – М., 2002. – 166 с.

7. *Макаренко, А.А.* Строение древостоев [Текст] / А.А. Макаренко. – Алма-Ата: КНИИЛХиА, 1982. – 70 с.

8. *Миркин, Б.М.* Толковый словарь современной фитоценологии [Текст] / Б.М. Миркин, Г.С. Розенберг. – М.: Моск. об-во испытателей природы, АН СССР, 1983. – 136 с.

9. Морфоструктура сосновых молодняков на осмолоделянке [Текст] / Ю.Г. Санников, А.С. Баранцев, Н.В. Береснева, Н.В. Рубцова // Лесн. журн. – 1989. – № 3. – С. 26–30. – (Изв. высш. учеб. заведений).

10. Практикум по общей и сельскохозяйственной статистике [Текст] / И.Д. Политова, С.С. Сергеев, А.П. Зинченко, А.М. Гатаулин. – М.: Колос, 1967. – 512 с.

11. *Столяров, Д.П.* Динамика текущих приростов в разновозрастных ельниках [Текст] / Д.П. Столяров, В.Г. Кузнецова // Лесн. хоз-во. – 1974. – № 2. – С. 56–59.

12. *Фалалеев, Э.Н.* Пихтовые леса Сибири и их комплексное использование [Текст] / Э.Н. Фалалеев. – М.: Лесн. пром-сть, 1964. – 166 с.

13. *Фрей, Т.Э.-А.* Некоторые математико-фитоценотические аспекты характера размещения в фитоценозе [Текст] / Т.Э.-А. Фрей //Тр. по ботанике. – Тарту: ТГУ. 1968. – Вып. 211. – С. 72–84.

14. *Шевелев, С.Л.* Таксация леса [Текст] / С.Л. Шевелев, В.В. Кузьмичев. – Красноярск: СибГТУ, 2003. – 248 с.

15. *Morisita, M.* Measuring of the dispersion of individuals and analysis of the distributional patterns [Text] / M. Morisita // Mem. Fac. Sci. – Kyushu university. Ser. Biological. – 1959. – Vol. 2, N 4. – P. 216–235.

Поступила 18.02.08

P.A. Oskorbin[1], *A.A. Vais*[2]
[1]Institute of Forest named after V.N. Sukhachev, Siberian Branch of RAS
[2]Siberian State University of Technology

Spatial Pattern Dynamics of Dark Coniferous Forest Stands in Western Siberia

The dynamics of dark coniferous forests is studied over a fifteen-year period. The group type of tree spacing when tree quantity is reduced and stem wood volume grows is marked. The species interference character and the optimum alternative of even-aged mixed forests structure are determined.

Keywords: dark coniferous forest stands, spatial pattern, morphological and inventory structure.

УДК 630*24

А.И. Бузыкин, Л.С. Пшеничникова

Институт леса им. В.Н. Сукачева СО РАН

Бузыкин Алексей Иванович родился в 1935 г., окончил в 1958 г. Московский лесотехнический институт, кандидат сельскохозяйственных наук, ведущий научный сотрудник лаборатории лесоводства Института леса им. В.Н. Сукачева СО РАН, заслуженный лесовод России. Имеет 200 печатных работ по вопросам возобновления, формирования, структуры и продуктивности лесов, рубок ухода за лесом и рубок главного пользования.

E-mail: institute@forest.akadem.ru

Пшеничникова Лариса Семеновна родилась в 1946 г., окончила в 1968 г. Сибирский технологический институт, кандидат сельскохозяйственных наук, старший научный сотрудник Института леса им. В.Н. Сукачева СО РАН. Имеет 140 печатных работ в области исследования формирования лесов, густоты древесных ценозов, рубок ухода за лесом и повышения продуктивности внесением минеральных удобрений.
E-mail: taiga@ksc.krasn.ru

РЕАКЦИЯ СРЕДНЕВОЗРАСТНЫХ СОСНЯКОВ НА РУБКИ УХОДА

Дана оценка последействия трехкратных рубок ухода, проведенных в чистых сосняках южнотаежной зоны Красноярского края. Прослежена реакция отдельных деревьев и древостоя на прореживание и проходные рубки. Рассмотрены динамика радиального прироста, изменение запаса, общая производительность.

Ключевые слова: рубки ухода, радиальный прирост, общая производительность, сортиментная структура.

Рубки ухода за лесом (осветления, прочистки, прореживание, проходные) прямо и косвенно влияют на все компоненты лесного биогеоценоза и в значительной степени отражаются на росте и развитии оставшихся деревьев, являющихся объектом ухода. Для обоснования нормативов рубок ухода за лесом, как известно, необходимы длительные эксперименты.

В нашей работе представлены результаты 24-летнего производственного опыта рубок ухода, выполненных в южнотаежной зоне Красноярского края (Большемуртинский лесхоз). В задачу исследований входила оценка реакции отдельных деревьев и всего древостоя на разреживание.

Объект ухода представлен чистыми сосняками разнотравной группы типов леса (Юксеевский бор). Почвы дерново-лесные дренированные супесчаные. В настоящее время возраст насаждения 81 год, класс бонитета II.

Рубки ухода выполняли в три приема. Первый уход проведен в 1971 г. в возрасте прореживаний, средний возраст древостоя 48 лет, интенсивность разреживания 18…20 % по запасу. Второй и третий уходы пред-

ставлены проходными рубками и проведены в возрасте соответственно 60 и 75 лет, интенсивность разреживания 9…15 и 15…23 % по запасу.

При прореживании использовали бензопилу, при проходных рубках традиционно бензопилу и трелевочный трактор. Технология рубок ухода – метод узких лент.

Для оценки этих рубок на производственных участках закладывали две пробные площади (№ 1 и 2). Контролем (пробная площадь № 3) служили окраинные участки бора, которые по конфигурации площадей не попадали в строгую схему механизированного ухода (табл. 1).

Использовали общепринятые методики Н.П. Георгиевского [1] и А.В. Побединского [5]. Высоты деревьев измеряли высотомером. Учетные деревья выбирали по принципу пропорционально-ступенчатого представительства по 25…40 на каждой пробной площади. Затем в камеральных условиях строили графики высот. Запас и сортиментную структуру определяли по таксационным таблицам для лесов Сибири [8].

Для установления интенсивности радиального прироста в пределах каждой пробной площади высверливали приростным буравом по 50 кернов из стволов растущих деревьев на высоте 1,3 м. Ширину годичного кольца находили с помощью измерительной лупы с точностью до 0,1 мм.

Радиальный прирост – один из наиболее чутких параметров, реагирующих на все изменения окружающей среды. Его интенсивность определяется климатическими условиями, возрастом, особенностями взаимодействия между деревьями и другими факторами. Рубки ухода являются одним из самых радикальных мероприятий, влияющих на ширину годичного кольца.

Таблица 1

Таксационная характеристика пробных площадей

№ пробной площади	Число деревьев на 1 га	Средние		Площадь поперечного сечения, $м^2$/га	Запас, $м^3$/га	Полнота
		диаметр, см	высота, м			
1	337	34,0	25,3	30,6	314,5	0,7
2	358	32,4	25,0	29,5	302,4	0,7
3	726	25,0	22,3	35,7	345,1	1,0

Мы провели сравнительный анализ динамики радиального прироста деревьев в насаждениях, пройденных и не пройденных рубками ухода. Выяснилось положительное влияние рубок ухода на прирост, однако в течение 24-летнего периода наблюдений оно проявлялось по-разному. После первого приема рубки в возрасте прореживаний (48 лет) различие в радиальном приросте сосны на контрольной и разреженных секциях незначительно. После повторного разреживания в возрасте проходных рубок (60 лет) оно проявлялось отчетливо и сохранялось до третьего приема рубки, который оказал наибольшее воздействие на интенсивность радиального прироста. Разница в толщине годичного кольца на участках с уходом и без него за последние 3 года (2002–2004 гг.) составила в среднем 200 %

(рис. 1). На фоне закономерного падения прироста с возрастом деревьев в контроле после третьего приема рубок на разреженных секциях отмечалось особенно сильное увеличение прироста («всплеск»).

Наиболее наглядно последействие рубок проявилось в относительных показателях (отношение прироста за годы после рубки к среднему приросту за три года до рубки на фоне таких же показателей в контроле). При ценотической неоднородности, свойственной естественным насаждениям, этот способ более объективен, поскольку прирост сравнивают не только с контролем, но и учитывают характер его изменений до опыта.

При таком подходе отчетливо прослеживались три «волны» последействия рубок: 1971–1980, 1981–1997, 1998–2004 гг. В каждом периоде сразу после рубки прирост увеличивался, достигал с годами максимального значения, после чего снижался, приближаясь к контролю. При этом чем старше становился древостой, тем сильнее проявлялось различие, хотя интенсивность приемов выборки была почти одинакова.

Среднепериодический годичный прирост за 24-летний период наблюдений также подтверждает отмеченные закономерности (табл. 2). После первого приема рубки прирост в 1971–1975 и 1976–1980 гг. практически не отличался от контроля. При следующих приемах различие проявлялось отчетливо. Так, если за период 1981–1985 гг. прирост на разреженных участках выше, чем в контроле, в 1,1–1,2 раза, то в 1986–1990, 1991–1995, 1996–2000 и 2001–2004 гг. соответственно в 1,2–1,4; 1,3–1,5; 1,5 и 1,8–2,2 раза.

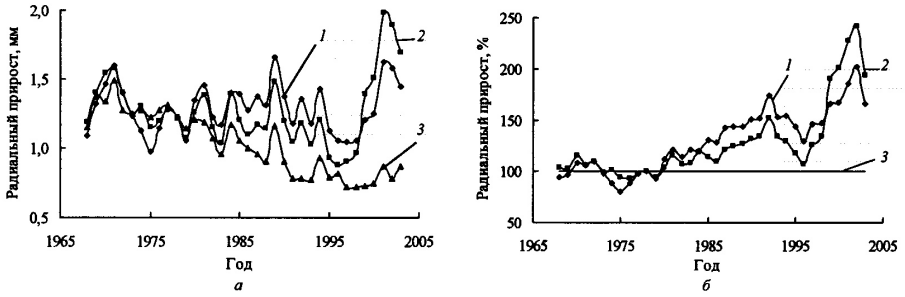


Рис. 1. Динамика годичного радиального прироста сосны в насаждениях: *а* – абсолютные значения; *б* – относительные; *1*, *2* – пробные площади № 1 и 2; *3* – контроль

2

Среднепериодический радиальный прирост сосняков, мм

№ пробной площади	1971–1975 гг.	1976–1980 гг.	1981–1985 гг.	1986–1990 гг.	1991–1995 гг.	1996–2000 гг.	2001–2004 гг.
1	1,27	1,21	1,33	1,40	1,26	1,13	1,55
2	1,33	1,21	1,24	1,22	1,08	1,13	1,85
3	1,27	1,23	1,09	0,99	0,81	0,75	0,84

Иными словами, под влиянием рубок ухода, несмотря на увеличение возраста древостоев, сохранялась высокая интенсивность прироста, в контроле же он снижался. С возрастом различие становилось все более выраженным.

Полученные результаты подтверждают возможность существенного влияния рубок ухода на радиальный прирост деревьев. Реакция на рубку проявляется в определенный временной интервал, в пределах которого возрастает прирост и происходит последующее его нивелирование с контролем. Продолжительность реакции зависит от интенсивности рубок, что может служить основой для корректировки лесохозяйственных мероприятий – рубок ухода.

На рис. 2 представлены итоговые показатели изменения запаса до и после рубки. До рубки в опытных вариантах запас был одинаковым (220 м^3/га), спустя 24 года он составил 315 и 302 м^3/га, в контроле 345 м^3/га.

В процессе рубок в результате 3-кратного вмешательства на пробной площади № 1 всего вырублено 150, № 2 – 140 м^3/га. С учетом дополнительной древесины, полученной при рубках, общий запас составил соответственно 465 и 442 м^3/га, в контроле – 345 м^3/га (без учета отпада, который не определяли), или соответственно 35 и 28 %.

Иными словами, рубками умеренной интенсивности можно повысить общую производительность сосняков благодаря более полному использованию освобождающейся при разреживании экологической ниши.

Под влиянием рубок ухода изменялась и сортиментная структура древесины, в основном за счет увеличения доли крупной деловой более чем в 2 раза (табл. 3). Выход средней и мелкой деловой древесины, напротив, оказался в 2,5 и 5 раз больше в контроле. Запасы дровяной древесины различались незначительно.

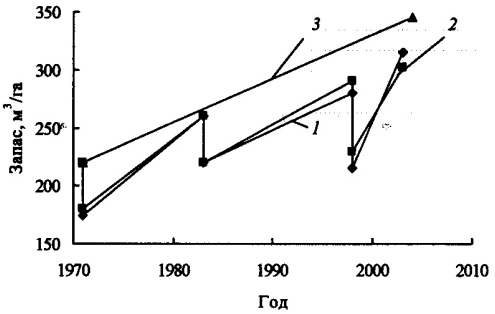


Рис. 2. Динамика запасов сосняков. Обозначения см. на рис. 1

Таблица 3

Сортиментная структура сосновых древостоев, м^3

№ пробной площади	Деловая			Дровяная	Всего
	крупная	средняя	мелкая		
1	200,3	70,6	4,7	39,4	315
2	190,9	78,8	4,8	27,5	302
3	93,8	185,3	25,9	40,0	345

Из литературных источников известно, что разреживания не уменьшают итогового запаса древостоев, если выборка не превышает потенци-

ального суммарного отпада [2, 3, 6, 7]. Согласно «Наставлению по рубкам ухода в лесах Восточной Сибири» [4] полнота для рассматриваемых насаждений после рубки не должна быть менее 0,7. В нашем случае, очевидно, размер промежуточного пользования был выше отпада на контрольной площади, поэтому запасы разреженных древостоев в конце периода наблюдений (2004 г.) оказались несколько ниже, чем в контроле. Тем не менее превышение выборки, если оно не выходит за допустимые пределы, оказывается эффективным как с лесоводственной, так и с экономической точек зрения, поскольку позволяет уменьшить естественный отпад и увеличить товарную ценность древостоя за счет крупной деловой древесины.

Таким образом, прореживание и проходные рубки в чистых сосняках, имеющие целью отбор на доращивание деревьев с лучшей формой стволов и крон, а также увеличение их прироста, оказались весьма эффективными. Существенно повысился радиальный прирост, с учетом дополнительной древесины возрос на 30 % общий запас древостоев и примерно в 2 раза выход крупной деловой древесины.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Георгиевский, Н.П.* Методика опытных работ по рубкам ухода за лесом [Текст] / Н.П. Георгиевский // Тр. Ин-та лесохоз. проблем АН ЛатвССР. – 1953. – № 5.

2. *Георгиевский, Н.П.* Рубки ухода за лесом [Текст] / Н.П. Георгиевский. – М., 1957. –144 с.

3. *Давыдов, А.В.* Рубки ухода за лесом [Текст] / А.В. Давыдов. – М., 1971. – 184 с.

4. Наставление по рубкам ухода в лесах Восточной Сибири [Текст]. – М.: Рослесхоз, 1994. – 99 с.

5. *Побединский, А.В.* Изучение лесовосстановительных процессов [Текст] / А.В. Побединский. – Изд. 2-е. – М.: Наука, 1966. – 60 с.

6. *Сеннов, С.Н.* Рубки ухода за лесом [Текст] / С.Н. Сеннов. – М.: Лесн. пром-сть 1977. – 160 с.

7. *Сеннов, С.Н.* Результаты длительных опытов с рубками ухода за лесом [Текст] / С.Н. Сеннов // Лесн. хоз-во. – 2001. – № 2. – С. 28–29.

8. Справочное пособие по таксации и устройству лесов Сибири. – Красноярск: Краснояр. кн. изд-во, 1966. – 378.

Поступила 29.05.06

A.I. Buzykin, L.S. Pshenichnikova
Institute of Forest named after V.N. Sukachev, Siberian Branch of RAS

Response of Middle-aged Pineries to Cleaning Cutting

The effect of triple improved cutting carried out in pure pineries is assessed for the southern zone of Krasnoyarsk Territory. The response of separate trees and forest stand to thinning and selective felling is traced. The dynamics of radial accretion, volume change, total productivity are considered.

Keywords: improved cutting, radial accretion, total productivity, assortment structure.

УДК 630*23

О.И. Гаврилова[1], В.К. Хлюстов[2], И.В. Морозова[3]

[1, 3]Петрозаводский государственный университет
[2]Российский государственный аграрный университет – МСХА им. К.А. Тимирязева

Гаврилова Ольга Ивановна родилась в 1957 г., окончила в 1979 г. Петрозаводский государственный университет, кандидат сельскохозяйственных наук, доцент кафедры лесного хозяйства ПетрГУ. Имеет 42 печатные работы по проблемам лесных культур и лесных питомников.
Тел.: (8142) 71-10-43

Хлюстов Виталий Константинович родился в 1954 г., окончил в 1976 г. Казахский государственный сельскохозяйственный институт, доктор сельскохозяйственных наук, профессор, заведующий кафедрой лесоводства Российского государственного аграрного университета – МСХА им. К.А.Тимирязева, академик РАЕН, МАНВШ. Имеет более 110 печатных работ в области лесного хозяйства и статистических методов моделирования.
E-mail: vitakhlustov@mail.ru

Морозова Инна Владимировна родилась в 1971 г., окончила в 1994 г. Петрозаводский государственный университет, преподаватель кафедры лесного хозяйства ПетрГУ. Имеет 3 печатные работы.
Тел.: (8142) 71-10-43

ЗАКОНОМЕРНОСТИ ФОРМИРОВАНИЯ ВЕЙНИКА ЛЕСНОГО НА СПЛОШНЫХ ВЫРУБКАХ В СОСНЯКАХ ЧЕРНИЧНЫХ ЮЖНОЙ КАРЕЛИИ

Изучены особенности развития вейника лесного по средней высоте, наземной и подземной массе растений на подготовленных минерализованных полосах в течение вегетационного периода и за 5 лет после обработки почвы. Рассмотрены первичные сукцессии вейника по распространенности вида и его проективному покрытию. В результате статистического моделирования основных показателей роста получен ряд уравнений регрессии.

Ключевые слова: лесовосстановление, лесные культуры, вырубки, напочвенный покров, вейник лесной.

Большая часть всех лесных культур (60…70 %) в Карелии создается черничных и близких к ним условиях произрастания. Согласно классифи-
3 ции типов вырубок в южной части республики после рубки черничников могут формироваться вейниковые, луговиковые, вейниково-луговиковые и вейниково-широкотравные типы вырубок. Рассматривая закономерности формирования напочвенного покрова, многие исследователи отмечали, что к пионерным видам растительности в первую очередь относятся вейник лесной (*Calamagrostis arundinacea* Roth.), луговик извилистый (*Deschampsia flexuosa* (L.) Trin.) и иван-чай (*Chamaenerion angustifolium* (L.) Scop.) [1, 2, 4]. Именно эти виды, быстро захватывая пространство, становятся основ-

ными конкурентами культур хвойных пород за свет и влагу на ранних стадиях роста. Создавая мощную дернину в относительно богатых типах условий местопроизрастания среднетаежной подзоны, злаки не дают возможности семенам прорастать при естественном возобновлении хвойных пород, и в конечном итоге на этих вырубках формируются низкобонитетные смешанные елово-березовые древостои.

При формировании искусственно создаваемых лесов существенную роль играют конкурентные отношения между живым напочвенным покровом на вырубках и естественным возобновлением лиственных пород, часто вегетативного происхождения. В связи с этим необходимо исследовать динамику развития напочвенного покрова на подготовленных под лесные культуры почвах.

Цель нашей работы – изучить развитие вейника лесного на минерализованных полосах в течение всего вегетационного периода, а также по годам после подготовки почвы, его среднюю высоту, наземную и подземную массу растений; рассмотреть первичные сукцессии вейника по распространенности вида и его проективному покрытию.

Объектом исследования служила вырубка 1995 г., образовавшаяся после рубки соснового древостоя III класса бонитета в черничном типе леса на территории Матросского учебно-опытного лесничества Пряжинского лесхоза. Тип вырубки вейниково-луговиковый, рельеф ровный, степень задернения средняя. По данным А.М. Крышень [3], на вырубаемых площадях Карелии встречается 231 вид сосудистых растений из 143 родов и 56 семейств. Из них только 28 видов можно считать постоянными представителями ценотической флоры вырубок. Состав напочвенного покрова на изучаемой площади по обилию следующий: вейник лесной, или тростниковидный (*Calamagrostis arundinacea* Roth.), луговик извилистый (*Deschampsia flexuosa* (L.) Trin), иван-чай (*Chamaenerion angustifolium* (L.) Scop.), ожика волосистая (*Luzula pilosa* (L.) Willd.), дудник лесной (*Angelica silvestris* L.), золотая розга (*Solidago virgaurea* L.), омалотека лесная (*Gnaphalium silvaticum*), брусника (*Vaccinium vitis-idaea* L.), черника (*V. myrtillus* L.), вереск обыкновенный (*Calluna vulgaris* (L.) Hill.), в понижениях сфагновые мхи (*Spagnum*), на уплотненной почве кукушкин лен (*Polytrichum commune* L.). Почва – подзол иллювиально-железистый супесчаный, завалуненный.

В течение 5 лет после подготовки почвы и посадки растений в последних числах каждого месяца вегетационного периода (с мая по сентябрь) на минерализованных полосах закладывали по 100 пробных площадок размером 1 м^2, всего их было 2500. Процент проективного покрытия вырубки растениями определяли глазомерно, подсчитывали число генеративных побегов. На пробных площадках скашивали все растения, разбирали по видам, измеряли и взвешивали после сушки до абс. сухого состояния. Модельные растения выкапывали, отмывали корневые системы, определяли соотношение массы наземной и подземной частей после высушивания.

Вейник лесной встречался на 95 % пробных площадок вырубки. Это многолетнее растение с широкой фитоценотической амплитудой для сред-

нетаежной подзоны произрастает как на открытых участках, так и под пологом леса, где, как правило, находится в угнетенном состоянии и размножается семенами только в «окнах». После рубки древостоев начинает обильно куститься, массово цветет и плодоносит. Корни в основном находятся в лесной подстилке, поэтому могут за короткое время проникать на обработанную площадь. Быстро растет и размножается, а затем постепенно освобождает пространство под натиском древесных пород. Анализ взаимоотношений вейника лесного с другими доминантами лесного покрова показал его устойчивый рост и развитие в течение 5 лет после минерализации почвы. Он господствует до появления пород или видов растительности, обеспечивающих значительное затенение площади. По данным многих авторов [2–5] и нашим наблюдениям, начиная с 5-го года, после существенного разрастания иван-чая и древесных растений вейник постепенно вытесняется.

Основными задачами исследования было выявить закономерности изменения средней высоты, процент проективного покрытия вейника и нарастание наземной и подземной биомассы в течение вегетации по годам после минерализации почвы.

Опытный материал всесторонне проанализирован и систематизирован. При исследованиях по моделированию процессов роста соблюдали системность в компоновке опытного материала, опираясь на многомерные методы анализа. В результате статистического моделирования средней высоты травостоя получено уравнение регрессии вида

$$H_{ср} = \exp(-1{,}86449+1{,}079509\ln Д-0{,}0774\ln^2 Д+2{,}815882\ln Г-0{,}87138\ln^2 Г); \quad (1)$$

$$R^2 = 0{,}995;\ t = |3{,}9;\ 4{,}4;\ 2{,}5;\ 34{,}5;\ 19{,}4|,$$

где $H_{ср}$ – средняя высота вейниковой части травостоя;

Д – число дней от начала вегетации (при среднесуточной температуре более +5° С);

Г – год после проведения подготовки почвы.

Модель справедлива при значениях *Г* от 1 до 5 лет и *Д* от 10 до 140 дн. (продолжительность вегетационного периода в южной части Карелии в среднем 135…145 дн.).

Графическая интерпретация модели представлена на рис. 1. Максимальное увеличение высоты травостоя наблюдается на второй и третий годы после обработки почвы, в течение четвертого и пятого годов показатели близки. Небольшие темпы 3* чения средней высоты, димому, объясняются конкуренцией с другими видами растительности, вероятнее всего с иван-чаем. Начиная с пятого года, высота практически не изменяется.

Высота вегетативных побегов вейника – показатель более или менее постоянный.

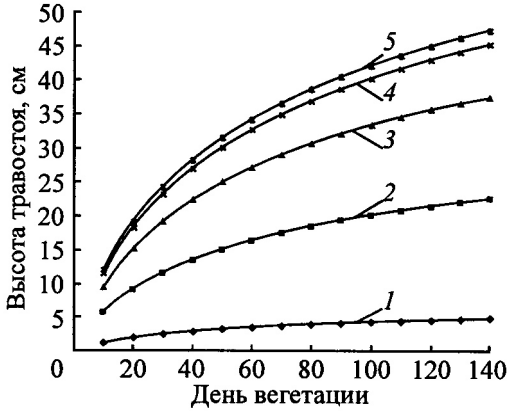


Рис. 1. Изменение средней высоты вейника лесного в течение периода вегетации: *1*, *2*, *3*, *4*, *5* – данные соответственно на первый, второй, третий, четвертый и пятый годы

К концу сезона вегетации она должна быть примерно одинаковой в любой год жизни растения. Небольшая высота травостоя в первые годы после рубки объясняется тем, что не на всех пробных площадях имелся вейник, а ее увеличение в последующие годы связано не столько с ростом растений, сколько с повышением обилия вейника (от 5 % в первый год после создания минерализованных полос до 95 % на пятый год).

Другим важным показателем, характеризующим развитие напочвенного покрова, является его проективное покрытие. Выявлено, что процент проективного покрытия (*П*) зависит от числа лет после минерализации почвы и дней после начала вегетации. Статистическая модель имеет вид

$$П = \exp(-0{,}99767 - 0{,}02892\ln^2 Д + 4{,}49722\ln Г - 1{,}31027\ln^2 Г); \qquad (2)$$

$$R^2 = 0{,}995;\ t = |8{,}6;\ 6{,}4;\ 30{,}2;\ 14{,}9|.$$

Средний процент проективного покрытия через год после минерализации полос был незначительным, однако уже на второй год увеличился до 5…9 %, а к концу пятого года превышал 40 %. Как и для средней высоты, максимальное увеличение темпов роста вейника наблюдается на второй и третий годы после подготовки почвы.

При анализе наземной массы вейника лесного ($M_н$) по годам после подготовки почвы и дням вегетации получено уравнение регрессии

$$M_н = \exp(-5{,}00793 + 0{,}05767\ln^2 Д + 9{,}65997\ln Г - 3{,}00852\ln^2 Г); \qquad (3)$$

$$R^2 = 0{,}991;\ t = |16{,}2;\ 4{,}8;\ 24{,}8;\ 13{,}3|.$$

Уже в течение второго года после рубки наземная масса растения увеличивается существенно (в 5–6 раз), а в последующие годы примерно в 3 раза.

С увеличением возраста до 5 лет активность накопления биомассы в течение сезона возрастает постоянно, что связано с развитием подземной части растения и аккумулированием питательных веществ в корневищах. При таких темпах роста вейник уже через несколько лет покрывал бы всю территорию вырубки, однако затенение иван-чаем и естественное возобновление лиственных пород в основном порослевого происхождения способно уменьшить его доминирование. Развитие подземной и наземной массы растения взаимосвязано. К пятому году после начала развития растения масса корневищ превышает массу наземной части. Значимыми показателями для построения пространственно-временной модели являются день от начала вегетации и год после подготовки почвы. При этом масса корней весной бы-

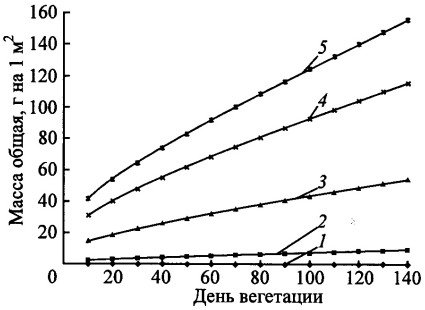


Рис. 2. Развитие общей массы вейника лесного в течение периода вегетации. Обозначения см. на рис. 1

ла несколько меньше осенней, что, по-видимому, связано с отмиранием их части в зимнее время. Таким образом, для массы подземной части вейника после анализа данных получено уравнение

$$M_{п} = \exp(-5{,}34258 + 0{,}07738\ln^2 Д + 8{,}42286\ln Г - 2{,}16028\ln^2 Г); \quad (4)$$

$$R^2 = 0{,}973;\ t = |9{,}9;\ 3{,}7;\ 12{,}4;\ 5{,}5|.$$

Для общей биомассы растения модель имеет вид

$$M_{общ} = \exp(-4{,}45406 + 0{,}0687\ln^2 Д + 8{,}96553\ln Г - 2{,}54942\ln^2 Г); \quad (5)$$

$$R^2 = 0{,}984;\ t = |10{,}9;\ 4{,}3;\ 17{,}6;\ 8{,}6|.$$

Графическое изображение модели (5) представлено на рис. 2. Развитие общей биомассы растения, выраженное в граммах абс. сухого вещества на 1 м^2 минерализованной полосы, соответствует основным закономерностям развития наземной и подземной частей растения.

Кроме модели роста биомассы в связи с годом развития и днем вегетационного периода исследованы значимые показатели для накопления биомассы и выяснено, что она зависит в большей степени от средней высоты растения и дня от начала вегетации, чем от давности обработки почвы и процента проективного покрытия. На основании уравнений (3) – (5) и моделирования биомассы вейника лесного получены уравнения связи биомассы со средней высотой растения и днем вегетации. Так, для роста наземной части уравнение имеет вид

$$M_{н} = \exp(-3{,}80387 - 1{,}01832\ln Д + 3{,}35656\ln H_{ср}); \quad (6)$$

$$R^2 = 0{,}990;\ t = |8{,}7;\ 10{,}1;\ 41{,}9|.$$

Графически модель представляет собой веер кривых, по которым, зная высоту травостоя и день от начала вегетации, достаточно легко определить массу наземной части вейника лесного на подготовленной минерализованной почве. Исследование наиболее значимых показателей, проведенное для массы подземной части вейника, показало наличие таких же зависимостей от высоты травостоя и дня вегетации, а также года после проведения обработки почвы:

$$M_{п} = \exp(-3{,}52404 - 4{,}70068\ln Д + 0{,}52373\ln^2 Д + 0{,}60147\ln^2 Г + 2{,}66064\ln H_{ср}); \quad (7)$$

$$R^2 = 0{,}997;\ t = |2{,}6;\ 6{,}6;\ 5{,}8;\ 9{,}5;\ 37{,}2|.$$

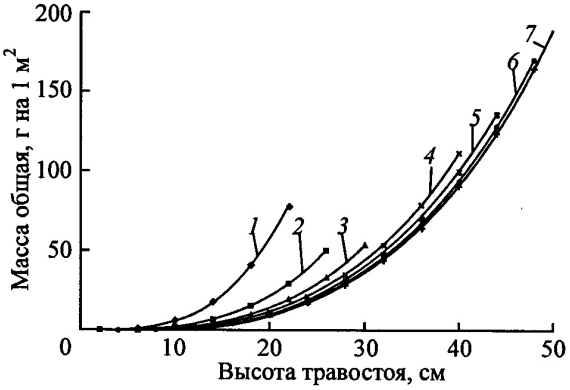


Рис. 3. Изменение средней общей массы растений вейника леного в течение вегетационного периода: *1*, *2*, *3*, *4*, *5*, *6*, *7* – соответственно 20, 40, 60, 80, 100, 120 и 140 дн.

При исследовании накопления общей биомассы вейником лесным

наиболее значимыми оказались высота травостоя и день от начала вегетации:

$$M_{общ} = \exp(3{,}02539 - 4{,}12786\ln Д - 0{,}40295\ln^2 Д + 3{,}26412\ln H_{ср}); \quad (8)$$

$$R^2 = 0{,}992;\ t = |1{,}2;\ 3{,}0;\ 2{,}4;\ 40{,}2|.$$

Графическое изображение модели (8) представлено кривыми, исходящими из начала координат (рис. 3).

Таким образом, выяснено и математически обосновано, что средняя высота растения зависит от дня вегетации и в большей степени от года после проведения минерализации почвы. Максимальный прирост по средней высоте растения наблюдается на второй и третий годы после создания минерализованных полос, на четвертый и особенно пятый год прирост уменьшается, видимо, в связи с конкуренцией с лиственными породами и более высоким иван-чаем.

Процент проективного покрытия и сумма наземной и подземной биомассы также в большей степени зависят от года после проведения минерализации почвы. Безусловно, это связано с накоплением питательных веществ в корневищах растения, что способствует максимальному развитию растения на третий-четвертый год после начала роста. Уменьшение темпов роста на пятый год свидетельствует о постепенной последующей замене растений на вырубке более конкурентоспособными видами.

Изменение средней биомассы на единице площади зависит в основном от высоты травостоя и дня вегетации, а накопление подземной массы еще и от года после проведения обработки почвы.

Кратность проведения уходов за сеянцами хвойных пород при создании культур после вырубки сосняков черничных в условиях южной Карелии в конечном итоге определяют высота травостоя, биомасса растений, их количество и процент проективного покрытия.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Бельков, В.П.* Влияние травяного покрова на рост и продуктивность лесных насаждений [Текст]: обзор /В.П. Бельков, А.К. Семенова. – М.: ЦБНТИлесхоз, 1973. – 23 с.

2. *Воронова, В.С.* О типах вырубок Карелии [Текст] / В.С. Воронова // Вопросы лесоведения и лесной энтомологии в Карелии. – М.; Л., 1962. – С. 5–21.

3. *Крышень, А.М.* Динамика растительности на свежих вырубках в ельниках черничных [Текст] / А.М. Крышень// Лесоведение. – 1998. – № 6. – С. 55–62.

4. *Ронконен, Н.И.* Вырубки и естественное возобновление на них [Текст] / Н.И. Ронконен // Лесовосстановление в Карельской АССР и Мурманской области. – Петрозаводск, 1965. – С. 36–65.

5. *Шубин, В.И.* Лесные культуры [Текст] / В.И. Шубин // Лесовосстановление в Карельской АССР и Мурманской области. – Петрозаводск, 1975. – С. 66–121.

Поступила 21.08.06

O.I. Gavrilova[1], V.K. Khlyustov[2], I.V. Morozova[3]

[1, 3]Petrozavodsk State University
[2]Russian State Agrarian University – Moscow Timiryazev Agricultural Academy

Regularities of Forest Bluejoint Formation on Clear-cut Areas in Bilberry Pine Stands of Southern Karelia

Peculiarities of forest bluejoint development are studied according to mean height, surface and underground plant mass on prepared mineralized strips during the vegetation period and over 5 years after soil treatment. Primary successions of blue joint are analyzed according to species amount and its projective cover. A number of regression equations was obtained resulting from statistic simulation of the main growth factors.

Keywords: reforestation, forest cultures, clear-cut areas, ground cover, forest bluejoint.

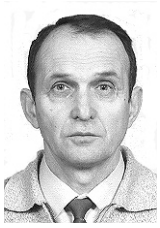
УДК 504.5 (470.11)

О.С. Залывская, С.В. Хрущева, Н.А. Бабич

Архангельский государственный технический университет

Залывская Ольга Сергеевна родилась в 1979 г., окончила в 2002 г. Поморский государственный университет им. М.В. Ломоносова, кандидат сельскохозяйственных наук, старший преподаватель кафедры лесных культур и ландшафтного строительства Архангельского государственного технического университета. Имеет 14 печатных работ в области озеленения северных городов.
E-mail: o–s@yandex.ru

Хрущева Светлана Владимировна родилась в 1979 г., окончила в 2001 г. Архангельский государственный технический университет, аспирант кафедры лесных культур и ландшафтного строительства АГТУ. Имеет 6 печатных работ в области озеленения северных городов.
E-mail: ChirkovaSV@yandex.ru



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

СВИНЕЦ В СИСТЕМЕ ПОЧВА – ДРЕВЕСНОЕ РАСТЕНИЕ В УРБАНИЗИРОВАННОЙ СРЕДЕ

Приведены данные о накоплении и миграции тяжелых металлов в окружающей среде. Показано, что основным источником поступления свинца является автотранспорт. В городских условиях свинец лучше всего задерживает береза пушистая.

Ключевые слова: городская среда, древесные растения, тяжелые металлы, аккумуляция свинца в листве и почве.

Среди многочисленных загрязнителей окружающей среды особое место занимают тяжелые металлы, которые способны накапливаться в живых организмах, увеличивая концентрацию при движении по трофическим цепям и угрожая здоровью человека.

Есть несколько основных источников поступления тяжелых металлов в почву: карьеры и шахты по добыче полиметаллических руд; металлургические предприятия; электростанции, сжигающие уголь; автотранспорт; химические средства защиты сельскохозяйственных культур от болезней и вредителей. Доля каждого из них в загрязнении почв меняется в зависимости от конкретных обстоятельств. Наиболее мощные потоки тяжелых металлов возникают вокруг предприятий черной и особенно цветной металлургии; свинец поступает в окружающую среду также от автомобильного транспорта. Доля свинца в общем вы-

бросе составляет: от сжигания бензина – 60, древесины – 1, производства цветных металлов – 22, железа, стали и ферросплавов – 11, прочих источников – 6 [1].

Загрязнению подвергаются не только почвенный покров, но и атмосфера. В воздухе или в составе аэрозолей постоянно присутствуют ионы тяжелых металлов, их количество постепенно растет за счет техногенных выбросов [1].

Урбанизация общества приводит к постоянному повышению содержания тяжелых металлов в окружающей среде. В северных городах наиболее распространен свинец, большая часть которого оседает на почве и растениях в непосредственной близости от автомагистралей, вдоль проезжей части улиц [2].

Многие исследователи отмечают, что при поступлении свинца от автотранспорта загрязняется полоса земли шириной 50…100 м, редко 300 м. Основное его количество оседает на почве в пределах первых 10…15 м, где концентрируется в слое глубиной 0…10 см [1, 2].

Накопление тяжелых металлов техногенного происхождения в приповерхностном слое почвы объясняется тем, что основная их часть поступает в виде труднорастворимых или нерастворимых соединений. В дальнейшем они закрепляются гумусовым веществом путем образования солей с органическими кислотами, адсорбции ионов на поверхности органических коллоидных систем. Миграционные возможности тяжелых металлов при этом понижаются. По данным разных авторов, количество водорастворимой формы тяжелых металлов в техногенно загрязненных почвах неодинаково, но в целом невелико; свинца – 0,02…0,40 % от валового содержания в почве [1, 2].

Увеличение содержания тяжелых металлов в почве ведет к возрастанию их концентрации в растениях. Важную роль в защите растений выполняет корневая система. На способность корней накапливать избыточные ионы обращали внимание многие исследователи, одним из первых был Е.И. Ратнер, отметивший такую защитную функцию еще в 1950 г. Задерживая избыточные ионы, корни способствуют сохранению в надземных органах благоприятных (или невредных) концентраций химических элементов, обеспечивая воспроизводительную функцию [1].

Иногда поверхностное загрязнение растений в результате оседания металлсодержащих частиц из воздуха на листья и стебли может быть значительным [1 – 6]. Внешнее загрязнение менее опасно для растений, чем осуществляемое через корни. Отрицательное воздействие техногенной пыли может проявиться также в сокращении притока солнечной энергии к фотосинтезирующим клеткам, закупорке устьиц, химических процессах, вызываемых кислотными и щелочными компонентами пыли [5, 6].

Накопление свинца растениями существенно зависит от уровня загрязнения почв, на которых они произрастают. Однако не всегда отмечается сильная прямая корреляция между этими показателями, поскольку поток свинца из почвы в растения определяется не только валовым содержанием, но и концентрацией его там в подвижной форме, что тесно связано с химическим составом техногенных выбросов [1, 3].

Создаются трудности в отделении свинца, поглощенного в процессе жизнедеятельности, от механически загрязняющего поверхность растения. Количество свинца, накапливающегося на листовой пластинке, зависит от ее изрезанности, опушенности, наличия смолистых веществ, воска и т. д. Загряз-

нение растений уменьшается во время дождей. По данным некоторых исследователей [1, 2], смыв удаляет 30…60 % свинца.

Механизм воздействия свинца и других тяжелых металлов, механически оседающих в составе пыли на листовую поверхность, достаточно изучен. Исследованы тепловой баланс, снижение уровня светопоглощения и фотосинтеза, засорение устьиц, изменение pH осадков, соприкасающихся с листьями, и сопутствующее выщелачивание биогенных элементов из тканей. Данные о влиянии поглощенного свинца на растения довольно противоречивы. Отмечены стимуляция их роста низкими и резкое торможение высокими концентрациями элемента. Считается, что механизм токсичного действия свинца заключается в блокировке реакций с участием ферментов и коагуляцией белков. Имеются данные, что свинец замещает в ферментах магний и цинк, пресекая работу ферментов. Косвенное воздействие свинца, содержащегося в почве, заключается в переводе питательных веществ в труднодоступную форму и создании «голодной» среды для растений [2].

Цель настоящих исследований – определить среднее валовое содержание свинца в почве и листве древесных растений в городских условиях и выявить зависимость полученных данных от интенсивности движения автотранспорта.

Таблица 1

Исследуемые признаки	Коэффициент корреляции и основная ошибка	Достоверность коэффициента корреляции	Теснота связи
Интенсивность движения автотранспорта и содержание свинца в почве	0,73±0,23	3,20	Высокая
Содержание свинца в почве и листве древесных растений	0,31±0,18	3,87	Умеренная

В 2004-2006 гг. на улицах г. Новодвинска и Северодвинска Архангельской области отбирали образцы из верхнего слоя почвы (до 10 см) на расстоянии 2 м от автодороги под кронами деревьев. Образцы листьев брали в августе с наиболее распространенных в городах пород: тополя бальзамического, дрожащего, березы пушистой, из средней части кроны. Среднее валовое содержание свинца в пробах определяли в лаборатории ФГУ «САС «Архангельская».

Выявлено, что уровень загрязнения почвы связан с интенсивностью движения автотранспорта, а количество свинца в листве древесных растений, в свою очередь, с содержанием его в почве (табл. 1), но по всем парам исследуемых признаков коэффициент корреляции статистически не достоверен.

Валовое содержание является фактором емкости, отражающим в первую очередь потенциальную опасность загрязнения растительной продукции, инфильтрационных и поверхностных вод, показывает общую загрязненность почвы, но не отражает степени доступности элементов для растения. Для характеристики состояния почвенного питания растений используются только их подвижные формы.

Предельно допустимая концентрация (ПДК по валовому количеству) свинца в почве составляет 32 мг/кг [7], фоновое значение 8,89 мг/кг. Содержание свинца в почвах г. Новодвинска не превосходит нормы, г. Северодвинска – несколько выше ее (табл. 2), для сравнения в г. Котласе – 29,3 мг/кг [6].

Таблица 2

Место взятия проб	Интенсивность движения транспорта, автомобилей/ч	Среднее валовое содержание свинца в почве, мг/кг	Порода	Среднее содержание свинца в листве, мг/кг
г. Северодвинск, пр. Труда	722	35,00	Тополь бальзамический	0,92
			Береза пушистая	1,46
г. Новодвинск: ул. Димитрова	247	11,48	Тополь бальзамический	0,27
			Береза пушистая	1,19
ул. Мира	412	15,24	Береза пушистая	0,75
ул. Третьей Пятилетки	878	22,43	Тополь бальзамический	0,37
			Береза пушистая	0,71
			Тополь дрожащий	0,73

Среди исследованных нами пород лучше задерживает свинец береза пушистая, что подтверждает рациональность ее использования в посадках вдоль автодорог в северных городах. Об аэральном поступлении свинца в растения судить чрезвычайно сложно. Есть основание предполагать, что чем больше загрязнителя попадает на поверхность листа, тем больше его проникает внутрь через устьица и эпидермис.

Нормирование содержания тяжелых металлов в почве и растениях чрезвычайно сложно, так как невозможно учесть все факторы природной среды. Так, различия агрохимических свойств почвы (реакция среды, содержание гумуса, степень насыщенности основаниями, гранулометрический состав) могут уменьшить или увеличить содержание свинца в растениях в несколько раз.

Полученные данные расширяют представление о фоновом уровне загрязнения тяжелыми металлами урбанизированной среды северных городов и могут быть использованы для ее комплексной экологической оценки.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Зайковская, Е.А.* Аккумуляция свинца городскими растениями в условиях автотранспортной нагрузки [Текст] / Е.А. Зайковская // Вестн. Ленингр. ун-та. – Л., 1980. – Вып. 3. – С. 29–37.

2. *Ильин, В.Б.* Тяжелые металлы в системе почва – растение [Текст] / В.Б. Ильин.– Новосибирск: Наука, 1991. – 151 с.

3. *Кочарян, К.С.* Состояние озеленения улиц города Еревана и пути его улучшения [Текст]: автореф. дис. … канд. с.-х. наук / К.С. Кочарян. – Минск, 1987. – 21 с.

4. *Мосеева, Д.П.* Нефтепродукты и тяжелые металлы в почвах южных районов Архангельской области [Текст] / Д.П. Мосеева, Н.А. Шулепина, А.Ф. Троянская // Почвенные исследования на Европейском Севере России. – Архангельск, 1996. – С. 120–127.

5. Санитарные нормы допустимых концентраций химических веществ в почве // СанПиН 42–128–4433–87. – М., 1987. – 37 с.

6. *Скрипальщикова, Л.Н.* Аккумуляция пыли придорожными насаждениями в Красноярско-Ачинской и Канской степях [Текст] / Л.Н. Скрипальщикова, Н.В. Грешило-

ва // Ботанические исследования в Сибири.– Красноярск: Вост.-Сиб. науч. центр РАЕН, Краснояр. отд-ние Рос. ботан. о-ва РАН, 1999. – Вып. 7. – С. 164–170.

7. *Соловьева, О.С.* Городские насаждения как фактор санитарно-гигиенической обстановки [Текст] / О.С. Соловьева, М.М. Котов // Растительность и растительные ресурсы Европейского Севера России: материалы X Перфильевских чтений, посвященных 120-летию со дня рождения И.А. Перфильева. – Архангельск, 2003. – 259 с.

Поступила 06.11.07

O.S. Zalyvskaya, S.V. Khrushcheva, N.A. Babich
Arkhangelsk State Technical University

Lead in Soil – Woody Plant System in Urbanized Environment

The reference data on accumulation and migration of heavy metals in the environment are provided. The main source of lead inflow is motor transport. White birch is the best tree in lead trapping in the urban conditions.

Keywords: urbanized environment, woody plants, heavy metals, lead accumulation in foliage and soil.

ЛЕСОЭКСПЛУАТАЦИЯ

УДК 630*378

П.Н. Перфильев, А.А. Митрофанов

Архангельский государственный технический университет

Перфильев Павел Николаевич родился в 1984 г., окончил в 2006 г. Архангельский государственный технический университет, ассистент кафедры водного транспорта леса и гидравлики АГТУ. Имеет 2 печатные работы по исследованиям гидродинамических характеристик линеек из плоских сплоточных единиц.
E-mail: perfilievya@mail.ru

Митрофанов Александр Александрович родился в 1941 г., окончил в 1964 г. Архангельский лесотехнический институт, доктор технических наук, профессор, заведующий кафедрой водного транспорта леса и гидравлики Архангельского государственного технического университета, академик РАЕН. Имеет более 220 печатных работ в области гидродинамики взаимодействия плохообтекаемых тел с жидкостью, механики грунтов, научного обоснования и разработки новых экологически защищенных технологий водного транспорта леса по рекам с недостаточными глубинами.
E-mail: agtusplav@mail.ru

ИССЛЕДОВАНИЯ ГИДРОДИНАМИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК ЛИНЕЕК ИЗ ПЛОСКИХ СПЛОТОЧНЫХ ЕДИНИЦ

Рассмотрены методика проведения экспериментальных исследований, математическое планирование. Приведены зависимости для определения коэффициентов сопротивления, гидродинамического сопротивления.

Ключевые слова: плоская сплоточная единица, эксперимент, линейка, гидродинамическое сопротивление, коэффициент сопротивления.

Объемы лесозаготовок при огромных расстояниях вывозки древесины сдерживаются отсутствием в большинстве регионов страны магистральных видов транспорта – железнодорожного и водного, автомобильный экономически не окупается. Раньше существовал молевой сплав по малым рекам. Затем выполнялись навигационная сплотка древесины и плотовой сплав по большим рекам. С отменой молевого сплава упали объемы лесозаготовок.

Одним из путей решения проблемы является разработка новых экологически чистых технологий лесосплава на базе плоских сплоточных единиц (ПСЕ) с осадкой 0,25…1,10 м. Такие научные исследования проводятся в Архангельском государственном техническом университете. По р. Онеге, Пинеге, Ваге, Сев. Двине осуществлен опытный проплав плотов из ПСЕ. Предложены конструкторские решения по техническому обеспечению новых технологий. Изучаются гидродинамические и инерционные характеристики новых лесотранспортных единиц.

Внедрение новых технологий позволит расширить сроки навигации, снизить до минимума аварийность на лесосплавных путях и обеспечить более ритмичную и равномерную работу лесозаготовительных предприятий и флота. При этом потребуется меньше техники и флота, работа может быть организована в спокойном режиме, без оглядки на сжатые сроки стояния сплавных горизонтов воды, упадут тарифы на буксировку древесины.

Важным этапом в организации лесосплава по новым технологиям является вывод древесины по всем малым рекам, где раньше был молевой сплав. В зависимости от условий реки это может быть осуществлено в сплоточных единицах вольницей, линейках из ПСЕ и малых плотах. В настоящей работе приводятся результаты исследования гидродинамических характеристик линеек из ПСЕ, что позволит эффективнее выполнять технологические и транспортные расчеты.

Авторами разработана методика проведения экспериментальных исследований [5, 6]. Из модельных бревен (длина 325±2 и 225±2 мм, диаметр 10…11 мм) изготовлены модели линеек. На рис. 1 для примера представлена линейка, состоящая из восьми трехрядных ПСЕ (ширина линейки 0,325 м, длина 2,6 м, расстояние между ПСЕ 0,025 м). Моделирование осуществлено по критерию подобия Фруда в автомодельной области чисел Рейнольдса. Масштаб моделирования принят на первом этапе по рекомендациям [2, 4, 8].

Экспериментальные исследования проведены в масштабе 1:20 в опытовом бассейне кафедры водного транспорта леса и гидравлики Архангельского государственного технического университета. Ширина бассейна 3, длина 14, глубина 0,4 м. Ширина обеспечивала неограниченность потока. В некоторых опытах поток был ограничен по глубине. Отношение глубины бассейна к осадке моделей изменялось в пределах 6…35. Данное положение не считается проблемным, так как и в натурных условиях линейки плотов будут сплавляться при малых глубинах.

Рис. 1. Модель линейки

Буксировку моделей из ПСЕ выполняли при различных скоростях, соответствующих натурным от 0,5 до 1,5 м/с. При каждом значении скорости, определяемой величиной буксирующего груза, опыт повторяли 5 раз в серии, согласно рекомендациям [2–4]. Всего по установившемуся движению обработано 600 серий замеров, или 3000 опытов. Для оценки точности опытов найдено среднее квадратичное отклонение, коэффициент вариации, средняя ошибка среднего арифметического и показатель точности, равный 0,00…0,61 %.

Воспроизводимость опытов оценивали по критерию Кохрена. Сделан вывод о достаточно высокой точности измерений.

В опытах использованы математические методы планирования экспериментов с получением уравнения регрессии и классическая методика с применением теоретических зависимостей. Многофакторный эксперимент выполнен в целях изучения качественного и количественного влияния факторов на сопротивление воды движению моделей. Основными факторами, влияющими на гидродинамическое сопротивление воды движению модели линейки из ПСЕ, приняты ее размеры, интервал между ПСЕ, скорость движения модели, коэффициенты сопротивления и плотность воды. Коэффициенты сопротивления и плотность воды – величины постоянные, являющиеся неуправляющими факторами, скорость движения определяет гидродинамическое сопротивление по зависимости

$$R = rv^2, \qquad (1)$$

где r – приведенное сопротивление воды движению модели линейки;

v – скорость движения.

Получив экспериментальным путем зависимости для определения приведенного сопротивления r, можно по выражению (1) найти гидродинамическое сопротивление. Поэтому за выходной параметр уравнения регрессии принято приведенное гидродинамическое сопротивление моделей линеек из ПСЕ; за входные управляющие факторы: X_1 – длина; X_2 – ширина; X_3 – осадка модели, X_4 – интервал между ПСЕ. Размеры испытанных моделей линеек приведены в табл. 1.

Уравнение регрессии после обработки экспериментальных данных и расчета коэффициентов регрессии принимает вид

$$r = 5{,}6275 + 1{,}3188x_1 + 0{,}9688x_2 + 2{,}6425x_3 + 0{,}4763x_4 + 0{,}1975x_1x_2 +$$
$$+ 0{,}3988x_1x_3 + 0{,}4225x_1x_4 + 0{,}7088x_2x_3 + 0{,}1563x_3x_4 + 0{,}1613x_1x_2x_4. \qquad (2)$$

Это уравнение проверено на адекватность экспериментальным данным по критерию Фишера. По знаку и величине его коэффициентов оценено воздействие соответствующих факторов на выходной параметр. Установлено, что на приведенное и гидродинамическое сопротивление воды движению моделей линеек наибольшее влияние оказывают осадка и длина, наименьшее – интервал между ПСЕ. Результаты, полученные при математическом планировании эксперимента, использованы при планировании и проведении опытов по классическому эксперименту. В результате выбраны размеры моделей линеек, а также интервалы между ПСЕ в моделях (табл. 2). При этом учтены глубины и извилистость малых лесосплавных рек.

Таблица 1

№ модели линейки	Длина, м		Ширина, м		Осадка, м		Интервал между ПСЕ, м	
	X_1	x_1	X_2	x_2	X_3	x_3	X_4	x_4
1	0,65	-1	0,225	-1	0,010	-1	0	-1
2	2,60	1	0,225	-1	0,010	-1	0	-1
3	0,65	-1	0,325	1	0,010	-1	0	-1
4	2,60	1	0,325	1	0,010	-1	0	-1
5	0,65	-1	0,225	-1	0,052	1	0	-1
6	2,60	1	0,225	-1	0,052	1	0	-1
7	0,65	-1	0,325	1	0,052	1	0	-1
8	2,60	1	0,325	1	0,052	1	0	-1
9	0,65	-1	0,225	-1	0,010	-1	0,05	1
10	2,60	1	0,225	-1	0,010	-1	0,05	1
11	0,65	-1	0,325	1	0,010	-1	0,05	1
12	2,60	1	0,325	1	0,010	-1	0,05	1
13	0,65	-1	0,225	-1	0,052	1	0,05	1
14	2,60	1	0,225	-1	0,052	1	0,05	1
15	0,65	-1	0,325	1	0,052	1	0,05	1
16	2,60	1	0,325	1	0,052	1	0,05	1

По результатам экспериментальных исследований для каждой модели построена кривая зависимости усилий буксировки (R_x) от средних скоростей равномерного движения модели (v). Такая зависимость для 4-рядной модели линейки, состоящей из восьми плиток (интервал между ПСЕ 0,05 м, ширина модели 0,325 м, длина 2,6 м) представлена на рис. 2.

Все опыты выполнены в квадратичной зоне сопротивления по числу Рейнольдса, для которой справедлив квадратичный закон сопротивления. Это подтверждается аналогичными исследованиями [2, 4]. Для каждого графика методом наименьших квадратов отклонений подобрана теоретическая кривая вида $R = av^2$.

Гидродинамическое сопротивление воды равномерному движению тел на поверхности жидкости рекомендуется находить по классической формуле Ньютона [2–4, 7, 8]:

$$R = c\frac{\rho}{2}\Omega v^2, \qquad (3)$$

где c – общий безразмерный коэффициент сопротивления движению;

ρ – плотность воды;

Ω – характерная площадь.

Таблица 2

Параметр модели	Предел варьирования, м	Интервал варьирования, м
Длина	0,65…2,60	0,650
Ширина	0,225…0,325	0,100
Осадка	0,01… 0,05	0,010
Интервал между ПСЕ	0… 0,05	0,250

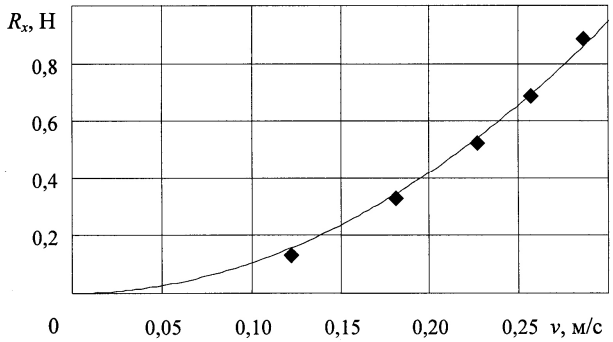


Рис. 2. Зависимость усилия буксировки от средней скорости равномерного движения модели линейки из ПСЕ

Полное сопротивление складывается из трех составляющих (сопротивление трения ($R_{тр}$), формы ($R_ф$) и волновое ($R_в$):

$$R = R_{тр} + R_ф + R_в . \quad (4)$$

При движении тел в жидкости без волнообразования силы тяжести, а следовательно, и числа Фруда (Fr) не влияют на гидродинамические характеристики. Это имеет место при движении тела с любой скоростью глубоко под свободной поверхностью, а также при его движении по свободной поверхности с относительно малыми скоростями. Известно [7], что при движении судов с Fr < 0,20…0,25 волнообразование практически не влияет на гидродинамические силы. Таким образом, критерий подобия по Фруду следует учитывать лишь при движении тел с интенсивным волнообразованием. При равенстве чисел Фруда картина модельного и натурного волнообразования геометрически подобна. Исследования В.П. Корпачева [1] показали, что волновое сопротивление для пучковых плотов начинает проявляться при Fr > 0,35. В наших условиях исследования выполнены при Fr = 0,022…0,128.

Волновая составляющая сопротивления зависимости (4) применительно к рассматриваемому случаю, ввиду малости скоростей, а следовательно, и чисел Фруда, не оказывает существенного влияния на полное сопротивление, и ею можно пренебречь. Тогда формула полного сопротивления воды равномерному движению линейки из ПСЕ примет вид

$$R = R_{тр} + R_ф . \quad (5)$$

Во многих исследованиях показано, что сопротивление трения при движении твердого тела в жидкости зависит от скорости движения, размеров тела, шероховатости, а также плотности самой жидкости, в которой происходит движение. Выведена теоретическая зависимость:

$$R_{тр} = c_{тр}\left(\frac{\rho}{2}\right)Wv^2 , \quad (6)$$

где W – площадь смоченной поверхности модели,

$$W = (B_м + 2T_м)L_м ; \quad (7)$$

$B_м$, $T_м$, $L_м$ – соответственно ширина, осадка и длина модели линейки;

$c_{тр}$ – коэффициент сопротивления трения от общей шероховатости модели.

Для режима с полным проявлением шероховатости, согласно работам Л. Прандтля и Г. Шлихтинга [9], зависимость коэффициентов сопротивления от относительной шероховатости может быть представлена следующей интерполяционной формулой:

$$c_{\text{тр}} = \left(1{,}89 + 1{,}62 \lg \frac{l}{k_s}\right)^{-2{,}5}, \qquad (8)$$

где l – характерный размер (для данного случая длина модели);

k_s – эквивалентная «песочная» шероховатость (для модели линейки из ПСЕ k_s =0,5 мм [8, 9]).

Из выражения (5)

$$R_{\text{ф}} = R - R_{\text{тр}}. \qquad (9)$$

Коэффициент сопротивления формы ($c_{\text{ф}}$) определяли по результатам экспериментальных исследований по формуле

$$c_{\text{ф}} = \frac{R_{\text{ф}}}{\frac{\rho}{2} S v^2}, \qquad (10)$$

где S – площадь миделевого сечения модели линейки,

$$S = B_{\text{м}} T_{\text{м}}. \qquad (11)$$

Для определения коэффициента сопротивления формы методом наименьших квадратов отклонений получена эмпирическая зависимость

$$c_{\text{ф}} = 0{,}641 + 0{,}032\, L_{\text{м}} / B_{\text{м}}, \qquad (12)$$

которая справедлива при $L_{\text{м}} / B_{\text{м}} = 2 \ldots 13$ (рис. 3).

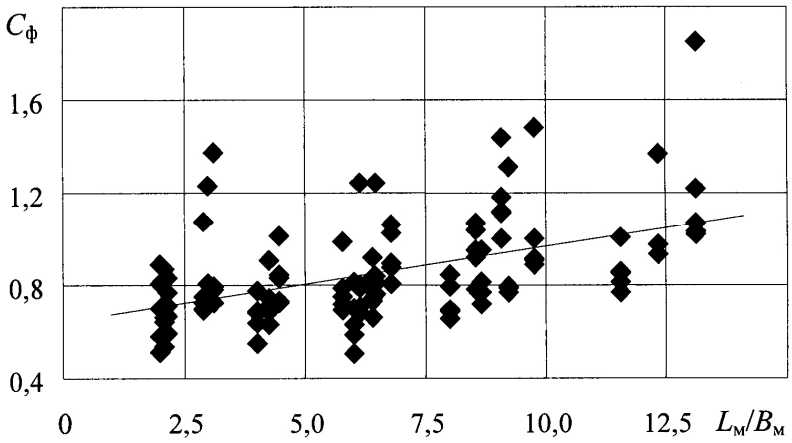


Рис. 3. Зависимость коэффициента сопротивления формы от отношения длины к ширине модели линейки из ПСЕ

Адекватность зависимости (12) для описания экспериментальных данных подтверждена при помощи критерия Фишера. Поскольку коэффициент $c_ф$ безразмерный, она справедлива также и для натурных условий.

Расчетная формула для определения полного сопротивления воды движению линеек из ПСЕ в модельных условиях (справедливая и для натуры) имеет вид

$$R = \left(c_{тр} L_м (B_м + 2T_м) + c_ф B_м T_м\right) v^2 . \quad (13)$$

Здесь коэффициент сопротивления трения от общей шероховатости определяется по формуле (8). По рекомендации В.Н. Худоногова [8], для натурных условий l равна длине линейки из ПСЕ, а k_s =2,5 мм.

Результаты исследований гидродинамических характеристик моделей линеек из ПСЕ будут способствовать разработке новых, более совершенных технологий и технического обеспечения лесосплава. Применение таких технологий станет выходом из проблемы транспортировки древесины на большие расстояния.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Корпачев, В.П.* Транспорт леса. Теоретические основы водного транспорта леса [Текст]: учеб. пособие для вузов / В.П. Корпачев. – Красноярск: КГТА, 1997. – 254с.

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

3. *Митрофанов, А.А.* Научное обоснование и разработка экологически безопасного плотового лесосплава [Текст] / А.А. Митрофанов. – Архангельск: Изд-во АГТУ, 1999. – 268 с.

4. *Мурашова, О.В*. Исследования гидродинамических характеристик плоских сплоточных единиц на моделях и в натурных условиях [Текст] / О.В. Мурашова, А.А. Митрофанов // Лесн. журн. – 2007. – № 1. – С. 45–51. – (Изв. высш. учеб. заведений).

5. *Перфильев, П.Н*. Методика исследований гидродинамических характеристик линеек из плоских сплоточных единиц [Текст] / П.Н. Перфильев, А.А. Митрофанов // Охрана окружающей среды и рациональное использование природных ресурсов: сб. науч. тр. – Архангельск: Изд-во АГТУ, 2007. – Вып. 73. – С. 192–196.

6. *Перфильев, П.Н.* Проблемы лесосплава и методика исследований гидродинамических и инерционных характеристик линеек из плоских сплоточных единиц [Текст] / П.Н. Перфильев, Д.А. Штаборов // Научное творчество молодежи – лесному комплексу России: материалы IV Всерос. науч.-техн. конф. – Екатеринбург: Урал. гос. лесотехн. ун-т, 2008. – Ч. 2. – С. 46–49.

7. *Федяевский, К.К.* Гидромеханика [Текст]: учеб. / К.К. Федяевский, Я.И. Войткунский, Ю.И. Фаддеев. – Л.: Судостроение, 1968. – 568 с.

8. *Худоногов, В.Н.* Гидродинамическое взаимодействие плотов и внешней среды [Текст] / В.Н. Худоногов. – Красноярск; Краснояр. кн. изд-во, 1966. – 225 с.

9. *Шлихтинг, Г.* Теория пограничного слоя [Текст] / Г. Шлихтинг; пер. с нем. – М.: Наука, 1969. – 742 с.

Поступила 14.04.08

P.N. Perfiljev, A.A. Mitrofanov
Arkhangelsk State Technical University

Study of Hydrodynamic Characteristics of Bars Made of Flat Raft Sections

The technique of running experimental research and mathematical planning is considered. The dependencies for determining resistance and hydrodynamic resistance coefficients are provided.

Keywords: flat raft section, experiment, bar, hydrodynamic resistance, resistance coefficient.

УДК 620.18

Б.А. Потехин

Уральский государственный лесотехнический университет

Потехин Борис Алексеевич родился в 1938 г., окончил в 1960 г. Горьковский политехнический институт, доктор технических наук, профессор, заведующий кафедрой технологии металлов Уральского государственного лесотехнического университета. Имеет около 140 печатных трудов в области создания, обработки и применения высокопрочных сталей, демпфирующих материалов и сплавов скольжения.
Тел.: (343) 262-97-98

СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ УЗЛОВ ТРЕНИЯ В МАШИНАХ И МЕХАНИЗМАХ ПРЕДПРИЯТИЙ ЛЕСНОГО КОМПЛЕКСА

Установлено влияние разных способов литья на структуру и свойства баббита марки Б83. Предложен метод центробежного литья, обеспечивающий кристаллизацию интерметаллидов в условиях турбулентно движущегося расплава, что устраняет ликвацию и переводит остроугольный интерметаллид SnSb в глобулярную форму.

Ключевые слова: коэффициент трения, подшипники скольжения, сплавы скольжения, центробежное литье.

В машинах и механизмах лесопромышленного комплекса широко используют узлы трения скольжения. Например, на Соликамском ЦБК эксплуатируют более тридцати скоростных подшипников скольжения, где применяют оловянный баббит марки Б83. В подъемных устройствах лесных машин применяют гидромеханизмы типа плунжерных насосов, в которых давление масла обеспечивается возвратно-поступательным движением поршней в цилиндре (сталь – бронза). От материалов таких узлов требуется низкий коэффициент трения, повышенная износостойкость, контактно-усталостная прочность. Поэтому совершенствование сплавов скольжения и технологии их применения в соответствующих узлах трения – задача всегда актуальная.

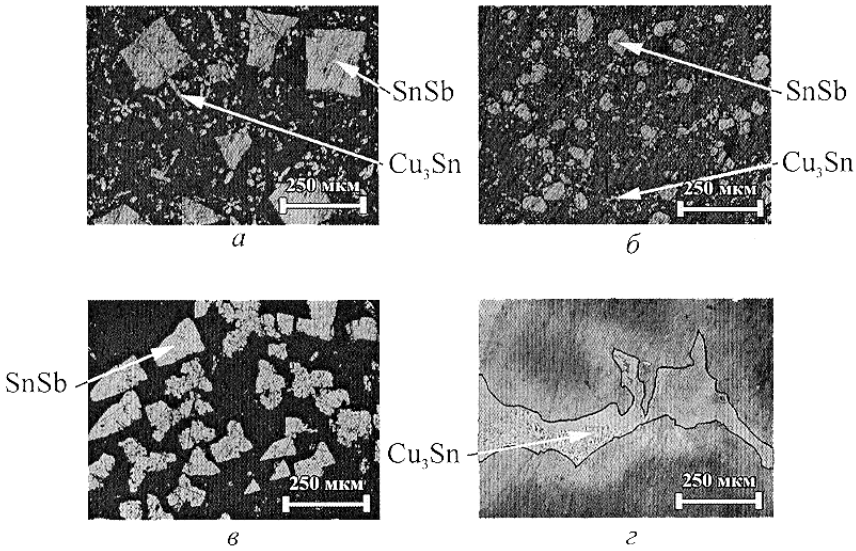


Рис. 1. Структура баббита Б83, полученного сифонным (*а*), «турбулентным» (*б*) и центробежным (*в*) способами; *г* – структура бронзы БрО10

В связи с этим нами разработана новая технология заливки корпусов подшипников скольжения, обеспечивающая повышенные свойства баббита. Для ряда цветных сплавов, широко применяемых в узлах трения скольжения, характерна пониженная прочность, так как интерметаллиды (необходимая составляющая этих сплавов) отличаются неблагоприятной морфологией. Например, в баббитах типа Б83 интерметаллид SnSb формируется в процессе литья в форме остроугольных параллелепипедов, а Cu_3Sn – в виде иглообразных включений (рис. 1, *а*). В бронзе БрО10 тот же интерметаллид Cu_3Sn имеет форму «кленового листа» в сечении. Такая форма этих относительно твердых фаз при механическом нагружении вызывает формирование зоны высокой концентрации напряжений, что лишает эти сплавы как возможно достижимой прочности, так и пластичности.

Нами на базе центробежного литья разработан и опробован метод кристаллизации турбулентно движущегося расплава баббита марки Б83 [2, 3], который обеспечивает формирование интерметаллидов SnSb глобулярной формы (рис. 1, *б*). Это позволило существенно улучшить технологические, механические и служебные свойства баббита.

Баббит Б83 и его аналоги, например Б88, применяют как литейные сплавы. Из-за остроугольности интерметаллида они не деформируются ни в холодном, ни в горячем состоянии, так как интерметаллиды SnSb разрушаются уже после деформации на 4 % [1]. Глобулярная форма, снижая концентрацию локальных напряжений, позволяет деформировать интерметаллид на 40 % и более, что, в свою очередь, повышает также и его механические свойства.

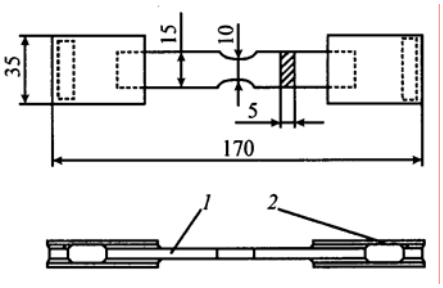


Рис. 2. Конструкция образцов из баббита Б83 для усталостных испытаний: *1* – баббитовая пластина; *2* – стальная накладка

Для исследования усталостных свойств литых баббитов разработана специальная конструкция образцов, представленная на рис. 2. Применение стальных накладок (позиция *2*) позволило немагнитные баббитовые образцы нагружать электромагнитными силами. Испытание* заключалось в консольном изгибе плоских образцов с заданными амплитудами деформации, которые были пересчитаны в напряжения, изменяющиеся по симметричному циклу с частотой 50 Гц. Предел выносливости определяли для 8 образцов каждого способа литья. Один образец испытывали только на одном уровне напряжений до разрушения или до заданного базового числа циклов $N = 20 \cdot 10^5$. По результатам испытаний строили кривые усталости в координатах напряжение – число циклов. На рис. 3 представлены усталостные кривые баббита, полученного разными методами литья.

Результаты испытаний показали зависимость предела усталости при изгибе как от формы интерметаллидов, так и от их распределения. Например, центробежное литье вызывает расслоение интерметаллидов по их плотности вследствие действия центробежных сил. При этом интерметаллиды SnSb (плотность 7,1 г/см^3) легче расплава (7,5 г/см^3) и поэтому «всплывают» на внутреннюю поверхность отливки (см. рис. 1, *в*), имеющей форму втулки. Тяжелые интерметаллиды Cu_3Sn (10,2 г/см^3) оттесняются центробежными силами к наружной поверхности отливки. Таким образом, рабочая поверхность будущего подшипника не содержит интерметаллидов Cu_3Sn, т. е. состав баббита Б83 в зоне трения не соответствует марочному составу, что снижает предел его выносливости до 1,4 МПа.

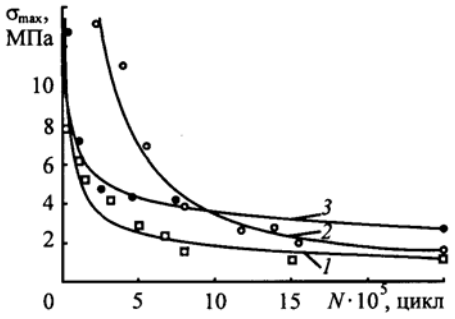


Рис. 3. Кривые усталости баббита Б83, полученного разными способами литья: *1* – центробежным; *2* – сифонным; *3* – «турбулентным»

* Эксперименты выполнены инж. В.В. Илюшиным и А.С. Христолюбовым.

Выполненное исследование показало, что центробежное литье баббитов традиционными способами нецелесообразно, в то время как предложенный нами способ «турбулентного» литья не только предотвращает ликвации, но и обеспечивает глобулярную форму интерметаллида SnSb [1–3]. В результате повышается предел усталости баббита Б83 (рис. 3).

Коэффициент трения баббита, как показали наши исследования, не зависит от морфологии интерметаллида SnSb. Для состояния *а* и *б* на рис. 1 он равен 0,02, а расслоение баббита по плотности при центробежном литье повышает коэффициент трения до 0,03, т. е. на 50 % [1].

Мы полагаем, что и для других сплавов скольжения, например бронзы типа БрО10 (см. рис. 1, *г*), прочностные показатели могут быть улучшены, если придать интерметаллидам компактную глобулярную форму, подобно тому, как мы это сделали для баббита марки Б83.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Потехин, Б.А.* Свойства баббита марки Б83 [Текст] / Б.А. Потехин, А.Н. Глущенко, В.В. Илюшин // Технология металлов. – 2006. – № 3. – С. 17–22.

2. Устройство для заливки подшипников скольжения [Текст]: пат. 38649 Рос. Федерация: МПК[7] B22D7/04 / Потехин Б.А., Глущенко А.Н., Илюшин В.В.; заявитель и патентообладатель Урал. гос. лесотехн. ун-т. – № 2004101513/20; заявл. 19.01.04; опубл. 10.07.04, Бюл. № 19. – 6 с.

3. Устройство для турбулентного перемешивания кристаллизующегося металла в процессе центробежного литья [Текст]: пат. 53947 Рос. Федерация: МПК B22D 7/04 (2006.01) / Потехин Б.А., Глущенко А.Н.; заявитель и патентообладатель Урал. гос. лесотехн. ун-т. – № 2005135247/22; заявл. 14.11.05; опубл. 10.06.06, Бюл. № 16. – 7 с.

Поступила 24.04.08

B.A. Potekhnin

Ural State Forest Engineering University

Improvement of Friction Units in Machines and Mechanisms of Forest Industry

Influence of different casting methods on structure and properties of B83 babbit is established. The spun casting method of securing crystallization of intermetallides in the conditions of turbulent melt movement is offered that eliminates liquation and convert angular intermetallide SnSb into the globular form.

Keywords: friction factor, friction bearings, friction alloys, spun casting.

УДК 62-85:539.319

Д.Т. Анкудинов, Л.Т. Раевская

Уральский государственный лесотехнический университет

Анкудинов Дмитрий Тимофеевич родился в 1931 г., окончил в 1956 г. Уральский государственный политехнический институт, доктор технических наук, профессор кафедры сопротивления материалов и теоретической механики Уральского государственного лесотехнического университета. Имеет 214 печатных работ в области исследования кинематики и динамики пневматических двигателей.
Тел.: (343) 224-25-16

Раевская Лариса Трофимовна родилась в 1947 г., окончила в 1970 г. Уральский государственный университет, кандидат физико-математических наук, доцент, заведующий кафедрой сопротивления материалов и теоретической механики Уральского государственного лесотехнического университета. Имеет 41 печатную работу в области исследования кинематики и динамики пневматических двигателей.
E-mail: raevskaya@usfeu.ru

ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ КОНСТРУКТИВНЫХ ПАРАМЕТРОВ НА НАПРЯЖЕННО-ДЕФОРМИРОВАННОЕ СОСТОЯНИЕ ПНЕВМОМОТОРА

Исследовано влияние параметров сечения ребра жесткости на характеристики напряженно-деформированного состояния поршня пневмомотора.

Ключевые слова: пневмомоторы лесного комплекса, метод конечных элементов ANSYS, конструктивные параметры.

Аксиально-поршневые пневмомоторы серии ДАР компактны, поскольку не имеют кривошипно-шатунного механизма, а оси вращения кулачкового ротора и движения поршня расположены параллельно. Их габариты и масса в 1,5–2,0 раза меньше, чем у моторов других конструкций и принципов действия при той же мощности. Двигатели серии ДАР могут быть рекомендованы для применения в машинах и оборудовании лесного комплекса и деревообрабатывающей промышленности. В настоящее время чаще всего используют пневмомотор ДАР-14М с характеристиками: мощность 10 кВт; частота вращения (номинальное значение) 400 об/мин; давление воздуха в газовой магистрали 0,5 МПа. Поршни пневмомотора литые, изготовлены из сплава АК7М2 (плотность ρ = 2,8 г/см^3 , модуль упругости 1-го рода E =71000 МПа, коэффициент Пуассона ν = 0,31 [1]).

Анализ показал, что 80 % отказов пневмомоторов происходит из-за разрушения поршней, 12 % – кулачкового диска ротора, 4 % – пластмассовых заглушек цилиндров и т. д. Низкая долговечность алюминиевых поршней приводит к необходимости поиска наиболее конструктивных параметров этих деталей.

Появление инженерных программных комплексов, таких как МКЭ (метод конечных элементов) ANSYS, позволяет моделировать конструкции поршней, исследовать напряженно-деформированное состояние и подбирать наиболее рациональные параметры. Математическое моделирование позволяет разработать и внедрить новые более точные методики расчета и рационализации деталей пневмомоторов.

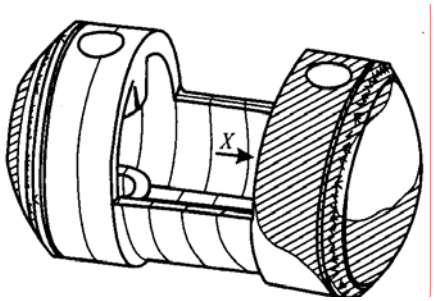


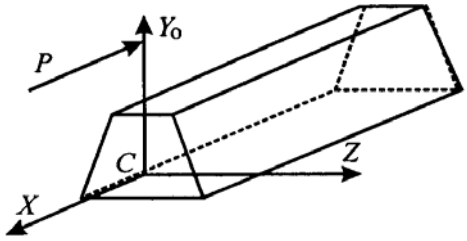
Рис. 1. Смещение точек в направлении, перпендикулярном оси поршня

Ранее было показано [2], что одной из причин появления трещин в области разрушения поршня пневмомотора является то, что он кроме растяжения – сжатия испытывает еще и деформацию изгиба, которая вызывает смещение точек торца поршня относительно оси *Y*, т. е. перпендикулярно оси поршня *X*, до 0,437*E*-05 м (рис. 1). На рисунке ось *Y* направлена вверх. Смещение точек левого торца поршня происходит против этой оси. В области соединения ребра жесткости и опоры под поршневой палец появляются нормальные напряжения значительно выше средних, при этом верхняя часть ребра жесткости оказывается растянутой, а нижняя сжатой.

Причина возникновения деформации изгиба объясняется тем, что линия действия равнодействующей внешних сил *P*, которая совпадает с осью поршня, смещена относительно оси ребра жесткости на расстояние Y_o, оставаясь параллельной этой оси (рис. 2). Возникает внецентренное растяжение – сжатие, что, как известно, приводит к появлению в сечениях ребра жесткости не только нормальной силы, но и изгибающего момента $M = PY_o$. В этом случае часть нормального напряжения, связанная с появлением изгибающего момента, по нашим оценкам, на порядок больше составляющей, связанной с нормальной силой. Очевидно, для уменьшения момента необходимо укоротить плечо Y_o (при постоянном значении силы *P*). Это возможно, если изменить форму сечения ребра жесткости таким образом, чтобы его центр тяжести приблизился к оси поршня.

Нами исследовано влияние параметров ребра жесткости на характеристики напряженно-деформированного состояния (НДС). Определяли параметры, при которых смещения, нормальные напряжения и деформации становятся меньше существующих в данном поршне в настоящее время. Для решения этой сложной задачи привлекали численные методы.

Рис. 2. Ребро жесткости: *C* – центр тяжести сечения; *X* – ось ребра жесткости; Y_o – координата точки приложения силы *P*



Геометрическую модель поршня создавали в программе ANSYS. При расчете использовали конечно-элементную модель с произвольной сеткой конечных элементов, состоящей из 10-точечных тетраэдрических элементов (элемент SOLID92 в библиотеке конечных элементов ANSYS). В программном файле ANSYS последовательно меняли параметры сечения – основания трапеции *a* и *b* – в пределах от 4 до 20 мм. Для каждого набора параметров *a*, *b* была построена модель поршня и рассчитаны нормальные напряжения в направлениях координатных осей и плоскостях *XY*, *YZ*, *ZX*, а также главные нормальные напряжения. Вычислены упругие деформации в тех же направлениях и плоскостях, абсолютные смещения точек поршня в направлениях координатных осей и суммарные смещения. В поршне пневмомотора ДАР-14М длина ребра жесткости 60 мм, сечение, перпендикулярное его оси, имеет геометрическую форму трапеции с верхним основанием a = 8 мм и нижним b = 16 мм. Высота всех видов сечений задана одинаковой, равной исходному значению 15 мм. Это связано с движением кулачкового ротора, который при вращении не должен задевать ребро жесткости. Для некоторых сечений масса ребра жесткости несколько возрастала, но увеличение было столь мало по сравнению с массой поршня, что им пренебрегали (при массе поршня 1,65 кг наибольшая поправка за счет изменения ребра жесткости составила 0,6 %).

В табл. 1 приведены девять наборов параметров сечения, для которых получены наиболее значимые результаты. Номером 1 обозначено существующее в пневмомоторе ДАР-14М сечение ребра жесткости.

Результаты вычисления нормальных напряжений для разных сечений ребра жесткости приведены на рис. 3. Как видно, наиболее чувствительны к изменениям напряжения вдоль оси поршня *X* и оси *Y*, остальные слабо зависят от модификации ребра жесткости. Кроме того, нормальные напряжения сечений поршня с ребром под номером 9 (a = 20 мм, b = 4 мм) существенно меньше исходных. Для относительных упругих деформаций и смещений точек поршня наибольшие изменения были получены также в направлениях *X*, *Y*.

Наименьшие напряжения по осям *X*, *Y*, *Z* и в плоскости *XY* получены для сечения номер 9, *YZ* – для сечений 4, 8, 9, *XZ* – для сечений 6, 7, 9. Таким образом, наиболее эффективными оказались сечения 9 и 7, а также 4, 6 и 8.

Таблица 1

Номер сечения	*a*, мм	*b*, мм	Номер сечения	*a*, мм	*b*, мм
1	8	16	6	16	16
2	12	12	7	16	20
3	12	16	8	20	12
4	16	12	9	20	4
5	20	8			

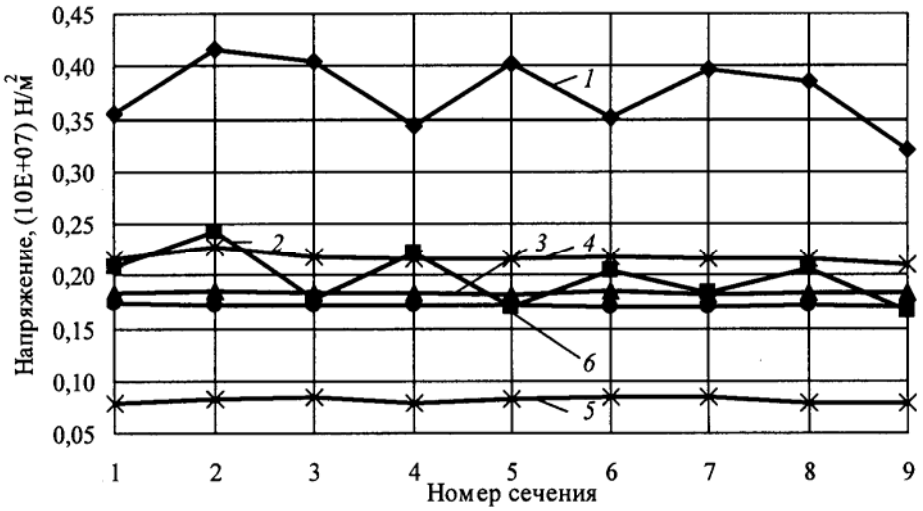


Рис. 3. Нормальные максимальные напряжения для разных наборов параметров сечения в направлениях координатных осей *X* (ряд 1), *Y* (ряд 2), *Z* (ряд 3) и в плоскостях *XY* (ряд 4), *YZ* (ряд 5), *ZX* (ряд 6)

Упругие наименьшие деформации получены вдоль оси *X* для сечения 9, относительно осей *Y, Z* – для сечения 7, в плоскости *XY* – для сечения 7, *YZ* – для сечения 8, *XZ* – для сечения 6. Эффективными оказались сечения 9, 7, а также 6, 8.

Наименьшие перемещения точек поршня вдоль осей *X, Y* получены для сечения 8, вдоль оси *Z* – для сечения 7, суммарное – для сечения 8. По параметру «смещение» более удачными оказались сечения 7, 8, менее – прямоугольное сечение 2, в котором практически все напряжения и упругие деформации оказались наибольшими, хотя смещения меньше существующих у поршня пневмомотора ДАР-14М. У прямоугольного сечения 6 характеристики лучше, чем у сечения 2. У пяти сечений (номера 2, 3, 5, 7, 8) нормальное напряжение вдоль оси поршня *X* превышает наблюдаемое в двигателе ДАР-14М. Из девяти сечений два имеют прямоугольную форму (номера 2, 6), три (1, 3, 7) – форму трапеций с верхним основанием меньше нижнего, остальные – форму перевернутой трапеции. Последние оказались самыми эффективными, поскольку их центр тяжести приближен к оси поршня.

Сечения с номерами 2, 9 не увеличивают массу поршня (их площадь равна площади существующего сечения, т. е. сечения под номером 1), что предпочтительно.

В табл. 2 приведены некоторые наиболее значимые результаты, которые показывают уменьшение максимальных нормальных напряжений, упругих деформаций и перемещений точек в моделях поршней с новыми параметрами ребер жесткости.

Таблица 2

Напряжение, параметры сечения, мм	Изменение напряжения, %	Упругая деформация, параметры сечения, мм	Изменение деформации, %	Смещение, параметры сечения, мм	Изменение смещения, %
$\Delta\sigma_X / \sigma_X$; $a = 20$; $b = 4$	9,86	$\Delta\varepsilon_X / \varepsilon_X$; $a = 20$; $b = 4$	11,84	$\Delta U_X / U_X$; $a = 20$; $b = 12$	7,45
$\Delta\sigma_Y / \sigma_Y$; $a = 20$; $b = 4$	20,09	$\Delta\varepsilon_Y / \varepsilon_Y$; $a = 16$; $b = 20$	11,81	$\Delta U_Y / U_Y$; $a = 20$; $b = 12$	7,50
$\Delta\sigma_Z / \sigma_Z$; $a = 16$; $b = 20$	1,60	$\Delta\varepsilon_Z / \varepsilon_Z$; $a = 16$; $b = 20$	1,10	$\Delta U_Z / U_Z$; $a = 16$; $b = 20$	6,80
$\Delta\sigma_{XY} / \sigma_{XY}$; $a = 20$; $b = 4$	2,78	$\Delta\varepsilon_{XY} / \varepsilon_{XY}$; $a = 16$; $b = 20$	0,56	$\Delta U_\Sigma / U_\Sigma$; $a = 20$; $b = 12$	7,49

Выводы

Наилучшими параметрами сечения ребра жесткости можно было бы признать a = 20 мм, b = 4 мм, при которых максимальное нормальное напряжение вдоль оси Y уменьшается более чем на 20 % , а упругая деформация на 11,84 %. Но поршень рассматриваемого пневмомотора литой, и возникает проблема с его отливкой, так как ребро жесткости с упомянутыми параметрами имеет сечение в виде перевернутой трапеции.

Для сечения с параметрами a = 16 мм, b = 20 мм упругая деформация в направлении Y уменьшилась более чем на 11 %, что позволяет считать это сечение более предпочтительным.

Окончательный ответ на вопрос о наиболее эффективном сечении ребра жесткости давать преждевременно. Необходимо продолжить изучение данной проблемы методами оптимизации.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Гуляев, А.П.* Металловедение [Текст] / А.П. Гуляев. – М.: Металлургия,1966. – 431 с.

2. *Раевская, Л.Т.* Математическое моделирование динамических процессов в аксиально-поршневых пневмомоторах [Текст] / Л.Т. Раевская // Материалы IX Всерос. съезда по теоретической и прикладной механике. Т. III (Нижний Новгород, 22–28 авг. 2006). – Нижний Новгород: Изд-во Нижегор. гос. ун-та, 2006. – С.181–182.

Поступила 24.04.08

D.T. Ankudinov, L.T. Raevskaya
Ural State Forest Technical University

Investigation of Design Parameters Influence on Deflected Mode of Air Motor

The influence of section parameters of reinforcing rib on characteristics of deflected mode of air motor piston is investigated.

Keywords: air motor of forest complex, finite-element method ANSYS, design parameters.

УДК 519.16: 625.711.84 + 519.854.2/.6

Г.А. Борисов, В.Д. Кукин

Институт прикладных математических исследований
Карельского НЦ РАН

Борисов Георгий Александрович родился в 1935 г., окончил в 1958 г. Ленинградский политехнический институт, кандидат технических наук, ведущий научный сотрудник лаборатории научно-технических систем Института прикладных математических исследований КарНЦ РАН. Имеет 55 печатных работ в области автоматизированного проектирования лесотранспорта.
E-mail: borisov@krc.karelia.ru

Кукин Валерий Дмитриевич родился в 1942 г., окончил в 1966 г. Горьковский университет, научный сотрудник лаборатории научно-технических систем Института прикладных математических исследований КарНЦ РАН. Имеет 49 печатных работ в области автоматизированного проектирования лесотранспортных сетей.
E-mail: vdkukin@krc.karelia.ru

ОБ ОПТИМИЗАЦИИ ПАРАМЕТРОВ ЛЕСОТРАНСПОРТНЫХ СЕТЕЙ В СОВРЕМЕННЫХ УСЛОВИЯХ

Проблему оптимального проектирования лесотранспортных сетей предложено решать с использованием задачи Штейнера с потоками и зависящими от них весами. Разработаны оригинальная эволюционная модель и ряд алгоритмов, работоспособность которых подтверждается вычислительными экспериментами.

Ключевые слова: лесотранспортная сеть, оптимизация, потоковая задача Штейнера, эволюционная модель.

Социально-политические и экономические потрясения 1990-х гг. привели к резкому снижению объемов заготовки и вывозки леса. Почти прекратилось проектирование и строительство лесовозных дорог. При последующем росте объемов вывозки возможности ранее построенных дорог оказались исчерпаны, и возникла острая необходимость в развитии транспортной сети для освоения лесных массивов. Это стало серьезной финансово-экономической проблемой в условиях роста транспортных тарифов, конкуренции производителей и дефицита инвестиций. Решение проблемы необходимо осуществлять с минимумом затрат, принципиально недостижимым без оптимизации параметров транспортной сети на стадии ее проектирования. В связи с этим определение оптимального варианта лесотранспортной сети особенно актуально в настоящее время.

При развивающихся рыночных отношениях быстро меняются факторы, влияющие на оптимальный выбор параметров сети. Происходят существенные перемены в организации и экономике производственного процесса. Вместо крупных государственных лесозаготовительных появились предприятия разных форм собственности с широким диапазоном варьирования

производственных мощностей и техники. Иными стали основные характеристики выделяемых лесосек: варьируются сроки эксплуатации, уменьшились площади, увеличились их территориальная разбросанность (фрагментарность) и расстояния вывозки леса. Таким образом, рекомендованные ранее отраслевой методикой типовые решения по параметрам лесотранспортных сетей (расстояния между усами и ветками, углы их примыкания) перестали соответствовать характеристикам лесосек.

Кроме того, существенно изменилась методика проектирования. Во-первых, с 1994 г. действует другая методика по оценке эффективности инвестиционных проектов [9], второе, исправленное официальное издание которой вышло в 2000 г. [10]. В ней вместо приведенных используют дисконтированные затраты. Во-вторых, вместо отраслевой классификации лесовозных дорог с подразделением на три категории (магистраль, ветка, ус) применяют классификацию автомобильных дорог общего пользования.

Все это усложнило задачу проектирования сети, хотя ее содержательная формулировка осталась прежней: соединить транспортной сетью фиксированные точки (центры запасов леса) так, чтобы вывезти лес в пункт примыкания к дороге общего пользования с наименьшими затратами на строительство и транспортировку.

Занимаясь задачей оптимизации проектирования лесотранспортной сети с 1970-х гг., мы использовали методы математического моделирования [1]. Однако полученные проектные решения имели серьезный недостаток: развилки размещались только в центрах запасов с заданными координатами, что снижало эффективность полученных решений. Избавиться от этого позволило применение потоковой задачи Штейнера [3] для сети с потоками и зависящими от них весами, согласно которой минимизация затрат достигается добавлением свободно размещаемых развилок (точек Штейнера), не совпадающих с центрами запасов.

Проблема Штейнера принадлежит к классу комбинаторных задач, для которых в принципе невозможно найти оптимальное решение аналитическими методами. Число возможных вариантов сети растет факториально в зависимости от числа центров запасов. Полный перебор вариантов становится невозможным уже при числе центров запасов свыше 12, тогда как в реальных лесосырьевых базах их встречается до нескольких сот. Поэтому мы использовали приближенные эвристические методы поиска решений.

Была разработана методика приложения потоковой задачи Штейнера к транспортным сетям [8], и на ее основе реализована интерактивная система проектирования для персонального компьютера [2]. Система выполняла: преобразование сети, связывающей фиксированные точки, в полное дерево Штейнера с помощью введения свободно размещаемых развилок; выделение и глобальную оптимизацию небольших фрагментов сети; переброску отдельных дуг с перенаправлением потоков; оптимизацию положения развилок с помощью случайного поиска.

Система учитывала возможность работы с лесосырьевыми базами неправильной формы и неравномерным распределением запасов леса.

Она оптимизировала параметры сети: положение развилок, углы примыкания и условия смены категорий дорог. Это позволило снизить затраты на отдельных фрагментах различных сетей от 2 до 27 %. Кроме того, рассчитывали оценки экономической эффективности вариантов очередности строительства в соответствии с методическими рекомендациями [10]. Поиск решения осуществляли в диалоговом режиме работы проектировщика с системой. В результате формировали несколько вариантов проектных решений, что соответствовало возможностям вычислительной техники того времени.

Современный этап развития вычислительной техники связан с появлением нового поколения высокоскоростных персональных компьютеров, многопроцессорных систем, транспьютеров. Особую роль стал играть вычислительный эксперимент как технология исследований. Появились алгоритмы, рассчитанные на проведение параллельных вычислений с помощью многопроцессорных систем.

Оказались востребованы и новые методы решения задач оптимизации. Активно используется методология эволюционного моделирования: генетические, эволюционные и композитные алгоритмы. Их характерной особенностью является имитация эволюции биологической популяции как смены поколений, для формирования которых применяют генетические операторы. Особи популяции соответствуют вариантам решений задачи оптимизации, а оценки их приспособленности – значениям целевой функции.

Важное достоинство этих методов состоит в том, что их можно применять к задачам с произвольными целевыми функциями. Для транспортных сетей целевая функция аппроксимируется кусочно-линейной многопараметрической и многоэкстремальной. Благодаря случайным действиям генетических операторов, методы успешно справляются с многоэкстремальностью. В результате автоматического перебора вариантов формируется совокупность хороших решений. Человека можно привлекать только для выбора варианта из найденных решений, учитывая усложняющие факторы современных условий, а поисковый процесс продолжать от любой точки останова. Эти аргументы оказались существенными в связи с эволюционным подходом к решению потоковой задачи Штейнера.

В общем случае основные этапы исследования проблемы представляют цепочку: объект – задача – модель – алгоритм – программа – решение. В настоящее время, когда резко возросла производительность вычислительной техники, наблюдаются существенные изменения во всех звеньях этой цепочки, начиная с модели, построение которой остается центральным звеном.

Содержательная формулировка задачи оптимального проектирования лесотранспортных сетей не изменилась. Поэтому мы решаем ее с помощью потоковой задачи Штейнера при прежних технологических допущениях, но разработали для нее оригинальную эволюционную модель [7]. Несмотря на обширную литературу по применению методов эволюционного моделирования [11, 4], нет опыта их приложения к потоковой задаче Штейнера. Мы использовали его отдельные приемы и свой опыт создания интерактивной системы. Было также разработано семейство оригинальных

генетических операторов [5], которые, в отличие от стандартных операторов, больше ориентированы на специфику решаемой задачи и позволяют строить эффективные алгоритмы.

На модели построен ряд композитных алгоритмов с разными схемами применения генетических операторов. Для проверки алгоритмов использовали тестовые задачи из Интернет-библиотеки и задачи из практики проектирования, решения которых получены в интерактивной системе. По результатам вычислительного эксперимента [6] отбирали несколько алгоритмов, имеющих практическую ценность и обеспечивающих устойчивый поиск качественных решений. Для тестовых задач находили указанные в Интернет-библиотеке рекордные значения целевой функции. Для задач из практики проектирования они были повторены или улучшены. Время нахождения решений оказалось приемлемым.

Алгоритмы реализованы для персонального компьютера, но их можно сравнительно легко перепрограммировать для многопроцессорных систем.

Для класса комбинаторных задач, к которому относится потоковая, нет методов, гарантирующих определение точного оптимума. Но методы эволюционного моделирования позволяют находить субоптимальные решения.

Мы исследовали распределение числа решений по значениям целевой функции для задач с числом центров запасов более 8. При проведении вычислительного эксперимента из огромного числа решений потоковой задачи удалось просмотреть лишь часть, но и она выражается четырехзначным числом. По мере накопления статистического материала все заметнее проявлялись закономерности распределения, приблизительный вид которого показан на рис.1. В какой-то мере график отражает характер распределения вероятностей того, что случайное решение попадет в точку с конкретным значением целевой функции.

На графике можно условно выделить несколько областей. Подавляющее большинство решений располагается в средней области (*c*) кривой, верхняя граница которой выходит далеко за пределы рисунка. Слева на графике – разреженная область (*a*), где расположены лучшие (субоптимальные) решения. В области (*b*) хороших решений мы видим более крутую кривую, чем в области (*d*) плохих решений. Область (*e*) очень плохих решений, как и (*a*), – разреженная.

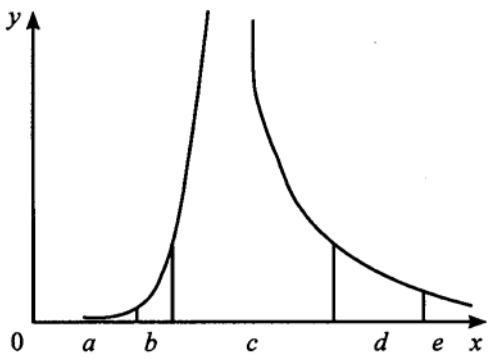


Рис. 1. Распределение числа решений в зависимости от значений целевой функции: *x* – значение целевой функции; *y* – число решений

Сравнительно малое число плохих и очень плохих решений объясним. В общей массе

купности очень много плохих топологий с точки зрения геометрии. Но после оптимизации положения точек Штейнера (развилок) большая часть сетей с плохими топологиями попадает в область (*c*) средних решений. В этих деревьях много сильно запутанных узлов с большим числом вырожденных дуг.

При поиске решений необходимо попасть в область (*a*) субоптимальных решений. В разработанных нами алгоритмах это достигается применением генетических операторов, использующих оригинальные эвристики. Левую точку глобального минимума в силу специфики задачи указать невозможно.

На рис. 2 приведены разные по конфигурации схемы транспортной сети для лесосырьевой базы на 250 центров запасов с пунктом примыкания в точке 1. Они получены с помощью одного из композитных алгоритмов и имеют близкие значения целевой функции. Отличия состоят в том, что на рис. 2, *а* представлена сеть с чуть меньшим значением целевой функции, на рис. 2, *б* – с несколько меньшей общей длиной дорог. Оба варианта могут быть взяты как проектные решения. Дело экспертов – определить конкретные приоритеты.

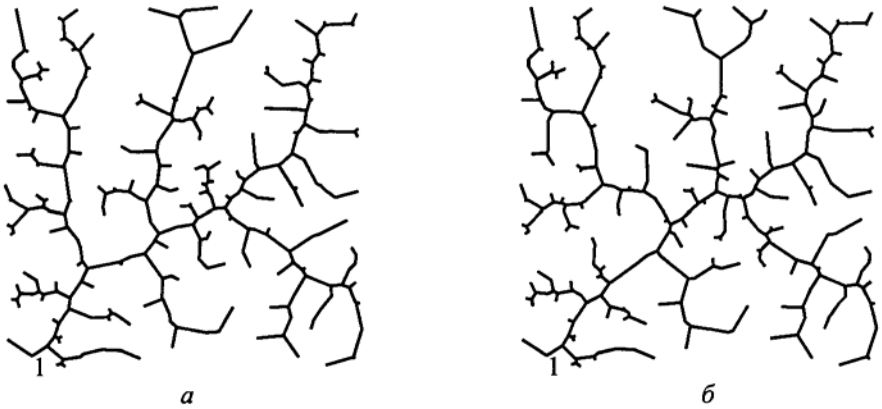


Рис. 2. Схема сети для 250 центров запасов: *а* – вариант 1; *б* – вариант 2

В результате сравнения решений потоковой задачи, полученных разными методами, выяснилось следующее. Применяя стандартные методы последовательного поиска улучшений, можно попасть из области (*c*) в (*b*), но в область (*a*) такой поиск, как правило, не приводит. Эволюционный поиск, используемый в разработанных нами композитных алгоритмах, с большой вероятностью способен привести в область (*a*) субоптимальных решений.

Выводы

Актуальная в настоящее время проблема оптимизации параметров лесотранспортных сетей может решаться с помощью задачи Штейнера с по-

токами и зависящими от них весами с использованием методологии эволюционного моделирования.

Для решения этой задачи разработана оригинальная эволюционная модель и генетические операторы. На модели построено семейство алгоритмов. Тестирование показало их практическую пригодность для оптимизации транспортных сетей в лесосырьевых базах, содержащих несколько сотен центров запасов.

Алгоритмы реализованы для однопроцессорной вычислительной системы, но структура позволяет переработать их в алгоритмы нового поколения, рассчитанные на проведение параллельных вычислений в многопроцессорных системах.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Борисов, Г.А.* Методы автоматизированного проектирования лесотранспорта [Текст] / Г.А. Борисов. – Петрозаводск: Карелия, 1978. – 198с.

2. *Борисов, Г.А.* Методы поиска наивыгоднейшего варианта сети лесовозных дорог [Текст] / Г.А. Борисов, В.Д. Кукин, В.И. Кузина // Лесн. журн. – 2001. – № 3. – С. 63–70. – (Изв. высш. учеб. заведений).

3. *Гилберт, Э.Н.* Минимальные деревья Штейнера [Текст] / Э.Н. Гилберт, Г.О. Поллак // Кибернетич. сб. Новая серия. – М.: Мир, 1971. – Вып. 8. – С. 19–50.

4. *Емельянов, В.В.* Теория и практика эволюционного моделирования [Текст] / В.В. Емельянов, В.В. Курейчик, В.И. Курейчик. – М.: Физматлит, 2003. – 432с.

5. *Кукин, В.Д.* Генетические алгоритмы и задача Штейнера с потоками и весами: подход к проблеме [Текст] / В.Д. Кукин // Методы математического моделирования и информационные технологии: тр. ИПМИ КарНЦ РАН.– Петрозаводск, 2002. – Вып. 3.– С. 170–177.

6. *Кукин, В.Д.* Некоторые параметры эволюционной модели для потоковой задачи Штейнера [Текст] / В.Д. Кукин // Там же. – Петрозаводск, 2005. – Вып. 6. – С. 187–192.

7. *Кукин, В.Д.* Эволюционная модель для решения потоковой задачи Штейнера [Текст] / В.Д. Кукин // Там же. – Петрозаводск, 2004. – Вып. 5. – С. 200–211.

8. *Кукин, В.Д.* Методика решения задачи Штейнера с потоками и весами [Текст] / В.Д. Кукин, В.И. Кузина // Там же. – Петрозаводск, 2000. – Вып. 2. – С. 143–150.

9. Методические рекомендации по оценке эффективности инвестиционных проектов и их отбору для финансирования [Текст] /Утв. Госстроем России, Минэкономики РФ, Минфином РФ, Госпромом России 31 марта 1994 г. № 7-12/47.

10. Методические рекомендации по оценке инвестиционных проектов: офиц. изд. [Текст]. – 2-я ред. / Руковод. В.В. Коссов, В.И. Лившиц, А.Г. Шахназаров. – М.: ОАО НПО Изд. Экономика, 2000. – 421с.

11. *Редько, В.Г.* Эволюционная кибернетика [Текст] / В.Г. Редько. – М.: Наука, 2001. – 156 с.

Поступила 21.08.06

G.A. Borisov,V.D. Kukin
Institute of Applied Mathematic Research, Karelian Research Centre RAS

5 **ptimization of Forest Road Network Parameters under Contemporary Conditions**

It is suggested to use Steiner problem with flows and weighs depending on them for solving the problem of optimal design of forest road networks. The original evolution model and a number of algorithms are developed with efficiency confirmed by computing experiments.

Keywords: forest-transport network, optimization, flow-oriented problem of Steiner, evolution model.

УДК 630*383

В.М. Заложных, В.П. Бычков

Воронежская государственная лесотехническая академия

Заложных Виктор Михайлович родился в 1938 г., окончил в 1961 г. Воронежский лесотехнический институт, кандидат технических наук, доцент кафедры управления производством Воронежской государственной лесотехнической академии. Имеет более 100 печатных работ по лесному транспорту.

E-mail: vglta@ vglta.vrn.ru

Бычков Владимир Петрович родился в 1941 г., окончил в 1965 г. Московский инженерно-экономический институт, доктор экономических наук, профессор, заведующий кафедрой управления производством Воронежской государственной лесотехнической академии, заслуженный работник высшей школы. Имеет более 250 печатных работ в области экономики транспорта.
E-mail: vglta@ vglta.vrn.ru

ПРЕДЕЛЬНЫЕ ГРУЗООБОРОТЫ ГРУНТОВЫХ И ЗИМНИХ ЛЕСОВОЗНЫХ ДОРОГ

На основе технико-экономического анализа приведены методика и расчетные формулы для определения предельных годовых грузооборотов, при которых экономически целесообразна вывозка древесины на базе грунтовых и зимних дорог.

Ключевые слова: дорога, покрытие, грузооборот, автопоезд, зимняя вывозка, летняя вывозка, стоимость, удельные затраты, склад.

В лесной отрасли более половины всех автомобильных лесовозных дорог устраивают без покрытия. Вследствие этого основная доля годового объема древесины, вывозимой по грунтовым дорогам, приходится на зимний период. Некоторые предприятия занимаются вывозкой исключительно в зимний период, что позволяет существенно экономить средства на строительство дорог. Однако при этом появляется необходимость в дополнительных средствах на оборудование промежуточного склада для создания запаса хлыстов в целях последующей их переработки в летнее время, доставку древесины с промежуточного склада до места ее разделки, а также неизбежны убытки от простоя подвижного состава. С увеличением объема вывозки эти затраты возрастают, и при определенном объеме перевозимой древесины транспортные работы становятся нерентабельными.

Целью статьи является разработка методики определения экономически целесообразных максимальных объемов вывозки древесины по грунтовым и зимним дорогам. Приняв одинаковые условия работы, сравним затраты на производство лесозаготовительных и транспортных работ на дорогах грунтовой и с переходным типом покрытия, самых распространенных в лесозаготовительной отрасли. Дороги с усовершенствованными покрытиями строят для больших объемов вывозки древесины, что заранее определяет неконкурентоспособность грунтовых и зимних сезонных дорог.

При вывозке древесины по грунтовой дороге общие удельные приведенные затраты на 1 м^3 древесины за год можно представить формулой

$$Z = Z_{в} + Z_{ус} + Z_{а.р} + Z_{т.р} + Z_{а.п} + Z_{т.п} + Z_{с} + Z_{п} + Z_{с.п}, \qquad (1)$$

где $Z_{в}$, $Z_{ус}$ – удельная стоимость строительства и содержания веток и усов, р./м^3;

$Z_{а.р}$, $Z_{т.р}$ – удельные затраты на содержание автомобилей и трелевочных тракторов в работе, р./м^3;

$Z_{а.п}$, $Z_{т.п}$ – удельная стоимость простоя автопоездов и трелевочных тракторов, р./м^3;

$Z_{с}$ – удельные затраты на содержание резервного склада вблизи нижнего склада с учетом затрат на перегрузку и доставку древесины от места хранения до нижнего склада, р./м^3;

$Z_{п}$ – удельные затраты на приобретение автопоездов и трелевочных тракторов, р./м^3;

$Z_{с.п}$ – удельная приведенная стоимость резервного склада, р./м^3.

Для упрощения примем производительность машин на валке и трелевке одинаковой в зимнее и летнее время. Средневзвешенную производительность автопоездов на вывозке древесины по грунтовым дорогам и дорогам с переходным типом покрытия обозначим соответственно через $П_{а}^{г}$ и $П_{а}^{п}$, а средневзвешенную стоимость машино-смены через $M_{а}^{г}$ и $M_{а}^{п}$.

Тогда значения $Z_{а.р}$ для первого варианта можно выразить как $Z_{а.р}^{г} = M_{а}^{г} / П_{а}^{г}$, для второго $Z_{а.р}^{п} = M_{а}^{п} / П_{а}^{п}$.

Остальные затраты, входящие в формулу (1), определяют следующим образом:

$$Z_{в} = \frac{1}{100\gamma Q_{г}}\left[\left(\frac{C_{в.з} + B_{в.з}}{d_{в.з}}\right)Q_{з} + \left(\frac{C_{в.л} + B_{в.л}}{d_{в.л}}\right)Q_{л}\right]; \qquad (2)$$

$$Z_{ус} = \frac{1}{100\gamma Q_{г}}\left(\frac{C_{ус.з}Q_{з}}{d_{ус.з}} + \frac{C_{ус.л.}Q_{л}}{d_{ус.л}}\right); \qquad (3)$$

$$Z_{т.р} = \frac{M_{т}}{П_{т}}; \qquad (4)$$

$$Z_{а.п} = \frac{M_{а.п}Q_{з}A_{пр}}{Q_{г}П_{а}A_{з}}; \qquad (5)$$

5*

$$Z_{т.п} = \frac{M_{т.п}A_{пр}Q_{з}}{Q_{г}П_{т}A_{з}}; \qquad (6)$$

$$Z_{п} = \frac{E_{н}Q_{з}}{A_{з}Q_{г}}\left(\frac{Ц_{т}}{П_{т}} + \frac{Ц_{а}}{П_{а}}\right); \qquad (7)$$

$$Z_{с.п} = \frac{E_{н}C_{с}}{Q_{г}}. \qquad (8)$$

В этих формулах и далее:

$C_{в.з}$, $B_{в.з}$ – стоимость строительства и содержания 1 км зимних веток, р.;

$C_{в.л}$, $B_{в.л}$ – то же летних веток, р.;

$C_{ус.з}$, $C_{ус.л}$ – стоимость строительства 1 км зимних и летних усов, р.;

$d_{ус.з}$, $d_{ус.л}$ – среднее расстояние между зимними и летними усами, км;

γ – средний ликвидный запас древесины на 1 га, м^3;

$d_{в.з}$, $d_{в.л}$ – среднее расстояние между зимними и летними ветками, км;

$Q_г$, $Q_з$, $Q_л$ – объем древесины, вывозимой за год, в зимнее и летнее время, м^3;

$A_{пр}$ – число рабочих дней простоя дороги, $A_{пр} = A_г - (A_з + A_л)$, ($A_г$, $A_з$, $A_л$ – число рабочих дней в году, зимнем и летнем сезоне);

$M_а$, $M_т$ – стоимость машино-смены работы автомобиля и трелевочного трактора, р;

$M_{а.п}$, $M_{т.п}$ – стоимость машино-смены простоя автопоезда и трелевочного трактора, р.;

$П_а$, $П_т$ – средняя сменная производительность автомобиля и трактора в зимний период, м^3/см;

$E_н$ – нормативный коэффициент эффективности капитальных затрат;

$Ц_а$, $Ц_т$ – стоимость автопоезда и трелевочного трактора вместе с затратами на постройку гаражей, р.;

$C_с$ – стоимость резервного склада, р.

Приведенные формулы пригодны при односменном режиме работы. Для варианта вывозки древесины по дороге с переходным типом покрытия не учитываем затраты на содержание неработающих автопоездов и трелевочных тракторов, полагая их достаточно полную занятость. Перерыв в работе в период весенней распутицы принимаем во внимание при назначении общего числа рабочих дней в году $A_г$, что позволяет не учитывать затраты на простой машин в этот период, равные для обоих вариантов. Во втором варианте добавляются приведенные затраты на сооружение дорожной одежды и амортизационные отчисления на нее. Первые составляют:

$$Z_{д.о} = \frac{E_н C_{д.о} L}{Q_г}. \qquad (9)$$

Амортизационные отчисления, приходящиеся на 1 м^3 вывозимой древесины:

$$Z_{ам} = \frac{n C_{д.о.} L}{100 Q_г}, \qquad (10)$$

где $C_{д.о}$ – стоимость сооружения 1 км дорожной одежды, р.;

n – процент амортизационных отчислений от стоимости дорожной одежды;

L – длина магистрали, км.

Вывозка древесины по грунтовой дороге экономически оправдана при условии, что приведенные затраты на ее осуществление ниже, чем при вывозке по дороге с переходным покрытием. Приняв для второго варианта те же обозначения (отличия с чертой сверху), запишем неравенство $Z_{гр}<Z_{п}$, где $Z_{гр}$, $Z_{п}$ – суммарные удельные затраты на вывозку древесины по дорогам грунтовой и переходного типа:

$$\frac{1}{100\gamma Q_г}\left[\frac{(C_{в.з}+B_{в.з})Q_з}{d_{в.з}}+\frac{(C_{в.л}+B_{в.л})Q_л}{d_{в.л}}+\frac{C_{ус.з}Q_з}{d_{ус.з}}+\frac{C_{ус.л}Q_л}{d_{ус.л}}\right]+\frac{M_а^г}{П_а^г}+$$

$$+\frac{Q_з A_{пр}}{A_з Q_г}\left(\frac{M_а}{П_а}+\frac{M_{т.п}}{П_т}\right)+Z_с+\frac{E_н Q_з}{A_з Q_г}\left(\frac{Ц_т}{П_т}+\frac{Ц_а}{П_а}\right)+\frac{E_н C_с}{Q_г}<$$

$$<\frac{1}{100\gamma Q_г}\left[\frac{(C_{в.з}+B_{в.з})\overline{Q}_з}{d_{в.з}}+\frac{(\overline{C}_{в.л}+\overline{B}_{в.л})\overline{Q}_л}{\overline{d}_{в.л}}+\frac{C_{ус.з}\overline{Q}_з}{d_{ус.з}}+\frac{C_{ус.л}\overline{Q}_л}{d_{ус.л}}\right]+\frac{M_а^п}{П_а^п}+$$

$$+\frac{E_н\overline{Q}_з}{A_з Q_г}\left(\frac{Ц_т}{П_т}+\frac{Ц_а}{П_а}\right)+\frac{C_{д.о}L}{Q_г}(E_н+0{,}01n). \qquad (11)$$

Из последнего неравенства можно определить экономически оправданное предельное значение годового грузооборота при вывозке древесины по грунтовой дороге:

$$\text{где } \Theta=\frac{1}{100\gamma}\left[\frac{(C_{в.з}+B_{в.з})}{d_{в.з}}(\overline{Q}_з-Q_з)+\frac{(\overline{C}_{в.л}+\overline{B}_{в.л})\overline{Q}_л}{\overline{d}_{в.л}}-\frac{(C_{в.л}+B_{в.л})Q_л}{d_{в.л}}+\right.$$

$$\left.+\frac{C_{ус.з}}{d_{ус.з}}(\overline{Q}_з-Q_з)+\frac{C_{ус.л}}{d_{ус.л}}(\overline{Q}_л-Q_л)\right]+\frac{E_н}{A_з}\left(\frac{Ц_т}{П_т}+\frac{Ц_а}{П_а}\right)(\overline{Q}_з-Q_л)+$$

$$+E_н C_{д.о}L(1+0{,}01n)-E_н C_с-\frac{Q_з A_{пр}}{A_з}\left(\frac{M_{а.п}}{П_а}+\frac{M_{т.п}}{П_т}\right).$$

$$Q_г<\frac{\Theta}{Z_с+\frac{M_а^г}{П_а^г}-\frac{M_а^п}{П_а^п}}, \qquad (12)$$

Для условий вывозки только в зимнее время можно также определить предельный грузооборот зимней лесовозной дороги, принимая по первому варианту $Q_з= Q_г$ и исключая затраты на строительство летней сети дорог. Производительность автопоездов на вывозке по зимним дорогам в

соответствии с «Общесоюзными нормами технологического проектирования лесозаготовительных предприятий (ОНТП 02-85)» принимают равной производительности на вывозке по дорогам переходного типа. Стоимость машино-смены автопоезда в сравниваемых вариантах принята одинаковой.

Целесообразность вывозки только в зимний период подтверждает неравенство

$$\frac{1}{100\gamma}\left(\frac{C_{\text{в.з}}+B_{\text{в.з}}}{d_{\text{в.з}}}+\frac{C_{\text{ус.з}}}{d_{\text{ус.з}}}\right)+Z_{\text{с}}+\frac{E_{\text{н}}}{A_{\text{з}}}\left(\frac{Ц_{\text{т}}}{П_{\text{т}}}+\frac{Ц_{\text{а}}}{П_{\text{а}}}\right)+$$

$$+\frac{1}{Q_{\text{г}}}(E_{\text{н}}C_{\text{с}}+C_{\text{м.з}}L+B_{\text{м.з}}L)+\frac{A_{\text{пр}}}{A_{\text{з}}}\left(\frac{M_{\text{а.п}}}{П_{\text{а}}}+\frac{M_{\text{т.п}}}{П_{\text{т}}}\right)<$$

$$<\frac{1}{100\gamma Q_{\text{г}}}\left[\frac{(C_{\text{в.з}}+B_{\text{в.з}})\overline{Q}_{\text{з}}}{d_{\text{в.з}}}+\frac{(\overline{C}_{\text{в.л}}+\overline{B}_{\text{в.л}})\overline{Q}_{\text{л}}}{\overline{d}_{\text{в.л}}}+\frac{C_{\text{ус.з}}\overline{Q}_{\text{з}}}{d_{\text{ус.з}}}+\frac{C_{\text{ус.л}}\overline{Q}_{\text{л}}}{d_{\text{ус.л}}}\right]+$$

$$+\frac{1}{Q_{\text{г}}}\left[\frac{E_{\text{н}}Q_{\text{з}}}{A_{\text{з}}}\left(\frac{Ц_{\text{т}}}{П_{\text{т}}}+\frac{Ц_{\text{а}}}{П_{\text{а}}}\right)+C_{\text{д.о}}L(E_{\text{н}}+0{,}01n)+B_{\text{м.л}}L\right]. \qquad (13)$$

Экономически выгодный грузооборот для предприятий с сезонной зимней вывозкой древесины находят по выражению

$$Q_{\text{г}}<\frac{\alpha}{\beta}, \qquad (14)$$

где $\alpha=\frac{1}{100\gamma}\left[\frac{(C_{\text{в.з}}+B_{\text{в.з}})\overline{Q}_{\text{з}}}{d_{\text{в.з}}}+\frac{(\overline{C}_{\text{в.л}}+\overline{B}_{\text{в.л}})\overline{Q}_{\text{з}}}{\overline{d}_{\text{в.л}}}+\frac{C_{\text{ус.з}}\overline{Q}_{\text{з}}}{d_{\text{ус.з}}}+\frac{C_{\text{ус.л}}\overline{Q}_{\text{л}}}{d_{\text{ус.л}}}\right]+$

$$+\frac{E_{\text{н}}\overline{Q}_{\text{з}}}{A_{\text{з}}}\left(\frac{Ц_{\text{т}}}{П_{\text{т}}}+\frac{Ц_{\text{а}}}{П_{\text{а}}}\right)+C_{\text{д.о}}L(E_{\text{н}}+0{,}01n)+B_{\text{м.л}}L-E_{\text{н}}C_{\text{с}}-(C_{\text{м.з}}+B_{\text{м.з}})L;$$

$$\beta=\frac{1}{100\gamma}\left(\frac{C_{\text{в.з}}+B_{\text{в.з}}}{d_{\text{в.з}}}+\frac{C_{\text{ус.з}}}{d_{\text{ус.з}}}\right)+Z_{\text{с}}+\frac{E_{\text{н}}}{A_{\text{з}}}\left(\frac{Ц_{\text{т}}}{П_{\text{т}}}+\frac{Ц_{\text{а}}}{П_{\text{а}}}\right)+\frac{A_{\text{пр}}}{A_{\text{з}}}\left(\frac{M_{\text{а.п}}}{П_{\text{а}}}+\frac{M_{\text{т.п}}}{П_{\text{т}}}\right).$$

В удельные затраты при зимней вывозке включены стоимости строительства магистрали зимней дороги протяженностью L км, что составляет $C_{\text{м.з}}L/Q_{\text{г}}$, где $C_{\text{м.з}}$ – стоимость строительства 1 км зимней дороги. Кроме того, учтены удельные затраты на содержание магистрали, которые находят из соотношения $B_{\text{м.з}}L/Q_{\text{г}}$ и $B_{\text{м.л}}L/Q_{\text{г}}$, где $B_{\text{м.з}}$ и $B_{\text{м.л}}$ – стоимость содержания 1 км магистральных дорог зимнего и круглогодового действия.

Выводы

Полученные формулы (12) и (14) позволяют для условий конкретного предприятия определить предельные значения годового грузооборота, при которых обеспечивается экономическая целесообразность вывозки древесины по грунтовым и зимним дорогам.

Поступила 18.09.07

V.M. Zalozhnykh, V.P. Bychkov
Voronezh State Forestry Engineering

Limiting Freight Turnover of Soil and Winter Wood Tracks

Technique and design equations for determining limiting annual freight turnovers are provided based on the feasibility study, wood removal being economically feasible when using soil and winter wood tracks.

Keywords: road, surface, freight turnover, truck train, winter removal, summer removal, cost per unit, storehouse.

УДК 630*380:674

А.Н. Заикин

Брянская государственная инженерно-технологическая академия

Заикин Анатолий Николаевич родился в 1949 г., окончил в 1975 г. Брянский технологический институт, кандидат технических наук, профессор кафедры технического сервиса Брянской государственной инженерно-технологической академии, действительный член МАНЭБ. Имеет более 140 печатных работ в области совершенствования техники и технологии лесозаготовок.
E-mail: mail@bgita.ru

МОДЕЛИРОВАНИЕ РЕЖИМОВ РАБОТЫ ЛЕСОСЕЧНЫХ МАШИН

Приведены графическая и аналитические модели расчета режимов работы лесосечных машин, обеспечивающие максимальную выработку комплекта в целом и снижение продолжительности разработки лесосеки с учетом подключения дополнительных машин на отстающих операциях.

Ключевые слова: лесосечные машины, аналитические модели, режимы работы, максимальная выработка, запасы древесины, дополнительные машины.

Анализ работы лесосечных машин показал, что практически невозможно подобрать число машин в комплекте так, чтобы их производительность на всех операциях была одинаковой. Несбалансированность объемов выработки, как известно, приводит к простоям наиболее производительных машин и снижению общего объема их выработки до минимального. Общий объем выработки всего комплекта машин должен быть равен или близок к максимальному, выполняемому головной машиной, при минимизации экономических затрат и вредного воздействия на лесные экосистемы.

Существующие методики [1–3, 5, 6], которые сводятся в основном к определению объемов запасов между двумя операциями, практически не дают возможности рассчитать их между операциями, а также время пополнения запасов и выработки (режимы работы машин).

Проведенные нами исследования [4] показали два варианта несоответствия объемов выработки на смежных операциях. В первом объем выработки машин на предыдущей i-й операции больше, чем на последующей s-й ($Q_i > Q_s$); во втором наоборот. Графическая модель пополнения и выработки объемов оперативных запасов для этих вариантов с учетом подключения дополнительных машин на отстающих операциях в конце расчетного месяца представлена на рис. 1.

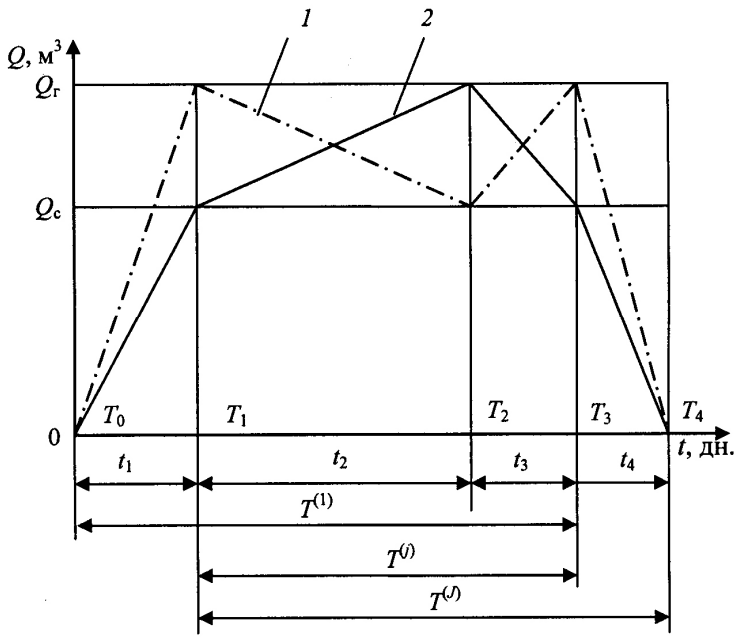


Рис. 1. Изменение запасов древесины в течение периода разработки лесосеки в зависимости от соотношения объемов их пополнения и выработки: *1* – $Q_i < Q_s$; *2* – $Q_i > Q_s$

Первый месяц ($T_п^1$) разработки лесосеки включает число дней: t_1 – необходимое для создания запасов; t_2 – для их пополнения и выработки основными машинами без подключения дополнительных; t_3 – совместной работы основных и дополнительных машин. Второй и j-й месяцы ($T_п^j$) (в расчетном периоде j = 1, 2, 3, ..., J мес) содержат число дней t_2 и t_3 работы соответственно только основного оборудования, а также основного и дополнительного. Последний месяц ($T_п^J$) характеризуется числом дней t_2, t_3, t_4, где t_4 – число дней, необходимое основным s-м машинам (вырабатывающим запасы), для реализации последних после перебазирования i-х машин (пополняющих запасы) на новую лесосеку.

Время T_1 соответствует началу совместной работы основных машин на предыдущей операции с объемом пополнения запасов Q_i и последующей с объемом их выработки Q_s. Если $Q_i < Q_s$, объемы запасов с момента T_1 начнут уменьшаться (рис.1, кривая *1*), а если $Q_i > Q_s$ – увеличиваться (рис.1, кривая *2*). Для ограничения роста (снижения) объемов запасов необходимо на отстающих операциях в момент времени T_2 подключать дополнительные машины (с объемом пополнения запасов Q_{iD} или выработки Q_{sD}) либо увеличивать число смен работы основных машин. После изменения численно-

сти или сменности работы s-х машин при $Q_i > Q_s$ объем выработки запаса увеличится до $Q_s^{(D)} = Q_s + Q_{sD}$, что должно быть больше объема пополнения $(Q_i < Q_s^{(D)})$. Тогда объем запасов начнет снижаться и за время t_3 достигнет уровня страхового запаса $Q_с$ (момент T_3).

После подключения дополнительных машин, изменения численности или сменности работы i-х машин при $Q_i < Q_s$ объем пополнения запаса увеличится до $Q_i^{(D)} = Q_i + Q_{iD}$, что должно быть больше объема выработки $(Q_i^{(D)} > Q_s)$. Тогда объем запасов начнет расти и за время t_3 достигнет гарантийного уровня $Q_г$ (момент T_3). Такой режим работы лесосечных машин дает возможность начать второй и j-й месяц разработки лесосеки, имея оперативный запас $Q_с$ при $Q_i > Q_s$ или $Q_г$ при $Q_i < Q_s$.

В соответствии с рис.1 и анализом общепринятого показателя отчетности – числом дней работы машин – нами получены математические модели для определения гарантийного уровня оперативного запаса ($Q_г$) в зависимости от объемов его пополнения и выработки, с учетом подключения дополнительных машин на отстающей операции:

при $Q_i < Q_s$

$$Q_г = \frac{[T_п^{(1)}(Q_s - Q_i)(Q_i^{(D)} - Q_s) + Q_с Q_{iD}]\, Q_i}{(Q_s - Q_i)(Q_i^{(D)} - Q_s) + Q_i Q_{iD}}; \qquad (1)$$

при $Q_i > Q_s$

$$Q_г = \frac{(T_п^{(1)} Q_i - Q_с)(Q_i - Q_s)(Q_s^{(D)} - Q_i) + Q_с Q_i Q_{sD}}{Q_i Q_{sD}}. \qquad (2)$$

Полученные математические модели (1) и (2) позволяют определить режимы работы, в частности объем гарантийного уровня оперативных запасов между парой операций с учетом максимальной выработки на одной из них и подключением дополнительных машин на отстающей операции в конце планируемого месяца. Для расчета режимов работы комплекта машин, имеющего более двух операций, необходимо применять те же формулы, но с учетом максимальной выработки на одной из операций, т. е. максимальной выработки комплекта машин (Q_{max}). Поэтому модели (1) и (2) для первого месяца разработки лесосеки примут вид:

при $Q_i < Q_s$

$$Q_г = \frac{[T^{(1)}(Q_{max} - Q_i)(Q_i^{(D)} - Q_{max}) + Q_с Q_{iD}]\, Q_i}{(Q_{max} - Q_i)(Q_i^{(D)} - Q_{max}) + Q_i Q_{iD}}; \qquad (3)$$

при $Q_i > Q_s$

$$Q_г = \frac{(T^{(1)} Q_{max} - Q_с)(Q_{max} - Q_s)(Q_s^{(D)} - Q_{max}) + Q_с Q_{max} Q_{sD}}{Q_{max} Q_{sD}}. \qquad (4)$$

Математические модели для определения объемов запасов в другие месяцы:

- для второго и последующих j-х месяцев:

при $Q_i > Q_s$

$$Q_{\text{г}} = \frac{T^{(j)}\left(Q_{\max} - Q_s\right)\left(Q_s^{(D)} - Q_{\max}\right) + Q_{\text{с}} Q_{sD}}{Q_{sD}}; \quad (5)$$

при $Q_i < Q_s$

$$Q_{\text{г}} = \frac{T^{(j)}\left(Q_{\max} - Q_i\right)\left(Q_i^{(D)} - Q_{\max}\right) + Q_{\text{с}} Q_{iD}}{Q_{iD}}, \quad (6)$$

- для последнего J-го месяца:

при $Q_i < Q_s$

$$Q_{\text{г}} = \frac{[T^{(J)}\left(Q_{\max} - Q_i\right)\left(Q_i^{(D)} - Q_{\max}\right) + Q_{\text{с}} Q_{iD}]\ Q_{\max}}{\left(Q_{\max} - Q_i\right)\left(Q_i^{(D)} - Q_{\max}\right) + Q_{\max} Q_{iD}}; \quad (7)$$

при $Q_i > Q_s$

$$Q_{\text{г}} = \frac{\left(T^{(J)} Q_s - Q_{\text{с}}\right)\left(Q_{\max} - Q_s\right)\left(Q_s^{(D)} - Q_{\max}\right) + Q_{\text{с}} Q_s Q_{sD}}{Q_s Q_{sD}}. \quad (8)$$

Полученные математические модели (3) – (8) дают возможность определить гарантийный уровень оперативных запасов между каждой парой операций, обеспечивающих бесперебойную работу транспортно-технологического потока комплекта лесосечных машин. Для того чтобы оперативные запасы не превышали предельного значения, необходимо знать, когда и какое дополнительное техническое средство требуется подключать к основному комплекту машин (или на сколько дней необходимо увеличить время работы основного оборудования).

Математические модели для определения продолжительности работы дополнительного оборудования с учетом максимальной выработки комплекта машин в различных условиях их эксплуатации имеют следующий вид.

При $Q_i < Q_s$ для первого месяца

$$t_3^{(1)} = \frac{\left(T^{(1)} Q_i - Q_{\text{г}}\right)\left(Q_{\max} - Q_i\right)}{Q_i Q_{iD}}; \quad (9)$$

для второго и j-го месяца

$$t_3^{(j)} = \frac{T^{(j)}\left(Q_{\max} - Q_i\right)}{Q_{iD}}; \quad (10)$$

для последнего J-го месяца

$$t_3^{(J)} = \frac{\left(T^{(J)} Q_{\max} - Q_{\text{г}}\right)\left(Q_{\max} - Q_i\right)}{Q_{\max} Q_{iD}}. \quad (11)$$

При $Q_i > Q_s$ для первого месяца

$$t_3^{(1)} = \frac{\left(T^{(1)} Q_{\max} - Q_{\text{г}}\right)\left(Q_{\max} - Q_s\right)}{Q_{\max} Q_{sD}}; \quad (12)$$

для второго и j-го месяца

$$t_3^{(j)} = \frac{T^{(j)}\left(Q_{\max} - Q_s\right)}{Q_{sD}}; \qquad (13)$$

для последнего J-го месяца

$$t_3^{(J)} = \frac{\left(T^{(J)}Q_s - Q_г\right)\left(Q_{\max} - Q_s\right)}{Q_s Q_{sD}}. \qquad (14)$$

Полученные математические модели (3)–(8) и (9)–(14) позволяют определить режимы работы комплекта машин с учетом их максимальной выработки в конкретных производственных условиях.

Таблица 1

Средний объем хлыста, м^3	Марка оборудования	Продолжительность работы дополнительного оборудования, дн., в зависимости от годового объема производства, тыс. м^3								
		12	14	16	18	20	22	24	26	28
0,22…0,29	МП-5	10,7	12,5	14,2	16,0	17,8	19,6	21,4	23,2	24,9
	Тайга-214	57,2	66,8	76,3	85,9	95,4	105,0	114,0	124,0	134,0
0,30…0,39	МП-5	6,3	7,4	8,4	9,5	10,5	11,6	12,6	13,7	14,7
	Тайга-214	45,6	53,2	60,8	68,4	76,0	83,6	91,2	98,8	106,0
0,40…0,49	ТТ-4	4,3	5,0	5,7	6,4	7,1	7,8	8,5	9,2	10,0
	Тайга-214	36,5	42,6	48,7	54,8	60,9	67,0	73,1	79,2	85,2
0,50…0,75	ТТ-4	14,0	16,4	18,7	21,1	13,4	25,7	28,1	30,4	32,8
	Тайга-214	32,2	37,5	42,9	48,2	53,6	58,9	64,3	69,7	75,0
0,76…1,10	ТТ-4	21,1	24,6	28,1	31,6	35,2	38,7	42,2	45,7	49,2
	Тайга-214	25,7	30,0	34,3	38,6	42,9	47,2	51,5	55,8	60,1
> 1,10	ТТ-4	24,2	28,2	32,2	36,3	40,3	44,3	48,3	52,4	56,4
	Тайга-214	19,1	22,3	25,5	28,6	31,8	35,0	38,2	41,4	44,6

Таблица 2

Средний объем хлыста, м^3	Объем выработки комплекта машин, м^3/дн.					Увеличение объема выработки	
	Норма выработки			Объем выработки			
	ЛП-19 (1 шт.)	ЛТ-154 (2 шт.)	ЛП-33А (1 шт.)	$П_{\max}$	$П_{\min}$	м^3/ дн.	%
0,22…0,29	165	174	123	174	123	51	41,5
0,30…0,39	195	200	144	200	144	56	38,9
0,40…0,49	225	218	163	225	163	62	38,0
0,50…0,75	265	234	190	265	190	75	39,5
0,76…1,10	310	248	223	310	223	87	39,0
> 1,1	355	264	260	355	260	95	36,5

Поддержание оперативных запасов на определенном уровне с учетом подключения дополнительных машин на рассчитанное время (табл. 1) дает возможность увеличить объем выработки комплекта машин на 30…40 % в день (табл. 2) и, как следствие, уменьшить число дней их работы на лесосеке до 30 % в зависимости от объема производства (рис. 2). Кроме того,

снижаются эксплуатационные затраты на 12…20 % и вредное воздействие машин на лесные экосистемы по объему выбросов отработавших газов на 15…20 %.

Анализ рис. 2 указывает на линейную зависимость продолжительности разработки лесосеки от среднего объема хлыста и годового объема производства. Число дней, на которое сокращается продолжительность разработки лесосеки, тем меньше, чем больше объем хлыста, и тем больше, чем больше объем производства.

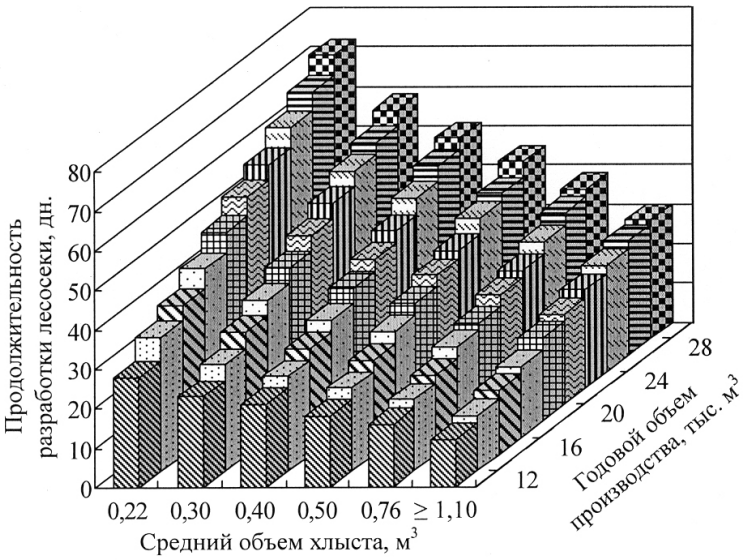


Рис. 2. Изменение числа дней, на которое сокращается продолжительность разработки лесосеки, в зависимости от среднего объема хлыста и годового объема производства

Проведенные нами исследования и экономические расчеты [4] показали, что в качестве дополнительного комплекта машин, даже для одного основного, целесообразно иметь на валке бензиномоторную пилу типа МП-5 «Урал», на трелевке – чокерный трелевочный трактор, на обрезке сучьев – универсальную бензиномоторную пилу. На лесосечных работах, как правило, применяют различные типы машин, и условия их работы разнообразны. Поскольку дополнительное оборудование в одной бригаде подключают на определенное время, его можно применять в нескольких бригадах, при этом экономическая эффективность резко возрастет. Для расчета режимов работы комплектов машин в конкретных природно-производственных условиях необходимо составить аналоговую модель и разработать программу для персональных ЭВМ.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Багаев, Н.Г.* Исследование и обоснование оптимальных запасов хлыстов на нижних складах в зависимости от состояния дорог [Текст]: автореф. дис. … канд.

техн. наук / Н.Г. Багаев. – М., 1975. – 26 с.

2. *Багаев, Н.Г.* Межоперационные запасы сырья в леспромхозах [Текст] / Н.Г. Багаев, М.А. Мизев. – М.: Лесн. пром-сть, 1973. – 88 с.

3. *Багаев, Н.Г.* Технологические запасы в лесной промышленности [Текст] / Н.Г. Багаев, Н.Т. Гончаренко. – М.: Лесн. пром-сть, 1979. – 200 с.

4. *Заикин, А.Н.* Технология лесозаготовок. Ч. 1. Управление межоперационными запасами, расчет режимов работы машин и технико-экономических показателей [Текст]: учеб. пособие. / А.Н. Заикин. – Брянск: БГИТА, 2001. – 80 с.

5. Оптимизация производственных процессов на лесозаготовках [Текст] / В.И. Алябьев. – М.: Лесн. пром-сть, 1977. – 232 с.

6. *Редькин, А.К.* Математическое моделирование и оптимизация технологий лесозаготовок [Текст]: учеб. для вузов / А.К. Редькин, С.Б. Якимович. – М.: ГОУ ВПО МГУЛ, 2005. – 504 с.

Поступила 17.01.07

A.N. Zaikin
Bryansk State Engineering-Technological Academy

Simulation of Logging Machines Operation Modes

Graphic and analytical models of operation modes calculation for logging machines are provided ensuring maximal efficiency of a complex in a whole and reduction of the duration of the forest stand development taking into account the connection of additional machines for delaying operations.

Keywords: logging machines, analytical models, operation modes, maximal efficiency, wood stock, additional machines.

МЕХАНИЧЕСКАЯ ОБРАБОТКА ДРЕВЕСИНЫ И ДРЕВЕСИНОВЕДЕНИЕ

УДК 674.053:621.934

Г.Ф. Прокофьев[1], И.И. Иванкин[1], Л.А. Ковалев [2]

[1]Архангельский государственный технический университет
[2]Филиал «Севмашвтуз» С.-Петербургского государственного морского университета

Прокофьев Геннадий Федорович родился в 1940 г., окончил в 1964 г. Архангельский лесотехнический институт, профессор, доктор технических наук, профессор кафедры прикладной механики и основ конструирования Архангельского государственного технического университета, действительный член РАЕН. Имеет более 250 печатных работ в области прикладной механики и интенсификации переработки древесины путем совершенствования лесопильного оборудования и дереворежущего инструмента.
Тел.: 21-61-67

Иванкин Илья Игоревич родился в 1971 г., окончил в 1994 г. Архангельский лесотехнический институт, кандидат технических наук, доцент кафедры робототехнических систем, машин и оборудования лесного комплекса, проректор по учебной работе Архангельского государственного технического университета. Имеет более 60 печатных работ в области совершенствования лесопильного оборудования и инструмента.
Тел.: 21-89-20

Ковалев Леонид Александрович родился в 1952 г., окончил Московский государственный университет, старший преподаватель филиала «Севмашвтуз» С.-Петербургского государственного морского технического университета. Имеет 8 научных работ в области динамики твердого тела.
E-mail: rector@sevmashvtuz.edu.ru

ОПРЕДЕЛЕНИЕ АНАЛИТИЧЕСКИМ МЕТОДОМ ТОЧНОСТИ ПИЛЕНИЯ ДРЕВЕСИНЫ КРУГЛЫМИ ПИЛАМИ

На основании теоретических исследований с применением метода конечных элементов показано, что изменение рабочей жесткости круглых пил от радиальной силы (следовательно и от режимов пиления) имеет тот же характер, что у рамных и ленточных пил; приведена формула для определения точности пиления древесины круглыми пилами.

Ключевые слова: точность пиления, круглые пилы, условие точного пиления, боковая сила, сила резания, критическая сила, жесткость пилы, прогиб пилы.

Точность толщины пиломатериалов является одним из основных показателей их качества. Низкая точность вынуждает снижать скорость подачи, что уменьшает производительность станка, или применять более толстые пилы и увеличивать поле допуска пиломатериалов, что приводит к снижению объемного выхода. Поэтому выявление и использование резервов

увеличения точности толщины пиломатериалов – важное направление повышения эффективности лесопиления.

Точность размеров сечения пиломатериалов зависит от точности позиционирования пил на заданный размер получаемой заготовки и точности пиления. Точность позиционирования пил характеризуется отклонением центра поля рассеяния толщин пиломатериала от центра номинальной (для сухих пиломатериалов) или заданной (равной номинальной) толщины плюс припуск на усушку (для влажных пиломатериалов). Точность пиления может быть определена с помощью статистического и аналитического методов [11].

Статистический метод оценки точности пиления древесины целесообразно использовать в следующих случаях: контроль обеспечения требуемой точности пиления; определение влияния ряда основных факторов на точность пиления; прогнозирование количества и качества брака по точности толщины пиломатериалов; управление точностью размерообразования пиломатериалов в гибких автоматизированных лесопильных линиях.

Аналитический метод позволяет дать количественную оценку влияния большого числа факторов на точность пиления, рассчитать предельные скорости подачи с ограничением по точности пиления, разработать мероприятия по повышению точности пиления, определить направления совершенствования лесопильного оборудования.

Ранее разработан аналитический метод оценки точности пиления древесины полосовыми (рамными и ленточными) пилами [4]. Условие точного пиления состоит в том, что максимальное отклонение $y_{\max}$ зубчатой кромки пилы не должно превышать допустимой величины $[y]$:

$$y_{\max} \le [y]. \qquad (1)$$

В результате экспериментальных [7] и теоретических исследований [4] установлена связь между рабочей $j_{\text{р}}$ (жесткость пилы при пилении) и начальной $j_{\text{н}}$ (жесткость пилы при отсутствии сил сопротивления резанию) жесткостью пилы, критической силой $P_{\text{кр}}$ (предельная сила, при достижении которой пила теряет устойчивость плоской формы изгиба) и горизонтальной (радиальной) составляющей силы сопротивления резанию P (определяется режимами пиления, параметрами зубьев, породой и гидротермическим состоянием древесины).

Рабочую жесткость определяют по формуле

$$j_{\text{р}} = j_{\text{н}}\left(1 - \frac{P}{P_{\text{кр}}}\right). \qquad (2)$$

Ее можно выразить как

$$j_{\text{р}} = \frac{Q}{y}, \qquad (3)$$

где Q – боковая сила, действующая на пилу в процессе пиления, Н;

y – отклонение пилы под действием боковой силы (прогиб режущей кромки пилы), мм.

Запишем условие точного пиления:

$$y_{\max} = \frac{Q}{j_{\text{н}}\left(1 - \frac{P}{P_{\text{кр}}}\right)} \le [y]. \qquad (4)$$

Для рамных [5] и ленточных [2] пил были определены боковая сила Q, начальная жесткость $j_{\text{н}}$ [3, 8, 10], критическая сила $P_{\text{кр}}$ [9]. Силу резания P рекомендуется определять по методике проф. А.Л. Бершадского [1].

Для круглых пил отсутствует аналитический метод определения точности пиления. Поэтому перед нами стояла цель – установить, может ли он быть разработан по аналогии с рамными и ленточными пилами.

Была рассмотрена пила с наружным диаметром D = 500 мм, толщиной s = 2,2 мм, защемленная в центральной части фланцами с диаметром d = 125 мм. К режущей кромке была приложена сила Q = 20 Н. В плоскости наибольшей жесткости пилы действовала радиальная сила P. Расчетная схема приведена на рис. 1.

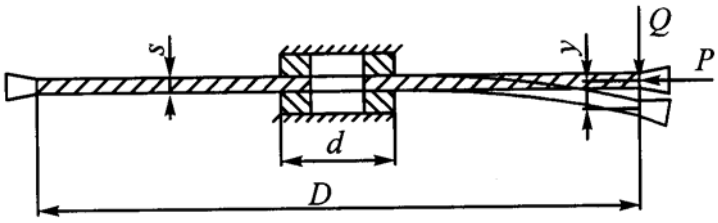


Рис. 1. Расчетная схема круглой пилы

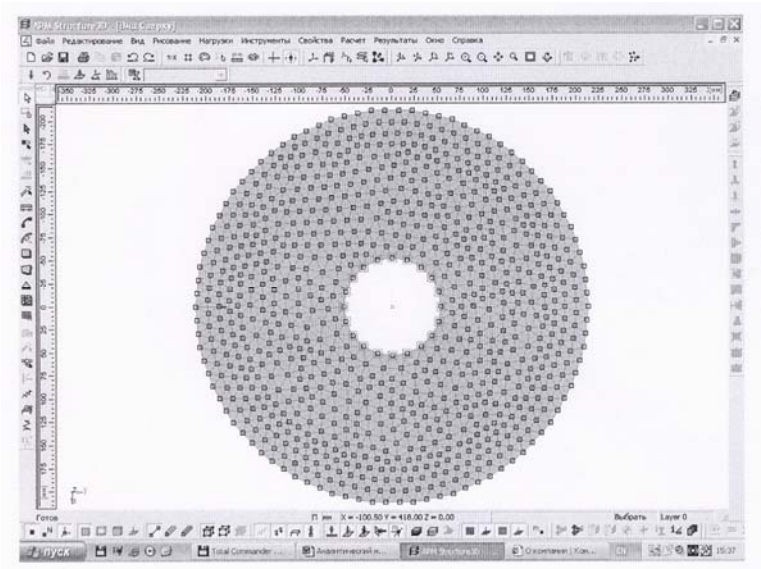


Рис. 2. Рабочее окно системы APM Structure 3D (версия 9.2)

P, Н	y, мм	$j_р$, Н/мм	$\omega_с$, Гц
0	0,976	20,49	48,4
500	1,144	17,48	46,7
1000	1,387	14,42	44,1
1500	1,760	11,36	40,5
2000	2,399	8,34	35,6
2500	3,640	5,49	28,7
3000	6,120	3,27	17,5

Используя систему конечно-элементного расчета и проектирования трехмерных конструкций (рис. 2) APM Structure 3D, версия 9.2 (разработчик ООО НТЦ «АПМ», г. Королев Московской области), определяли прогиб y и рабочую жесткость $j_р$ пилы в зависимости от силы P. Одновременно определяли и изменение частот собственных колебаний пилы $\omega_с$. Полученные значения y, $j_р$ и $\omega_с$ приведены в таблице, зависимости, отражающие влияние силы P на y, $j_р$ и $\omega_с$, – на рис. 3.

Исследования показали, что изменение рабочей жесткости круглой пилы от величины силы P, а следовательно и от режимов пиления, имеет тот же характер, что у рамных и ленточных пил, т. е. условие точного пиления древесины круглыми пилами может быть представлено выражением (4).

Установлено, что при увеличении силы P частота собственных колебаний уменьшается и принципиально возможно явление резонанса при снижении частоты собственных колебаний до частоты вынужденных колебаний. Расчеты показывают, что при таком увеличении силы P рабочая жесткость снижается настолько, что необходимая точность пиления не может быть достигнута. При пилении древесины с режимами, обеспечивающими требуемую точность пиления, пила находится, как правило, вне резонансной зоны, что объясняет возможность использования статических методов расчета точности пиления при динамических нагрузках.

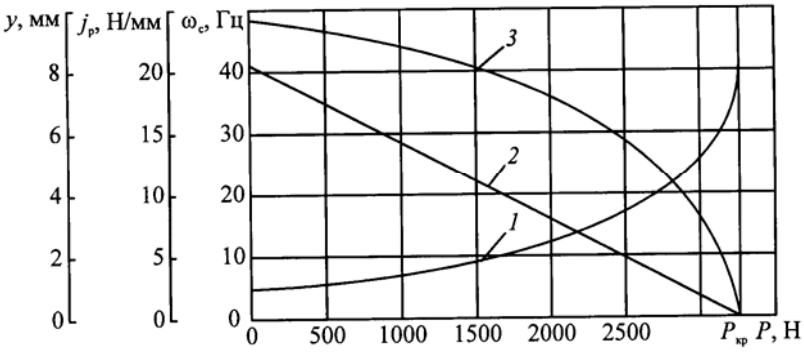


Рис. 3. Зависимость прогиба y (*1*), рабочей жесткости $j_р$ (*2*) и частоты собственных колебаний $\omega_с$ (*3*) круглой пилы от действующей на нее силы P

Эти вопросы требуют более глубокого изучения и будут рассмотрены в следующих работах.

Выводы

1. Аналитический метод расчета точности пиления древесины является общим для рамных, ленточных и круглых пил.

2. Для практического использования метода необходимо определить влияние касательной составляющей силы резания на точность пиления древесины круглыми пилами; разработать методику расчета боковых сил в зависимости от режимов пиления, точности подготовки, установки и движения круглых пил; разработать математические модели для определения начальной жесткости и устойчивости круглых пил с учетом температурного перепада по радиусу диска и степени его вальцевания.

3. Аналитический метод расчета точности пиления древесины круглыми пилами может быть использован для определения эффективности мероприятий по повышению качества подготовки круглых пил и круглопильных станков к работе; выбора направлений совершенствования круглопильных станков; разработки режимов пиления древесины на круглопильных станках с ограничением скорости подачи по точности размеров пиломатериалов.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Бершадский, А.Л.* Резание древесины [Текст] / А.Л. Бершадский, Н.И. Цветкова. – Минск: Вышейш. шк, 1975. – 303 с.

2. *Иванкин, И.И.* Определение боковых сил, действующих на пилу делительного ленточнопильного станка с криволинейными аэростатическими направляющими [Текст] / И.И. Иванкин // Охрана окружающей среды и рациональное использование природных ресурсов: сб. науч. тр. / АГТУ – Архангельск, 1999. – № 6. – С. 43 – 52.

3. *Иванкин, И.И.* Теоретические исследования начальной жесткости ленточных пил [Текст] / И.И. Иванкин // Лесн. журн. – 2000. – № 3. – С. 112 – 119. – (Изв. высш. учеб. заведений).

4. *Прокофьев, Г.Ф.* Аналитический метод определения точности пиления древесины рамными и ленточными пилами [Текст] / Г.Ф. Прокофьев, И.И. Иванкин // Наука – Северному региону: сб. науч. тр. / АГТУ. – Архангельск, 2006. – № 67. – С. 297 – 304.

5. *Прокофьев, Г.Ф.* Боковые силы, действующие на рамные пилы, и влияние их на точность пиления древесины [Текст] / Г.Ф. Прокофьев // Лесн. журн. – 1991. – № 5. – С. 82 – 89. – (Изв. высш. учеб. заведений).

6. *Прокофьев, Г.Ф.* Интенсификация пиления древесины рамными и ленточными пилами [Текст] / Г.Ф. Прокофьев. – М.: Лесн. пром-сть, 1990. – 240 с.

7. *Прокофьев, Г.Ф.* Исследование влияния некоторых факторов на устойчивость рамных пил: дис. … канд. техн. наук / Г.Ф. Прокофьев. – Архангельск. – 1970. – 146 с.

8. *Прокофьев, Г.Ф.* Исследование начальной жесткости полосовых пил [Текст] / Г.Ф. Прокофьев, Н.И. Дундин, И.И. Иванкин // Лесн. журн. – 2001. – № 3. – С. 88 – 95. – (Изв. высш. учеб. заведений).

9. *Прокофьев, Г.Ф.* Определение критической силы полосовой пилы. Общий случай [Текст] / Г.Ф. Прокофьев, И.И. Иванкин // Лесн. журн. – 2008. – № 1. – С. 107–111. – (Изв. высш. учеб. заведений).

10. *Прокофьев, Г.Ф.* Теоретические исследования начальной жесткости ленточных и рамных пил [Текст] / Г.Ф. Прокофьев, И.И. Иванкин // Охрана окружающей среды и рациональное использование природных ресурсов: сб. науч. тр. / АГТУ. – Архангельск, 1997. – Вып. 3. – С. 20–24.

11. *Прокофьев, Г.Ф.* Точность пиления древесины рамными и ленточными пилами [Текст] / Г.Ф. Прокофьев // Лесн. журн. – 1996. – № 6. – С. 74 – 80. – (Изв. высш. учеб. заведений).

Поступила 13.09.07

G.F. Prokofjev[1], *I.I. Ivankin*[2], *L.A. Kovalev*[2]
[1] Arkhangelsk State Technical University
[2] Branch «Sevmashvtuz» of Saint-Petersburg State Marine Technical University

Determination of Wood Sawing Accuracy of Circular Saws by Analytical Method

Based on theoretical investigations using the method of final elements it was shown that the operational stiffness change of a circular saw depending on the radial force bears the character similar to frame and band saws.

Keywords: sawing accuracy, circular saws, accurate sawing condition, side force, critical force, saw stiffness, saw bending deflection.

УДК 621.931

В.И. Малыгин, Н.В. Лобанов, Л.В. Кремлева

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

Малыгин Владимир Иванович родился в 1952 г., окончил в 1979 г. Университет Дружбы народов им. П. Лумумбы, доктор технических наук, профессор, действительный член АИН РФ, проректор по научной работе филиала «Севмашвтуз» С.-Петербургского государственного морского технического университета. Имеет более 150 научных работ в области математического моделирования физических процессов при резании.
E-mail: rector@sevmashvtuz.edu.ru

Лобанов Николай Владимирович родился в 1966 г., окончил в 1988 г. Севмашвтуз, кандидат технических наук, доцент кафедры подъемно-транспортного и технологического оборудования филиала «Севмашвтуз» С.-Петербургского государственного морского технического университета. Имеет более 15 научных работ в области математического моделирования физических процессов при резании, прикладной механики и лесопильного оборудования.
E-mail: rector@sevmashvtuz.edu.ru

Кремлева Людмила Викторовна родилась в 1967 г., окончила в 1989 г. Севмашвтуз, кандидат технических наук, доцент, зав. кафедрой автоматизированных систем технической подготовки производства филиала «Севмашвтуз» С.-Петербургского государственного морского технического университета. Имеет около 50 научных работ в области математического моделирования физических процессов при резании и автоматизации проектирования средств технологического оснащения.
E-mail: rector@sevmashvtuz.edu.ru

МЕТОДЫ ОПТИМИЗАЦИИ И ОЦЕНКИ КАЧЕСТВА ДЕРЕВОРЕЖУЩИХ ФРЕЗ ПРИ СТЕНДОВОМ И МАТЕМАТИЧЕСКОМ МОДЕЛИРОВАНИИ. III. ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ КОНСТРУКТИВНЫХ ПАРАМЕТРОВ НА ДИНАМИЧЕСКОЕ КАЧЕСТВО СБОРНЫХ ФРЕЗ ПРИ СТЕНДОВОМ МОДЕЛИРОВАНИИ

Приведены результаты исследований состояния сборного режущего инструмента (на примере сборных фрез) при стендовом (неразрушающем) моделировании физических процессов резания.

Ключевые слова: сборный инструмент, фрезы, вибрации, статические и частотные характеристики, фаза, динамика, адмитанс, импеданс, жесткость, податливость.

Анализ полученных нами ранее результатов показал, что разработанные методы и технические средства позволяют решать задачу выбора конструкций сборных фрез неразрушающими экспресс-методами без трудоемких и дорогостоящих опытов с резанием. В то же время «чистые» лабо-

раторные испытания, когда условия эксперимента дают возможность оценивать влияние какого-либо одного параметра и практически исключают влияние других, трудно реализуемы в процессе испытаний промышленно выпускаемых стандартных фрез. При оценке качества металлорежущих фрез установлено, что даже фрезы, выпускаемые в соответствии с одним и тем же ГОСТ разными предприятиями при жестком техническим контроле, существенно отличаются своими характеристиками. В качестве примера на рис. 1 приведены статические характеристики фрез конструкции ВНИИинструмент (ГОСТ 22085–76) Сестрорецкого и Московского («Фрезер») инструментальных заводов, свидетельствующие о существенной разнице в форме и характере зависимостей «нагружающая сила – линейное смещение».

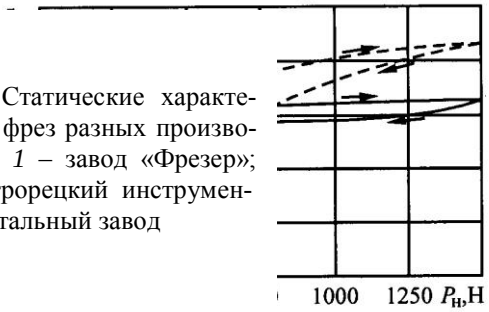


Рис. 1. Статические характеристики фрез разных производителей: *1* – завод «Фрезер»; *2* – Сестрорецкий инструментальный завод

Таким образом, становится актуальным поиск коррекционных решений, позволяющих осуществлять сравнительные испытания реальных стандартных фрез посредством введения коэффициентов коррекции для различных конструктивных и технологических показателей. С этой целью исследовали влияние конструктивных и технологических параметров на статические и динамические характеристики сборных дереворежущих фрез [1–3].

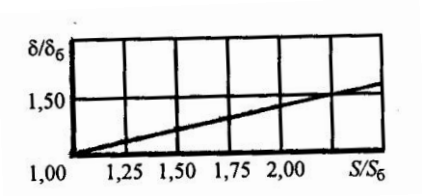


Рис. 2. Зависимость статической податливости узла крепления от относительной площади опорной поверхности режущей пластины

В рамках данной работы решали следующие задачи. Во-первых, оценивали чувствительность разработанных способов, технических средств и методик исследования в широком диапазоне изменения конструктивных и технологических параметров (способ крепления режущих элементов (ножи, пластины), их размеры и форма, шероховатость опорных поверхностей и их отклонение от плоскостности, твердость, влияние дополнительных стыков при кассетной установке режущих элементов). Во-вторых, оценивали предельные значения статической и динамической податливостей различных узлов крепления режущих элементов, что важно при разработке математической модели сборной фрезы и дальнейшем совершенствовании методик исследования.

Статическую податливость изучали в соответствии с методикой [4]. В процессе испытаний, при плавном изменении нагружающей силы от 0 до

500 Н, регистрировали смещение восьми точек измерительного креста с дальнейшим пересчетом их в смещения вершины режущей пластины в направлении координатных осей и углов поворота режущей пластины вокруг них.

По результатам исследований влияния размера опорной поверхности режущей пластины на статическую податливость в направлении главной составляющей силы резания *OZ* построена зависимость, позволяющая в процентах оценить изменение статической жесткости от увеличения площади опорной поверхности режущей пластины по отношению к выбранной в качестве базовой (рис. 2). В нашем случае в качестве базовой принята пластина квадратной формы 14 × 14 мм.

Для поправочного коэффициента на изменение статической податливости от изменения площади опорной поверхности режущей пластины в первом приближении можно использовать линейную зависимость

$$k_1 = 0{,}63 + 0{,}37\left(S / S_б\right), \qquad (1)$$

где $S / S_б$ – отношение площадей опорной поверхности узла крепления с произвольной (рассматриваемой) режущей пластиной и с базовой пластиной.

На рис. 3 приведены амплитудно-частотные характеристики одного конструктивного исполнения узлов крепления режущих пластин (диаметр 3,6 и 7,0 мм) из используемого в деревообработке композита 01 (Эльбор),

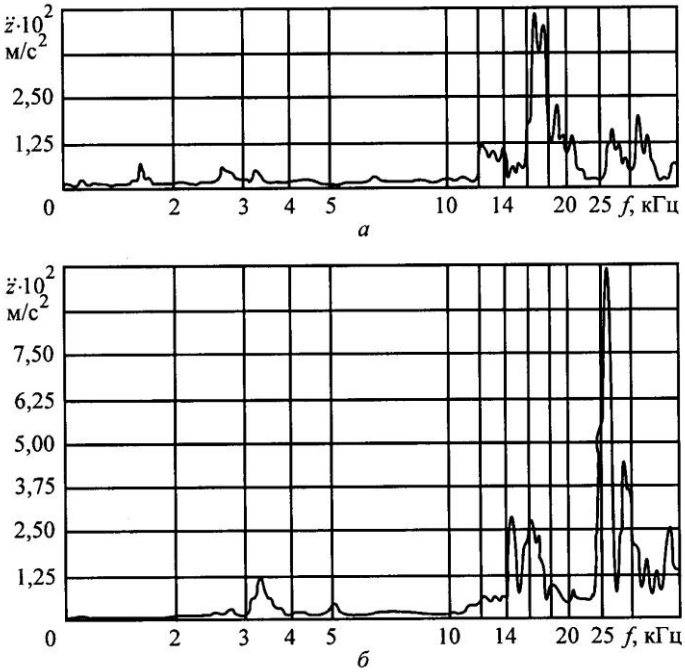


Рис. 3. Амплитудно-частотные характеристики узлов крепления режущих пластин из Эльбора: *а* – диаметр 3,6 мм; *б* – 7,0 мм

которые свидетельствуют в пользу узлов крепления с меньшими размерами пластин. В этом случае поправочные коэффициенты по критериям амплитуд виброскоростей и виброускорений могут быть определены из графиков (рис. 4) или по следующим линейным зависимостям:

$$k_2 = 0{,}7 + 0{,}3(S / S_б); \quad (2)$$

$$k_3 = 0{,}033 + 1{,}033(S / S_б). \quad (3)$$

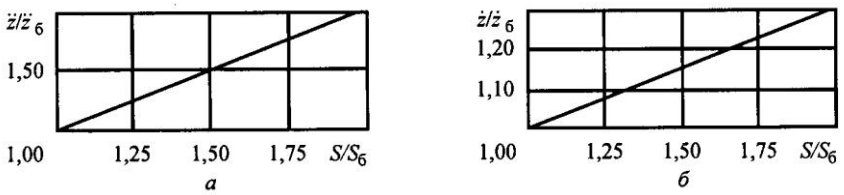


Рис. 4. Зависимости виброускорений (*а*) и виброскоростей (*б*) от относительной площади опорной поверхности режущей пластины

Влияние отклонений формы опорной поверхности режущей пластины от плоскостности оценивали на серийно выпускаемых твердосплавных пластинах из сплава ВК8 по ГОСТ 24253–80 SEGN-140416. Исследования показали, что неплоскостность опорной поверхности до 5 мкм приводит лишь к незначительным изменениям статической податливости для всех

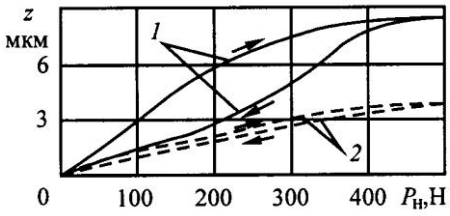


Рис. 5. Статическая жесткость узла крепления при кассетной (*1*) и непосредственной (*2*) установке режущей пластины в корпус

видов рельефа. Увеличение отклонения от плоскостности до 7 мкм снижает жесткость узла крепления режущей пластины в 1,4–1,5 раза и увеличивает динамическую податливость. К сожалению, этот фактор трудно контролировать и учитывать в производственных условиях, в связи с чем введение поправочного коэффициента на отклонение опорной поверхности режущей пластины от плоскостности желательно, но трудно реализуемо.

Изучение влияния количества стыков в конструкции узла крепления режущей пластины на его статическую податливость проводили, сравнивая два варианта конструктивного исполнения крепления режущей пластины (14 × 14 × 2 мм) винтом через центральное тороидальное отверстие в едином корпусе экспериментальной фрезы [4]. В первом случае пластину устанавливали непосредственно в корпусе, во втором – в кассете, которую крепили в корпусе. Кассетный вариант позволяет менять различные по геометрии режущие пластины в одном корпусе.

Результаты испытаний, представленные на рис. 5, показывают, что введение дополнительного элемента (кассеты) приводит к значительному

увеличению статической податливости. При этом следует отметить, что ширина и площадь петли гистерезиса свидетельствуют о большей демпфирующей способности кассетного узла крепления. Подтверждением тому служит сравнение работы вышеперечисленных узлов крепления при динамических испытаниях по амплитудно-частотным характеристикам механической подвижности – адмитансу *h* (рис. 6). И в том, и в другом случае величина начального безрезонансного уровня характеристик свидетельствует о лучшей демпфирующей способности кассетного узла крепления режущей пластины. Это нашло подтверждение и при сравнительных испытаниях стандартных фрез F2010 фирмы «Valter Novex» и AR1006 фирмы «Heinlein» по амплитудно-частотным характеристикам адмитансов (рис. 7).

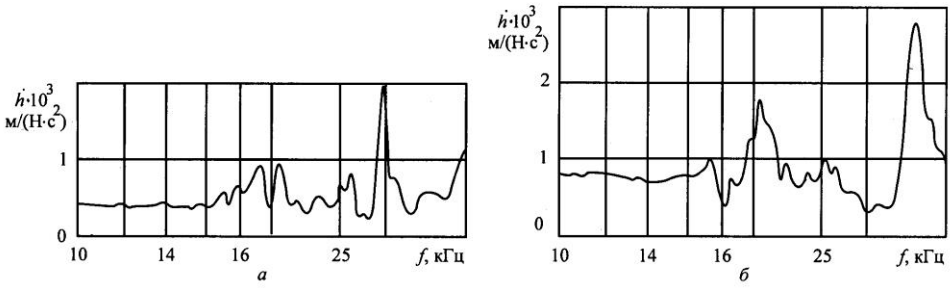


Рис. 6. Амплитудно-частотные характеристики механической подвижности узлов крепления при кассетной (*а*) и непосредственной (*б*) установке режущей пластины в корпус

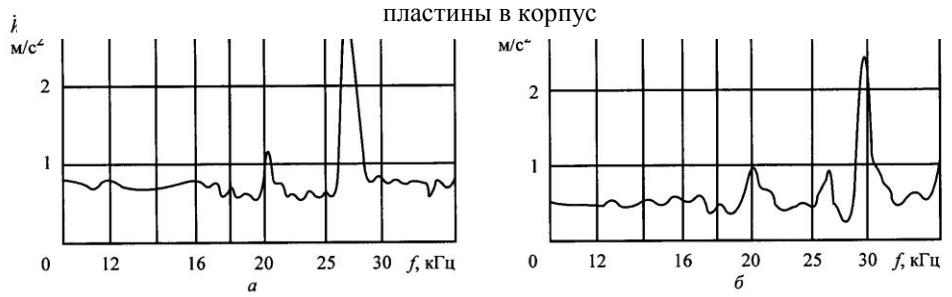


Рис. 7. Амплитудно-частотные характеристики адмитансов *h* стандартных фрез: *а* – F2010 «Valter Novex»; *б* – AR1006 «Heinlein»

В том случае, когда статические и динамические характеристики противоречивы, выбор конструктивного исполнения фрезы следует производить исходя из поставленной цели. С позиций качества обработанной поверхности предпочтение следует отдавать способу крепления ножа или режущей пластины непосредственно в корпусе, а с позиций увеличения периода стойкости – кассетной установке режущего элемента.

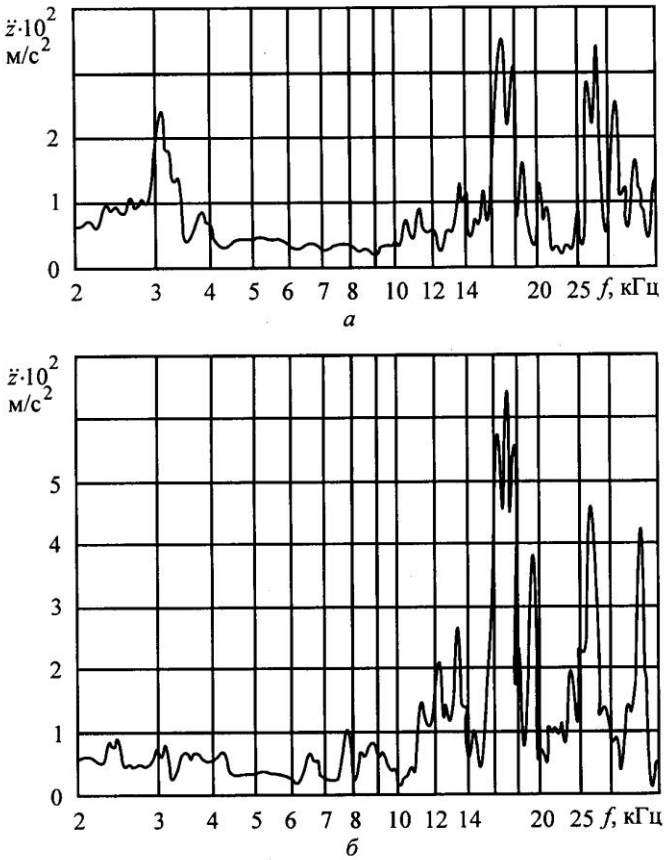


Рис. 8. Амплитудно-частотные характеристики виброускорений узлов крепления режущих пластин шлифованными (*а*) и фрезерованными (*б*) опорными поверхностями (P_{const} = 100 Н): *а* – Ra = 0,25 мкм, *б* – 2,5 мкм

Можно также ввести поправочный коэффициент, учитывающий влияние шероховатости опорной поверхности корпуса по динамическим характеристикам узла крепления режущей пластины. На это указывают результаты сравнительных испытаний узлов крепления со шлифованными (шероховатость по шкале Ra = 0,25 мкм) и фрезерованными (2,50 мкм) опорными поверхностями, представленные на рис. 8. Влияние шероховатости на амплитуды виброускорений в этом случае может быть определено в первом приближении по следующим линейным зависимостям:

$$k_4 = 0{,}88+0{,}46\text{Ra}; \quad (4)$$

$$k_4 = 0{,}89+0{,}44\text{Ra}, \quad (5)$$

где Ra – шероховатость по шкале Ra, мкм.

В общем случае комплексный коэффициент приведения тех или иных характеристик можно выразить произведением коэффициентов:

$$k = \prod_{i=1}^{n} k_i .$$

Выводы

1. Разработанные методы и технические средства позволяют дать заключение о качестве сборных фрез без проведения опытов с резанием.

2. Полученные результаты свидетельствуют, что разработанные методы и технические средства обладают высокой чувствительностью к конструктивным различиям и качеству изготовления элементов конструкций сборных фрез.

3. Установлено, что тангенциальное расположение режущей пластины снижает динамическую податливость узла ее крепления до 3 раз; снижение шероховатости опорной поверхности корпуса под режущей пластиной от 2,50 до 0,25 мкм позволяет снизить динамическую податливость примерно в 2 раза; увеличение в 2 раза площади опорной поверхности режущей пластины повышает механическую подвижность узла ее крепления примерно в 2 раза, механическую инертность в 1,3 раза. Учет указанных результатов на стадии проектирования сборных фрез приводит к повышению их качества.

4. Установлены поправочные коэффициенты на статическую и динамическую податливость сборных фрез, позволяющие приводить конструкции, отличающиеся по своим параметрам, к единой, принятой за эталонную.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Малыгин, В.И.* Зависимость качества сборных фрез от их конструктивных особенностей [Текст] / В.И. Малыгин, П.В. Перфильев, М.П. Худяков // Опыт применения прогрессивной технологии механообработки и сборки. – Л.: ЛДНТН, 1990. – С. 62–66.

2. *Малыгин, В.И.* Зависимость работоспособности сборного режущего инструмента от его спектральных характеристик [Текст] / В.И. Малыгин, А.Д. Шустиков // Вибрация и вибродиагностика, проблемы стандартизации: тез. докл. II Всесоюз. НТК. – Горький, 1988. – С. 135–136.

3. *Малыгин, В.И.* Методы и технические средства комплексной диагностики инструмента и оптимального режима резания [Текст] / В.И. Малыгин. – М.: МГТУ «Станкин», 1994. – 40 с.

4. *Малыгин, В.И.* Методы оптимизации и оценки качества дереворежущих фрез при стендовом и математическом моделировании. 1. Алгоритм решения задачи оптимизации конструкции сборного инструмента при физическом и математическом моделировании [Текст] / В.И. Малыгин, Н.В. Лобанов, Л.В. Кремлева // Лесн. журн. – 2008. – № 2. – С. 60–66. – (Изв. высш. учеб. заведений).

Поступила 28.09.06

V.I. Malygin, N.V. Lobanov, L.V. Kremleva
Branch «Sevmashvtuz» of Saint-Petersburg State Marine Technical University

Optimization Methods and Quality Assessment of Wood-milling Cutters in Bench-testing and Mathematic Simulation. III. Investigation of Design Parameters Infmence on Dynamic Quality of Assembly Cutters in Bench-testing Simulation

The investigation results of cutting instruments assembly state in bench-testing (nondestructive) simulation of physical cutting processes are provided.

Keywords: cutting instruments assembly, cutters, vibrations, statistical frequency characteristics, phase, dynamics, admittance, impedance, stiffness, compliance.

УДК 674.2:624.011.15

Б.Д. Руденко

Сибирский государственный технологический университет

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

СВОЙСТВА ДРЕВЕСНО-ЦЕМЕНТНОЙ КОМПОЗИЦИИ ПРИ ИСПОЛЬЗОВАНИИ ПРЯМОУГОЛЬНОЙ СТРУЖКИ

Установлено, что использование тонкой прямоугольной стружки приводит к увеличению цементно-древесного и водоцементного соотношений примерно до 5 и 0,5, а использование игольчатой стружки (после станка типа ДС-6) – примерно до 3 и 0,3 соответственно.

Ключевые слова: состав, свойства, прочность, водопоглощение, влажность, плотность, цемент, вода, стружка.

Для производства цементно-стружечных плит (ЦСП) используют стружку, средняя длина которой должна быть по меньшей мере в 3 раза больше средней ширины. Оптимальные размеры стружки, мм: толщина – 0,3, длина – 25,0…31,0, ширина – 1,6…4,8 [3].

Таблица 1

Псевдокоординаты исследуемого состава

Вершины симплекса	Древесные частицы	Цемент	Вода
	%		
1	80	10	10
2	10	80	10
3	10	10	80

Имеются исследования [2], в которых приведены данные о влиянии размеров частиц на свойства плит, однако это относится к древесным частицам, полученным на стружечных станках типа ДС-6.

Цель настоящих исследований – изучить физико-механические свойства древесно-цементной композиции из прямоугольной (вафельной) стружки в зависимости от соотношения древесина/цемент/вода.

Для эксперимента использовали воздушно-сухую сосновую стружку, имеющую следующие средние размеры, мм: толщина – 0,1, длина – 25,0…31,0, ширина – 25,0…35,0. По массе стружка этих размеров составляла до 95 %, остальное – более мелкие частицы.

Целесообразно исследовать состав из трех компонентов: вафельная стружка, цемент и вода. Для нейтрализации вредного воздействия водорастворимых веществ использовали традиционный минерализатор, добавку которого рассчитывали в процентах от массы цемента (портландцемент М400).

При изучении свойств смеси, зависящих только от соотношения компонентов, факторное пространство представляет собой правильный трехмерный симплекс. Изучаемые свойства являются непрерывной функцией аргументов и могут быть с достаточной точностью представлены полиномом. Так как нас интересовала не вся область возможных значений состава, использовали ту ее часть, которая ограничена псевдокординатами, приведенными в табл. 1. В данной области состава компонентов можно получить древесно-цементную композицию с минимальной (позволяющей сохранять целостность образцов) прочностью (не менее 0,5 МПа). При увеличении доли какого-либо компонента в композиции образцы перестают сохранять целостность в процессе испытаний.

В табл. 2 приведена матрица планирования исходных компонентов в нормализованном, процентном и весовом соотношениях.

Из рассматриваемой смеси компонентов формовали балочки размером 4 × 4 × 16 см, которые твердели в течении 14 сут. при комнатных условиях, после чего определяли их прочность на изгиб, плотность, водопоглощение за 24 ч вымачивания в воде и влажность.

Эксперимент был обработан по методике [1]. Результаты эксперимента представлены на рисунке.

Рассмотрим, как изменяется прочность в зависимости от соотношения компонентов. Из анализа приведенной на рисунке *а* диаграммы видно, что содержание воды в формовочной смеси существенно влияет на прочность получаемого материала. Соотношение масс воды и цемента для

Таблица 2

Матрица планирования для исходных компонентов

Нормализованные значения факторов			Содержание компонентов					
			%			г		
Древесные частицы	Цемент	Вода	Древесные частицы	Цемент	Вода	Древесные частицы	Цемент	Вода
0,33	0	0,67	30,00	10,00	60,00	68	23	138
0,67	0	0,33	60,00	10,00	30,00	138	23	68
1,00	0	0	80,00	10,00	10,00	184	23	23
0,67	0,33	0	60,00	30,00	10,00	138	68	23
0	0,67	0,33	10,00	60,00	30,00	23	138	68
0	1,00	0	10,00	80,00	10,00	23	184	23
0,33	0,33	0,33	33,33	33,33	33,33	76	76	76
0,33	0,67	0	30,00	60,00	10,00	68	138	23
0	0	1,00	10,00	10,00	80,00	23	23	184

производства бетонных изделий характеризуется водоцементным соотношением и колеблется в пределах 0,3…0,6. В зависимости от его величины бетонная смесь может быть жесткой, пластичной и литой. Однако в древесно-цементной композиции указанного различия в консистенции не наблюдается из-за малой плотности древесного заполнителя. Тем не менее, при подборе состава смеси для изготовления этой композиции необходимо

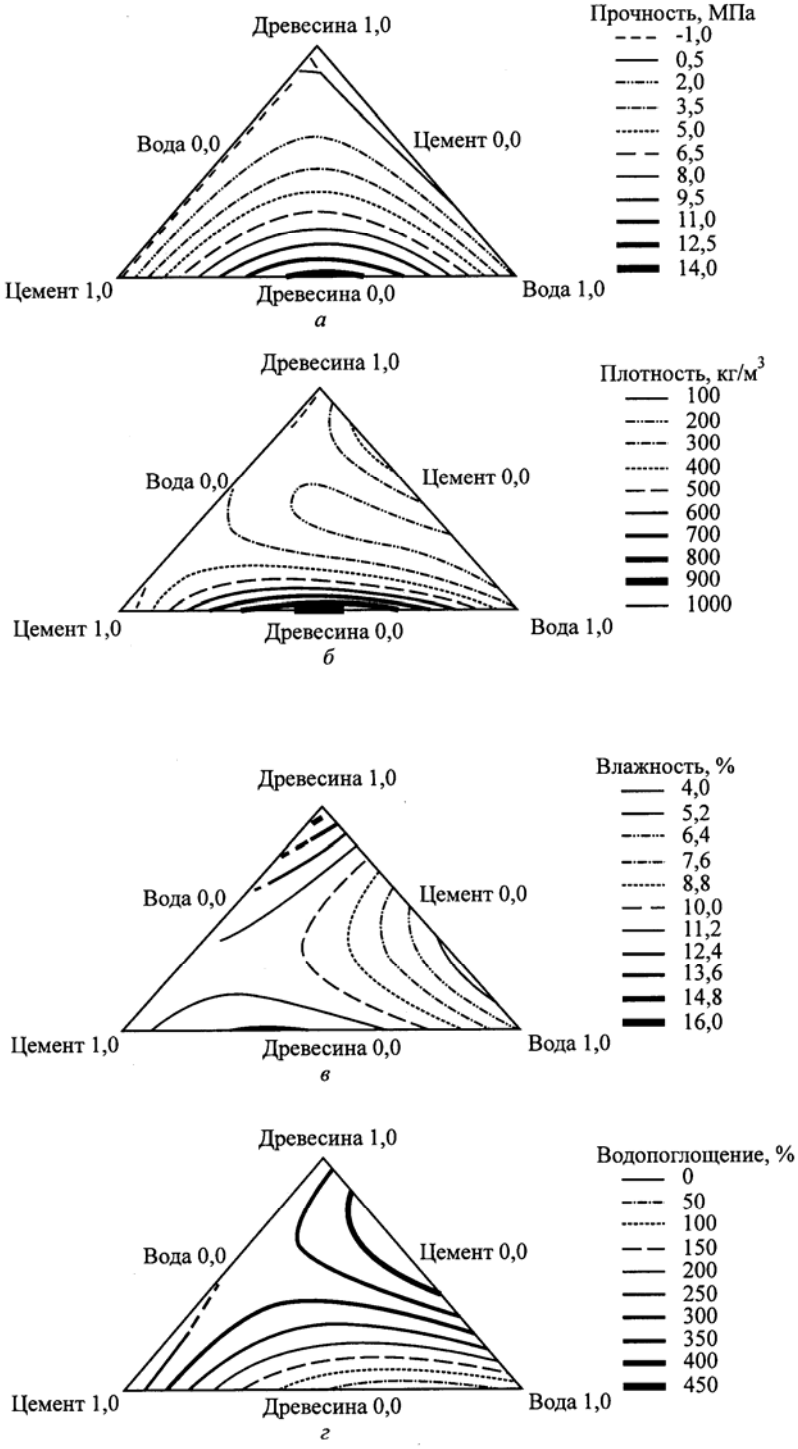
стремиться к оптимальному количеству воды в древесном заполнителе: лишняя вода снижает прочность изделий.

Необходимое содержание воды в формовочной смеси зависит как от фракционного состава заполнителя, так и от продолжительности его выдерживания на воздухе. С течением времени древесина приобретает некоторую гидрофобность из-за сшивки части гемицеллюлоз, что снижает ее водопоглощение. Водопоглощение оказывает заметное влияние на прочность древесно-цементной композиции, так как чем оно ниже, тем меньше требуется минерализатора для создания концентрированных растворов на поверхности заполнителя.

Важным показателем является также содержание экстрактивных веществ в жидкой фазе вяжущего. Темпы их выделения зависят от крупности частиц заполнителя и концентрации минерализатора на его поверхности.

Древесные частицы выступают в роли пассивного заполнителя, с возрастанием их количества в смеси прочность образцов при испытании на изгиб падает (рисунок *а*). Соотношение масс воды и цемента имеет ярко выраженный оптимум (0,4…0,6 единиц в нормализованных значениях), при котором наблюдается максимальная прочность получаемого материала. В нашем случае водоцементное соотношение соответствует 0,5.

Установлено, что наибольшей прочности соответствует довольно узкий диапазон соотношений компонентов древесно-цементной композиции, при котором она имеет оптимальную структуру. Это соответствует положениям теории И.А. Рыбьева для материалов с конгломератным типом структуры.



Контурная поверхность отклика для прочности (*а*), плотности (*б*), влажности (*в*) и водопоглощения (*г*)

Как видно из рисунка *б*, плотность связана с прочностью древесно-цементной композиции. Некоторое несоответствие изолиний плотности объясняется нехваткой воды для формирования необходимой структуры материала (средняя область диаграммы). Локальный оптимум на грани «Цемент 0,0» имеет смещение в сторону древесины относительно оптимума на грани «Древесина 0,0», что объясняется разной поверхностью частиц древесного заполнителя.

Распределение влажности получаемой древесно-цементной композиции имеет вспомогательный характер для информации о прочности получаемого композита. Повышение влажности в сторону увеличения содержания древесины и уменьшения содержания цемента характеризуется меньшим связыванием влаги твердеющим цементом (рисунок *в*).

Стягивание изолиний на грань «Цемент 0,0» объясняется уменьшением содержания цемента, а снижение связывания влаги – твердеющим цементом и малой плотностью (см. рисунок *б*), что соответствует увеличенной пористости материала и, следовательно, более интенсивному высушиванию смеси.

Как видно из рисунка *г*, водопоглощение связано с плотностью образцов: менее плотная структура характеризуется большей незащищенностью древесно-цементных материалов.

Таким образом, при использовании тонкой прямоугольной стружки цементно-древесное соотношение увеличивается примерно до 5, при использовании игольчатой стружки (после станка типа ДС-6) оно составляет около 3 [4], а водоцементное соотношение – примерно до 0,5 и 0,3 соответственно [4]. Это объясняется большей удельной поверхностью плоской прямоугольной стружки по сравнению с игольчатой (14,3 против 7,1 см^2/г).

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

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

2. *Лапшин, Ю.Г.* Рациональные размеры древесных частиц в производстве древесностружечных плит (обзорн. информ.) [Текст] / Ю.Г. Лапшин, О.Е. Поташев, А.М. Шапиро. – М.: ВНИПИЭИлеспром, 1979. – 21 с.

3. *Наназашвили, И.Х.* Строительные материалы из древесно-цементной композиции [Текст] / И.Х. Наназашвили. – Л.: Строцйиздат, 1990. – 415 с.

4. *Хрулев, В.М.* Цементно-стружечные плиты в строительстве [Текст] / В.М. Хрулев, М.Г. Мальцев, Р.Ш. Хасанов. – Уфа: УГНТУ, 2001. – 96 с.

Поступила 07.09.07

B.D. Rudenko
Siberian State University of Technology

Characteristics of Wood-cement Composite when Using Square Chips

It is established that the use of light square chips results in the increase of cement-wood and water-cement correlations up to 5 and 0,5, whereas when using needle chips (after chipping machine of DS-6 type) – up to 3 and 0,3 accordingly.

Keywords: composition, characteristics, strength, water absorption, humidity, density, cement, water, chip.

УДК 621.311

С.П. Агеев

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

Агеев Сергей Петрович родился в 1957 г., окончил в 1979 г. Архангельский лесотехнический институт, кандидат технических наук, доцент кафедры автоматизированных систем технической подготовки производства филиала «Севмашвтуз» СПбГМТУ. Имеет более 50 научных работ в области электроснабжения промышленных предприятий.
Тел.: 20-03-57

ЭНЕРГЕТИЧЕСКАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА МЕХАНИЗМА РЕЗАНИЯ ЛЕСОПИЛЬНОЙ РАМЫ

Выполнены построение и анализ энергетической характеристики механизма резания вертикальной лесопильной рамы, а также определены технические факторы, влияющие на ее параметры.

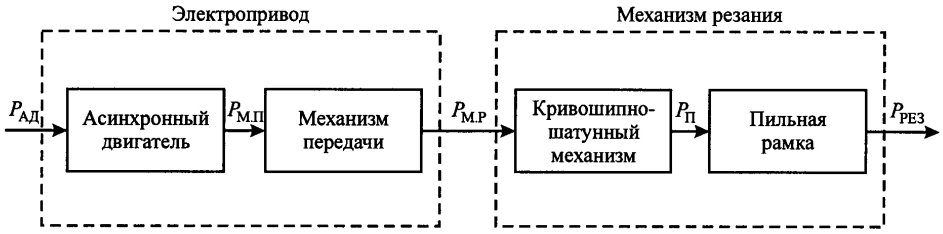
Ключевые слова: потребляемая мощность, потери энергии, лесопильная рама, производительность, сила резания, коэффициенты потерь.

Для энергетической оценки экономичности работы оборудования при различной производительности применяют энергетические характеристики [2].

Цель работы – составление энергетического баланса и построение энергетической характеристики механизма резания вертикальных лесопильных рам, которые являются наиболее энергоемкими потребителями лесопильного производства.

Получение энергетических характеристик основано на разделении всех элементов энергобаланса механизма на постоянные (не зависящие от производительности рамы) и переменные (зависящие от производительности) и установлении функциональных зависимостей переменных элементов баланса от производительности лесопильной рамы.

На рисунке показана структурная схема передачи мощности в механизме резания вертикальной лесопильной рамы, приводимом в движение асинхронным двигателем с фазовым ротором.



Потребляемая пильной рамой мощность $P_п$ содержит две составляющие:

переменную (полезную) мощность резания $P_{рез}$;

постоянную мощность $\Delta P_{п.пост}$ потерь, вызванных силами трения в направляющих.

Таким образом,

$$P_п = P_{рез} + \Delta P_{п.пост} = c_п A^m + \Delta P_{п.пост}, \quad (1)$$

где $c_п$ – постоянный (при определенных условиях) параметр, характеризующий энергоемкость процесса резания, $Дж / м^{3m} \cdot с^{1-m}$;

A – производительность лесопильной рамы, м³/с;

m – показатель степени.

При номинальной производительности $A_{ном}$ лесопильной рамы мощность, подводимая к пильной рамке, имеет номинальное значение:

$$P_{п.ном} = c_п A_{ном}^m + \Delta P_{п.пост}. \quad (2)$$

Отношение потребляемой мощности $P_п$ к ее номинальному значению $P_{п.ном}$ представляет собой технологический коэффициент нагрузки лесопильной рамы:

$$\gamma_п = \frac{P_п}{P_{п.ном}} = \frac{A}{A_{ном}}.$$

Потери мощности в кривошипно-шатунном механизме (две пары подшипников качения) делят на две составляющие: переменную (пропорциональную передаваемой мощности) и постоянную (мощность постоянных потерь), полагая при этом, что другие показатели работы механизма, кроме нагрузки, неизменны. Изменение нагрузки не связано с переменой скорости или связано с таким ее изменением, что практически не нарушается пропорциональность между потребляемой мощностью и переменными потерями, а постоянные потери можно считать неизменными.

Потери мощности в кривошипно-шатунном механизме учитывают при помощи коэффициентов потерь, т.е. в долях от мощности, потребляемой пильной рамкой.

Мощность постоянных потерь $\Delta P_{ш.пост}$ выразим в долях от $P_{п.ном}$ через соответствующий коэффициент потерь $a_ш$:

$$\Delta P_{ш.пост} = a_ш P_{п.ном}, \quad (3)$$

мощность переменных потерь $\Delta P_{ш.пер}$ – через мощность пильной рамки $P_п$ и коэффициент переменных потерь $b_ш$:

$$\Delta P_{ш.пер} = b_ш P_п = b_ш \gamma_п P_{п.ном}.$$

Тогда общая мощность, потребляемая механизмом резания,

$$P_{\text{м.п}} = P_{\text{п}} + \Delta P_{\text{ш.пер}} + \Delta P_{\text{ш.пост}} = \gamma_{\text{п}} P_{\text{п.ном}} + b_{\text{ш}} \gamma_{\text{п}} P_{\text{п.ном}} + a_{\text{ш}} P_{\text{п.ном}} =$$
$$= P_{\text{п.ном}} [\gamma_{\text{п}} (1 + b_{\text{ш}}) + a_{\text{ш}}] = P_{\text{п}} (1 + b_{\text{ш}}) + a_{\text{ш}} P_{\text{п.ном}} . \quad (4)$$

Коэффициенты потерь можно определить по номинальному КПД $\eta_{\text{ш.ном}}$ кривошипно-шатунного механизма и отношению потерь:

$$\chi_{\text{ш}} = \frac{\Delta P_{\text{ш.пост}}}{\Delta P_{\text{ш.пер.ном}}} = \frac{a_{\text{ш}}}{b_{\text{ш}}} .$$

Для простых кинематических цепей обычно принимают $\chi_{\text{ш}} = 1$, т.е. полагают $b_{\text{ш}} = a_{\text{ш}}$. При этом номинальный КПД можно рассчитать как отношение отдаваемой номинальной мощности $P_{\text{п.ном}}$ к потребляемой $P_{\text{мр.ном}}$:

$$\eta_{\text{ш.ном}} = \frac{P_{\text{п.ном}}}{P_{\text{м.р.ном}}} = \frac{P_{\text{п.ном}}}{P_{\text{п.ном}} (1 + a_{\text{ш}} + b_{\text{ш}})} = \frac{1}{1 + a_{\text{ш}} + b_{\text{ш}}} . \quad (5)$$

Откуда

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

Возвращаясь к (4) и учитывая (1), составим уравнение энергетической характеристики $P_{\text{м.р}} = f(A)$ механизма резания:

$$P_{\text{м.р}} = (c_{\text{п}} A^m + \Delta P_{\text{п.пост}})(1 + b_{\text{ш}}) + a_{\text{ш}} P_{\text{п.ном}} = c_{\text{п}} (1 + b_{\text{ш}}) A^m + (1 + b_{\text{ш}}) \Delta P_{\text{п.пост}} +$$
$$+ a_{\text{ш}} P_{\text{п.ном}} = c_{\text{м.р}} A^m + \Delta P_{\text{м.р.пост}} . \quad (6)$$

Здесь слагаемое $\Delta P_{\text{м.р.пост}}$ – мощность постоянных потерь в механизме резания,

$$\Delta P_{\text{м.р.пост}} = (1 + b_{\text{ш}}) \Delta P_{\text{п.пост}} + a_{\text{ш}} P_{\text{п.ном}} = P_{\text{п.ном}} [a_{\text{п}} (1 + b_{\text{ш}}) + a_{\text{ш}}], \quad (7)$$

где $a_{\text{п}} = \dfrac{\Delta P_{\text{п.пост}}}{P_{\text{п.ном}}}$ – коэффициент постоянных потерь в пильной рамке.

В рассматриваемом случае $\Delta P_{\text{ш.пост}}$ удобно представлять в долях не от номинальной мощности пильной рамки $P_{\text{п.ном}}$ (см. (3)), а от постоянной составляющей $\Delta P_{\text{п.пост}}$ этой мощности:

$$\Delta P_{\text{ш.пост}} = c_{\text{ш}} P_{\text{ш.пост}} = c_{\text{ш}} a_{\text{п}} P_{\text{п.ном}} = a_{\text{ш}} P_{\text{п.ном}} . \quad (8)$$

Отсюда

$$c_{\text{ш}} = a_{\text{ш}} \frac{P_{\text{п.ном}}}{\Delta P_{\text{п.пост}}} = \frac{a_{\text{ш}}}{a_{\text{п}}} ;$$
$$a_{\text{ш}} = c_{\text{ш}} \frac{\Delta P_{\text{п.пост}}}{P_{\text{п.ном}}} . \quad (9)$$

Подставляя (9) в (7), получаем

$$\Delta P_{\text{м.р.пост}} = P_{\text{п.ном}}\left[\frac{\Delta P_{\text{п.пост}}}{P_{\text{п.ном}}}(1+b_{\text{ш}}) + c_{\text{ш}}\frac{\Delta P_{\text{п.пост}}}{P_{\text{п.ном}}}\right] = \Delta P_{\text{п.пост}}(1+b_{\text{ш}}+c_{\text{ш}}). \quad (10)$$

Таким образом мощность, потребляемая механизмом резания,

$$P_{\text{м.р}} = (1+b_{\text{ш}})c_{\text{п}}A^m + \Delta P_{\text{п.пост}}(1+b_{\text{ш}}+c_{\text{ш}}) = c_{\text{м.р}}A^m + \Delta P_{\text{м.р.пост}}. \quad (11)$$

Определим слагаемые, входящие в (11), используя при этом одну из методик расчета мощности резания, изложенную в [1].

Введем следующие обозначения:

V_1 – объем древесины, превращаемый в опилки за 1 с, м^3/с;

K – удельная работа рамного пиления для расчетных условий резания, Дж/м^3;

$B_{\text{пр}}$ – ширина пропила, м;

H_Σ – суммарная высота пропила, м;

u – скорость подачи бревна, м/с.

В этом случае мощность резания $P_{\text{рез}}$ (Вт) может быть вычислена по «объемной» формуле

$$P_{\text{рез}} = KV_1 = KB_{\text{пр}}H_\Sigma u. \quad (12)$$

Удельную работу K найдем как произведение удельной работы при нормированных (табличных) условиях K_T на общий поправочный коэффициент $a_{\text{попр}}$, учитывающий отличие расчетных условий резания от нормированных:

$$K = K_{\text{т}}a_{\text{попр}}. \quad (13)$$

В случае рамного пиления обычно принимают

$$a_{\text{попр}} = a_{\text{пр}}a_\rho, \quad (14)$$

где $a_{\text{пр}}$ – коэффициент, учитывающий плотность древесины различных пород;

a_ρ – коэффициент, учитывающий затупление резцов и зависящий от длительности работы пил после заточки.

Числовые значения поправочных коэффициентов, найденные по результатам экспериментов, приведены в таблицах [3].

Определим сумму высот всех пропилов:

$$H_\Sigma = H_{\text{ср}}Z_{\text{п}} = a_1 D_{\text{ср}}Z_{\text{п}}, \quad (15)$$

где $H_{\text{ср}}$ – средняя высота пропила $H_{\text{ср}} = a_1 D_{\text{ср}}$, м;

a_1 – коэффициент постава, принимаемый в зависимости от вида распиловки [4];

$D_{\text{ср}}$ – средний диаметр бревна или высота бруса, м;

$Z_п$ – число пил в поставе.

Средний диаметр бревна

$$D_{ср} = D_в + \frac{sL}{2},$$

где $D_в$ – диаметр бревна в вершинном отрезке, м;

s – средний сбег на 1 м длины, принимаемый в зависимости от $D_в$;

L – длина бревна, м.

Производительность лесопильной рамы

$$A = \frac{uV_б}{L},$$

где $V_б$ – объем бревна, м^3.

Полагая, что приближенно бревно представляет собой прямой круговой цилиндр диаметром $D_{ср}$, его объем определяют по формуле

$$V_б = \frac{\pi D_{ср}^{\ 2}}{4} L.$$

Тогда производительность лесопильной рамы

$$A = \frac{\pi u D_{ср}^2}{4},$$

откуда

$$D_{ср} = 2\sqrt{\frac{A}{\pi u}}. \qquad (16)$$

Подставляя (13) – (16) в (12), найдем выражение для мощности силы резания:

$$P_{рез} = 2K_т B_{пр} Z_п \frac{a_{пр} a_р a_1 \sqrt{u}}{\sqrt{\pi}} \sqrt{A} = c_п \sqrt{A}.$$

где $c_п$ – постоянный параметр, Дж/м^{1,5} · с^{0,5}.

Тогда, согласно (11), энергетическая характеристика механизма резания

$$P_{м.р} = 2(1 + b_ш) K_т B_{пр} Z_п \frac{a_{пр} a_р a_1 \sqrt{u}}{\sqrt{\pi}} \sqrt{A} + \Delta P_{п.пост}(1 + b_ш + c_ш)$$

или

$$P_{м.р} = c_{м.р} \sqrt{A} + \Delta P_{м.р.пост}.$$

Анализ полученной зависимости показывает, что коэффициенты энергоемкости $c_п$ и $c_{м.р}$ в значительной степени зависят от фактических условий резания древесины (толщины срезаемого слоя, степени затупления резцов, плотности древесины), а также скорости подачи бревен.

Вывод

Полученная энергетическая характеристика позволяет выполнить анализ энергоемкости процесса распиловки древесины и установить влия-

ние технологических параметров процесса электропотребления лесопильных рам.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Амалицкий, В.В.* Станки и инструменты лесопильного и деревообрабатывающего производства [Текст]: учеб. для техникумов – М.: Лесопильн. пром-сть, 1985. – 288 с.

2. *Гофман, И.В.* Нормирование потребления энергии и энергетических балансов промышленных предприятий [Текст] / И.В. Гофман. – М.; Л.: Энергия, 1966. – 315 с.

3. *Любченко, В.И.* Резание древесины и древесных материалов [Текст] / В.И. Любченко. – М.: Лесопильн. пром-сть, 1986. – 294 с.

4. *Песоцкий, А.Н.* Лесопильное производство [Текст] / А.Н. Песоцкий. – Л.: Лесн. пром-сть, 1973. – 325 с.

Поступила 08.06.06

S.P. Ageev
Branch «Sevmashvtuz» of Saint-Petersburg State Marine Technical University

Energetic Characteristic of Cutting Mechanism of Frame Saw

Construction and analysis of energetic characteristic of cutting mechanism of the vertical frame saw are carried out; technical factors influencing its parameters are determined.

Keywords: power consumption, energy loss, frame saw, productivity, cutting force, loss coefficients.

УДК 684.4:004

П.Ю. Бунаков[1], А.В. Стариков[2], В.Н. Харин[2], С.Я. Гусев[3], А.А. Старикова[2]

[1]Коломенский филиал Московского государственного открытого университета
[2]Воронежская государственная лесотехническая академия
[3]Сыктывкарский лесной институт

Бунаков Павел Юрьевич родился в 1958 г., окончил в 1981 г. Московский институт электронного машиностроения, кандидат технических наук, доцент кафедры автоматизации производства и проектирования в машиностроении Коломенского филиала Московского государственного открытого университета, ведущий специалист ООО «Базис-Центр». Имеет около 70 печатных работ в области автоматизации проектирования и технологической подготовки производства.
Тел.: (496) 616-01-37

Стариков Александр Вениаминович родился в 1956 г., окончил в 1979 г. Воронежский государственный университет, кандидат технических наук, доцент кафедры вычислительной техники Воронежской государственной лесотехнической академии. Имеет более 100 печатных работ в области автоматизации проектирования, САПР, экономико-математического моделирования.
Тел.: (4732) 53-90-52

Харин Валерий Николаевич родился в 1940 г., окончил в 1962 г. Воронежский государственный университет, доктор технических наук, профессор кафедры вычислительной техники Воронежской государственной лесотехнической академии. Имеет более 250 печатных работ в области автоматизации проектирования, САПР, вычислительной математики.
Тел.: (4732) 53-67-08

Гусев Сергей Яковлевич родился в 1981 г., окончил в 2005 г. Сыктывкарский лесной институт – филиал С.-Петербургской государственной лесотехнической академии, инженер лаборатории курсового и дипломного проектирования Сыктывкарского лесного института. Имеет 2 печатные работы в области автоматизации проектирования, инженерно-технических расчетов и технологической подготовки производства.
E-mail: fink@sfi.komi.com

Старикова Анна Александровна родилась в 1986 г., окончила в 2008 г. Воронежский государственный университет, инженер центра информационных технологий Воронежской государственной лесотехнической академии. Имеет 6 печатных работ в области объектно-ориентированного проектирования и программирования, баз данных, компьютерной графики.
Тел.: (4732) 53-90-52

ПЕРСПЕКТИВНАЯ САПР СЛОЖНОЙ КОРПУСНОЙ МЕБЕЛИ: КОНЦЕПТУАЛЬНЫЕ ОСНОВЫ, ПАРАДИГМА ПРОЕКТИРОВАНИЯ, ОСОБЕННОСТИ РЕАЛИЗАЦИИ

Рассмотрены основные положения концепции безошибочного проектирования и производства сложных корпусных мебельных изделий как основы построения САПР нового поколения, в полной мере учитывающей особенности современного мебельного производства.

Ключевые слова: САПР, новая парадигма проектирования, концепция безошибочного проектирования и производства, структурно-атрибутивная модель.

В настоящее время все более широкое распространение получает позаказное промышленное производство мебельных изделий, предъявляющее повышенные требования к обеспечению сквозной информационной поддержки процессов жизненного цикла мебельных изделий (ЖЦМИ). При этом концептуальная база известных коммерческих САПР корпусной мебели не рассчитана на эффективную реализацию решений, удовлетворяющих различным, в ряде случаев противоречивым, требованиям позаказного промышленного производства [1]:

максимальный учет пожеланий клиента в рамках имеющихся технологических возможностей предприятия;

разработка проекта в короткие сроки с минимизацией числа субъективных ошибок проектирования, а также с возможностью их устранения на ранних стадиях ЖЦМИ, до начала изготовления изделия;

обеспечение сквозной информационной поддержки процессов проектирования и производства изделий.

В этой связи представляется актуальной задача разработки концепции информационной поддержки позаказного промышленного производства, на основе которой формируется новая парадигма проектирования и реализации САПР сложной корпусной мебели.

В настоящее время на российском рынке мебельных САПР доминируют отечественные программные комплексы, в которых требования позаказного промышленного производства реализуются лишь частично. Основные причины этого: геометрически ориентированные модели изделий не отражают конструктивно-структурное представление мебельного ансамбля и конструкторско-технологические требования и ограничения (КТТО); детерминированность моделей и выполнение проектирования на низком уровне абстракции обусловливают сложность внесения конструктивно-технологических изменений в проект; поэтапная раздробленность единого процесса концептуального проектирования, конструирования, технологической подготовки и производства мебельных ансамблей; необходимость ведения разнородных баз данных, формально относящихся к одной и той же математической модели.

В качестве методологической основы для формирования новой парадигмы проектирования и реализации САПР для позаказного промышленного производства предлагается концепция безошибочного проектирования и производства (БОПП) сложных корпусных мебельных изделий, ориентированная на решение следующих задач.

1. Повышение уровня абстракции при моделировании изделий и использование высокоуровневых объектных структурно-атрибутивных моделей (ОСАМ) вместо геометрических.

2. Перенос «центра тяжести» с этапа рабочего проектирования на этап эскизного проектирования.

3. Организация параллельного выполнения ряда проектных процедур и операций ЖЦМИ.

4. Управление многоаспектным проектным представлением мебельного изделия или ансамбля.

5. Моделирование информационной инфраструктуры предприятия для организации эффективного управления процессами ЖЦМИ.

Главная цель разработки концепции – максимально возможное снижение количества субъективных ошибок проектирования и производства сложной корпусной мебели.

Основные положения концепции БОПП [2]:

концептуальное единство интегрированной информационной среды на основе ОСАМ и информационных обменов, реализуемых в виде асинхронного последовательно-параллельного информационного конвейера с системным интерфейсом контейнерного типа;

сквозная информационная поддержка распределенных процессов проектирования и производства путем предоставления регламентированного доступа к разделам ОСАМ из любой проектной процедуры;

повышение уровня абстрагирования при разработке проекта и минимизация субъективного фактора за счет перехода от геометрической модели изделия к комплексу моделей более высокого уровня;

интерактивное формирование аспектных представлений ОСАМ с последующей автоматической генерацией геометрической модели объекта, учитывающей заданные КТТО, и ее визуальной верификацией;

обоснованная избыточность семантической информации в целях выполнения алгоритмического контроля массива исполнительных координат на этапе генерации геометрической модели;

использование и развитие средств автоматизации проектирования, повышающих качественный уровень разработки проектов сложных мебельных ансамблей и создающих необходимую базу для перехода к гибкому автоматизированному позаказному производству;

трехуровневая архитектура распределенной СУБД реляционного типа, обеспечивающая расширенную функциональность и ориентированная на длительное использование и темпоральный мониторинг;

унифицированная инфологическая модель структуры предприятия, отражающая особенности предметной области и разнообразие аспектов отношений между ее сущностями.

Реализация комплексной САПР корпусной мебели на основе положений концепции БОПП позволяет учесть большинство особенностей позаказного промышленного производства.

Мебель как объект, предназначенный для непосредственной реализации на рынке, имеет два уровня критериев представления: внешний и внутренний (см. рисунок). Принципиальное различие критериев приводит к необходимости дополнительных согласований и изменений в спецификации заказа, что сказывается на качестве продукции, сроках ее изготовления, степени удовлетворенности конечного потребителя.

Новая парадигма проектирования разделяет уровни компетенции специалистов, работающих с потребителями, и специалистов, занятых на мебельном производстве. Это достигается обеспечением формального подхода, позволяющего распространить необходимый объем знаний внутреннего уровня на внешний.

В рамках новой парадигмы процесс проектирования мебельных изделий разделяют на два относительно обособленных этапа: инжиниринг и реинжиниринг. На этапе инжиниринга конструктор, используя доступные ему инструментальные средства, формирует модель прототипного мебельного изделия, в которой учтены требования, отраженные в техническом задании, а также данные о технологических возможностях предприятия, представленные комплексом КТТО. В ходе инжиниринга в прототипную модель включают алгоритмы компиляции прототипов в модели конкретных мебельных изделий и алгоритмы контроля, гарантирующие безошибочность выполнения проектных операций на этапе реинжиниринга.

Критерии потребительского и производственного уровней

Этап реинжиниринга прототипной модели реализуется дизайнером по интерьеру при приеме индивидуального заказа на мебельное изделие или группу изделий (мебельный ансамбль). Все выполняемые им структурные и параметрические преобразования контролируют алгоритмами, заданными на этапе инжиниринга, что гарантирует их безошибочность.

В качестве важнейшего элемента реализации новой парадигмы проектирования выступает ОСАМ мебельного изделия, обеспечивающая его многоаспектное представление на различных уровнях абстрагирования.

Эскизно-структурное описание объекта проектирования основано на системе классификации корпусной мебели и ее элементов и обеспечивает укрупненное координатное представление мебельной конструкции. Для идентификации элементов этой конструкции используют систему соподчиненных понятий, с помощью которых структуру любой мебельной конструкции модульного типа можно представить в виде планарного графа,

каждая вершина которого относится к одному из четырех уровней: изделия (F), секции (S), блоки (B) или детали (D):

$$F = S \bigcup D';$$

$$S = \bigcup_{i=1}^{l} S_i; \;\; S_i = \left(\bigcup_{j=1}^{m} B_j \right) \bigcup \left(\bigcup_{k=1}^{n} D'_k \right);$$

$$B = \bigcup_{i=1}^{p} B_i; \;\; B_i = \left(\bigcup_{j=1}^{q} D_j \right) \bigcup \left(\bigcup_{k=1}^{s} D'_k \right);$$

$$D \bigcup D' = \{d_1, d_2, ..., d_n\}; \;\; D \bigcap D' = \varnothing,$$

где S – множество секций в изделии F;

B – множество блоков;

D' и D – множество деталей, не входящих и входящих в состав блоков;

d_i – деталь, являющаяся элементом множества D или D'.

Для структурно-атрибутивного описания объекта проектирования используют математический аппарат полихроматических множеств и графов, расширяющий возможности традиционной теории графов в области моделирования сложных систем. С его помощью выполняют анализ объектов проектирования в целях формирования обобщенной модели мебельного изделия и последующего алгоритмического контроля корректности выполняемых проектных операций.

При графоаналитическом описании с любым мебельным объектом сопоставляют ряд основных свойств (атрибутов), каждое из которых можно отнести к одной из групп: атрибуты мебельной конструкции и отношения между ними. С учетом специфики конструирования корпусной мебели выделяют следующие отношения между элементами: вложенность, или принадлежность ($\in$); выравнивание ($\equiv$); пропорциональность ($\div$); симметрия ($\supset|\supset$); зеркальность ($\supset|\subset$); сопряжение ($\leftrightarrow$).

Для описания различных типов отношений между элементами мебельного изделия используют структурированный хроматический граф с параллельными ребрами: $G(V,E) = G_N \bigcup G_A \bigcup G_S \bigcup G_I \bigcup G_M \bigcup G_P$. Каждый из подграфов, включенных в него, имеет одинаковое число вершин и различное число ребер, отражающих свойства отношений, присущих данному подграфу:

$$G_N(V,E_N);\; G_A(V,E_A);\; G_S(V,E_S);\; G_I(V,E_I);\; G_M(V,E_M);\; G_P(V,E_P),$$

где E_N, E_A, E_S, E_I, E_M, и E_P, – соответственно множество отношений вложенности, выравнивания, симметрии, сопряжения, зеркальности, пропорциональности.

Объединение эскизно-структурной, структурно-атрибутивной и графоаналитической моделей образуют ОСАМ, которая обеспечивает необходимый информационный континуум для высокоуровневого моделирования мебельных изделий. Она может быть представлена следующим образом:

$$M_{\text{ОСАМ}}=\left(\bigcup_{i=1}^{N}(g_i \cup s_i)\right)\cup\left(\bigcup_{i=1}^{M}\bigcup_{k=1}^{L_i}\bigcup_{\substack{j=1,\\ j\neq i}}^{M} S_{ik}^{j}\right)\cup\left(\bigcup_{i=1}^{N}\bigcup_{\substack{j=1,\\ j\neq i}}^{N} F_{i,j}^{1}\right)\cup\left(\bigcup_{i=1}^{N}\bigcup_{j=1}^{M} F_{ij}^{2}\right)\cup\left(\bigcup_{k=1}^{P} f_k\right)\cup\left(\bigcup_{i=1}^{N}\bigcup_{j=1}^{M}\bigcup_{k=1}^{P} K_{ijk}^{t}\right),$$

где N – число геометрических элементов в изделии;

M – число уровней иерархической декомпозиции объекта проектирования;

L_j – мощность множества структурных элементов j-го уровня декомпозиции;

P – количество внешних структурно-сопряженных связей объекта в рамках модели мебельного изделия или ансамбля;

g_i – вектор геометрических параметров i-го элемента, включающий в себя соответственно габаритные параметры, координаты характеристических точек параметрических кривых, задающих форму деталей и параметры визуализации, $g_i = \{g_i^g, g_i^p, g_i^v\}$;

s_i – вектор структурных параметров i-го элемента, состоящих соответственно из функциональных, конструктивных и технологических параметров, $s_i = \{s_i^f, s_i^k, s_i^t\}$;

$S_{i,k}^{j}$ – вектор связей k-го структурного элемента i-го уровня декомпозиции с элементами других уровней;

F_{ij}^{1}, F_{ij}^{2} – внутренние сопряжения элементов объекта проектирования, относящихся соответственно разным иерархическим уровням объекта и элементам одного иерархического уровня;

f_k – внешние сопряжения объекта в рамках модели мебельного ансамбля;

$K_{ij,k}^{t}$ – КТТО, предъявляемые к объекту проектирования.

Система КТТО $\left(\bigcup_{i=1}^{N}\bigcup_{j=1}^{M}\bigcup_{k=1}^{P} K_{ijk}^{t}\right)$ отражает конструкторские и технологические ограничения, присущие конкретному производству, и может быть представлена следующими компонентами:

$$<T_g, T_s, T_m, T_f, T_o, P, \Psi>,$$

где T_g, T_s, T_m, T_f, и T_o – ограничения, определяемые геометрией изделия; его структурой; конструкционными материалами; элементами сопряжения; производственными условиями, требованиями технологических процессов, станочным оборудованием и инструментами;

P – предикатные символы, определенные на объединении непересекающихся множеств $\{(\cup T_i) \cup G \cup S \cup U\}$;

$i=\{g, s, m, f\}$;

Ψ – функция формального отображения, которая ставит в соответствие любому предикатному символу $p \in P$ определенное значение из множества числовых параметров.

Определенная таким образом ОСАМ выступает в качестве «информационного ядра», обеспечивающего информацией как проектирующие конструкторско-технологические подсистемы САПР, так и программные модули автоматизированной информационной системы управления предприятием.

Методология автоматизации позаказного производства на принципах концепции БОПП в условиях обострения конкуренции на потребительском рынке имеет универсальный характер и может применяться в других отраслях промышленности, ориентированных на непосредственную работу с потребителем. Создание конкурентоспособных промышленных производств, использующих современные научно обоснованные подходы к автоматизации и приоритеты в развитии, поможет достигнуть значительного социально-экономического эффекта.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Бунаков, П.Ю.* Новая парадигма проектирования САПР сложной корпусной мебели для позаказного промышленного производства: [Текст] монография / П.Ю. Бунаков, А.В. Стариков, А.А. Старикова, В.Н. Харин. – М.: МГУЛ, 2007. – 319 с.

2. *Стариков, А.В.* Основные положения концепции «безошибочного» проектирования и производства сложных изделий корпусной мебели и особенности их реализации [Текст] / А.В. Стариков, В.Н. Харин, П.Ю. Бунаков // Математическое моделирование, компьютерная оптимизация технологий, параметров оборудования и систем управления лесного комплекса: межвуз. сб. науч. тр. – Воронеж: ВГЛТА, 2005. – Вып. 10. – С. 233–237.

Поступила 24.03.08

P.Yu. Bunakov[1], *A.V. Starikov*[2], *V.N. Kharin*[2], *S.Ya. Gusev*[3], *A.A. Starikova*[2]
[1] Kolomna Branch of Moscow State Open University
[2] Voronezh State Forestry Engineering Academy
[3] Syktyvkar Forest Institute

Perspective Computer-aided Design of Compound Cabinet Furniture: Conceptual Basics, Design Paradigm, Realization Peculiarities

The main conditions of the faultless design concept and production of compound cabinet furniture items as the basis of building CAD of new generation taking into account the peculiarities of modern furniture production.

Keywords: CAD, new paradigm of design, concept of faultless design and production, structural-and-attributive model.

ХИМИЧЕСКАЯ ПЕРЕРАБОТКА ДРЕВЕСИНЫ

УДК 502.175:661.163:663.417.7

А.Ф. Троянская, А.В. Вельямидова

Институт экологических проблем Севера УрО РАН

Троянская Антонина Федоровна родилась в 1946 г., окончила в 1968 г. Архангельский лесотехнический институт, кандидат химических наук, заведующий лабораторией экоаналитических исследований Института экологических проблем Севера УрО РАН. Имеет более 120 печатных трудов в области рационального природопользования при химической переработке древесины и химического загрязнения окружающей среды.
E-mail: labecoarh@yandex.ru

Вельямидова Анна Владиславовна родилась в 1978 г., окончила в 2000 г. Архангельский государственный технический университет, младший научный сотрудник лаборатории экоаналитических исследований Института экологических проблем Севера УрО РАН, аспирант. Имеет 6 печатных работ в области химического загрязнения окружающей среды.
E-mail: labecoarh@yandex.ru

СОВРЕМЕННОЕ СОСТОЯНИЕ ПОЧВ ПО ЗАГРЯЗНЕНИЮ УСТОЙЧИВЫМИ ХЛОРОРГАНИЧЕСКИМИ СОЕДИНЕНИЯМИ ОТ ПРИМЕНЕНИЯ ПЕНТАХЛОРФЕНОЛЯТА НАТРИЯ НА ТЕРРИТОРИИ АРХАНГЕЛЬСКОЙ ОБЛАСТИ

Рассмотрено современное состояние почв по загрязнению остаточными количествами пентахлорфенолята натрия (ПХФН) спустя 30 лет после прекращения его использования (на примере Коношского лесозавода). Показано поведение каждого из высоколипофильных компонентов препарата ПХФН в почвах под влиянием фактора времени.

Ключевые слова: пентахлорфенолят натрия, антисептирование древесины, почвы, экстрагируемый органически связанный хлор, пентахлорфенол, гексахлорбензол, полихлорированные дибензо-*п*-диоксины и дибензофураны.

Загрязнение устойчивыми хлорорганическими соединениями (ХОС) территории Архангельской области характерно для стран с развитым лесопромышленным комплексом. Одним из значимых первичных источников ХОС при комплексной переработке древесины является использование препаратов пентахлорфенола/пентахлорфенолята натрия (ПХФ/ПХФН) в качестве биоцидов для защиты пиломатериалов от биопоражений. Препараты разных торговых марок отличались количественным содержанием и составом микропримесей [3]. Среди микропримесей, образующихся в процессе синтеза этих препаратов, хлорированные ароматические соединения, относящиеся к стойким органическим загрязнителям (СОЗ), которые обладают токсичностью, способностью к миграции, глобальному переносу и создают различную степень опасности для окружающей среды, особенно в условиях Севера.

Производство и потребление ПХФ/ПХФН, которые широко использовались еще с 30-х годов прошлого века, привели к загрязнению почв и водоемов. Хотя применение хлорфенольных биоцидов было прекращено в 80-х годах, для окружающей среды до настоящего времени представляют угрозу остаточные количества хлорфенольных биоцидов в почвах, так называемые «горячие точки» [12]. Инвентаризация загрязненных участков, количественная оценка остаточного содержания биоцидов и восстановление, а также изучение «судьбы» СОЗ в природе – основные меры по снижению загрязнения окружающей среды в настоящее время, которые реализуются в рамках национальных программ и международных соглашений [1, 6].

В отечественном промышленном препарате ПХФН, содержащем 89,6 % ПХФ в качестве основного вещества, присутствуют примеси полихлорированных дибензо-*п*-диоксинов и дибензофуранов (ПХДД/ПХДФ) и гексахлорбензола (ГХБ) [3], относящихся к категории СОЗ «непреднамеренного производства». ПХДД, ПХДФ и ГХБ – высоколипофильные соединения, коэффициент распределения которых в системе октанол/вода ($\log K_{OW}$) соответственно составляет 5,80…13,37 и 5,50, – относятся к группе неионогенных (нейтральных) гидрофобных соединений. ПХФ, имея также ароматическую структуру, является ионогенным высоколипофильным соединением ($\log K_{OW}$ = 5,24). Отличие физико-химических свойств значительно влияет на поведение этих соединений в природных матрицах.

В результате обследования промплощадок четырех предприятий Архангельской области в начале 90-х годов, выполненного в рамках ФЦП «Диоксин», обнаружено высокое остаточное содержание ПХФ в почвах, преимущественно в неионизированной форме, спустя 7…10 лет после прекращения применения препарата [4, 11]. Установлены практически одинаковые уровни остаточных ПХФ и ПХДД/ПХДФ в почвах, аналогичные тенденции горизонтального и вертикального распределения. Подобные закономерности наблюдали и другие исследователи, изучая последствия применения различных по составу хлорфенольных биоцидов [8, 12].

Цель данных исследований – изучить современное состояние почв на промплощадках лесозаводов по загрязнению устойчивой хлорорганикой (на примере Коношского лесозавода, прекратившего применение ПХФН в 1987 г.).

Методы исследований

В 2002 г. при обследовании промплощадки лесозавода были составлены карты-схемы отбора проб почв (30 проб) в соответствии с ГОСТ 17.4.402 – 84 на пяти глубинах, см: 0…20, 20…40, 40…60, 60…80, 80…100. Гранулометрический состав почвы определяли по ГОСТ 12536 – 79, органический углерод и азот – методом сухого сжигания пробы с последующим газохроматографическим анализом продуктов пиролиза на C, H, N-анализаторе «Hewlett-Packard».

Выполнен целевой анализ проб почв, предполагающий определение ПХФ, ГХБ, ПХДД и ПХДФ, а также суммарного параметра ЭОХ (экстрагируемый органически связанный хлор), который является экологическим

параметром [7] и характеризует содержание низкомолекулярных относительно гидрофобных хлорорганических соединений, выделяемых экстракцией органическими растворителями.

Пробу почвы экстрагировали смесью гексан/ацетон методом проточной жидкостной экстракции. В аликвоте экстракта в соответствии с немецким стандартом DIN 38414 ч.17 определяли ЭОХ на АОХ-анализаторе (IDC, Германия) путем минерализации в токе кислорода при температуре 950 ^{o}C с последующим детектированием образовавшихся хлорид-ионов методом микрокулонометрического титрования. После обработки экстракта концентрированной серной кислотой определяли устойчивую фракцию ЭОХ ($ЭОХ_{уст}$), характеризующую содержание ХОС с log K_{OW} > 3 [9]. Нижняя граница диапазона обнаружения ЭОХ и $ЭОХ_{уст}$ – 0,1 мкг Cl^-/г.

Фракцию нейтральных соединений экстракта после обработки щелочью и очистки от органических примесей анализировали на содержание ГХБ на газовом хроматографе «Кристалл 5000.1» с электронно-захватным детектором. В аликвоте экстракта, содержащего кислые соединения, определяли ПХФ в неионизированной форме (свободное состояние) методом высокоэффективной жидкостной хроматографии на приборе «Милихром-4», в щелочном растворе остатка после экстракции исходной пробы почвы, обработанном серной кислотой до pH 7,0, – ПХФ в ионизированной форме (связанное состояние). Нижняя граница диапазона обнаружения ГХБ – 0,001 мкг/г, ПХФ – 0,4 мкг/г. Анализ проб на содержание ПХДД/ПХДФ методом хромато-масс-спектрометрии выполнен в аккредитованной лаборатории аналитической токсикологии Института проблем эволюции и экологии им. А.Н. Северцова РАН (г. Москва).

Почвы промплощадки лесозавода относятся к пескам связным и супесям. На участках антисептирования в верхних слоях почвы, представляющей собой смесь песка, торфа, мелкой щепы и опилок, содержание органического углерода составляло от 7,82 до 11,83 % и сокращалось по глубине в 2–4 раза. На более удаленных участках уровень органического углерода в почве варьировал от 2,10 до 3,20 % при относительно равномерном распределении по глубине. Содержание фракции с размером частиц менее 0,01 мм на нижних горизонтах – 3,44…10,31 %; pH 6,7…8,7.

Обсуждение результатов

Выявлены высококонтрастные поля загрязнения остаточными количествами высоколипофильных хлорорганических соединений по типу «горячих точек» [6]. Как показано на рис. 1, уровень ЭОХ в почвах варьировал от 3 до 30838 мкг $C1^-$/г сухого вещества. В поверхностном слое почв на участках с высокой нагрузкой, где хранили препараты, готовили рабочие растворы и обрабатывали пиломатериалы, найдено максимальное содержание ЭОХ (от 14499 до 30838 мкг $C1^-$/г). По мере удаления от основных технологических узлов его содержание в почвах уменьшалось, варьируя от 6,5 до 90,0 мкг $C1^-$/г.

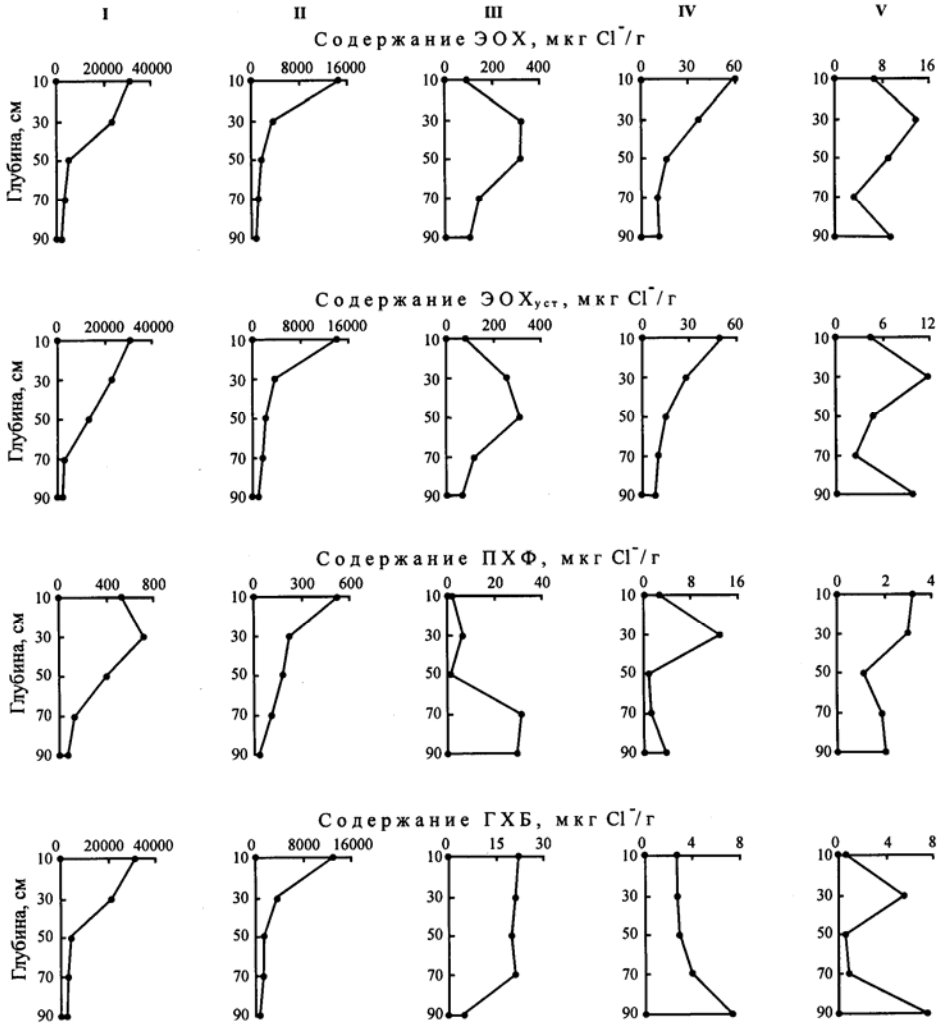


Рис. 1. Распределение хлорорганических соединений в почвах Коношского лесозавода: I – площадка приготовления рабочего раствора антисептика; II – площадка выгрузки антисептированных пиломатериалов; III – участок атмосферной сушки антисептированных пиломатериалов; IV – участок погрузки антисептированных пиломатериалов; V – участок на берегу оз. Нижнее, удаленный на 300 м от ванны антисептирования

Практически на всех участках обнаружено аналогичное вертикальное распределение ЭОХ, характеризующееся уменьшением загрязнения на глубине 80…100 см в 14 – 30 раз на участках с высокой нагрузкой и в 2,5 – 5 раз на менее загрязненных участках. В большинстве проб доля $ЭОХ_{уст}$ составляла от 70 до 100 %. На участках с высокой нагрузкой этот показатель был в пределах 91,2…100 %, на участках, удаленных от площадок антисептирования, он снижался до 50 %.

Установлено, что ПХФ и ГХБ являются основными компонентами $ЭОХ_{уст}$ на участках с высокой нагрузкой. В почвах этих участков не выявлена органическая форма азота, что подтверждает отсутствие жизнедеятельности микроорганизмов под влиянием остаточных количеств биоцида.

ПХФ найден преимущественно в неионизированной форме, его количество в поверхностном слое почвы колеблется от 3,6 до 816 мкг/г, что хорошо согласуется с ранее полученными данными (от 0,2 до 705 мкг/г) для почв четырех лесозаводов спустя 5, 10 и 12 лет после прекращения использования ПХФН [2]. Известно [12], что остаточные концентрации ПХФ в почвах могут достигать до 4800 мкг/г.

ГХБ определен в поверхностном слое почвы в очень широком диапазоне концентраций (0,6…42268 мкг/г), его горизонтальное и вертикальное распределения аналогичны ЭОХ и ПХФ. Необходимо отметить, что ГХБ в большинстве проб (75,0 %) доминирует относительно ПХФ как в поверхностном слое, так и на глубине.

На участках с интенсивной нагрузкой выявлены максимальные уровни ГХБ, на 4 – 6 порядков превышающие ориентировочно допустимое количество в почвах (0,08 мкг/г). ГХБ здесь составляет от 86,0 до 100,0 % от ЭОХ как в поверхностном слое почв, так и на глубине до 100 см. При этом на поверхности соотношение ГХБ/ПХФ варьирует от 59:1 до 1:1, в то время как в препарате ПХФН оно составляло 1:30. По мере удаления от сильно загрязненных участков суммарное содержание ГХБ и ПХФ меньше величины ЭОХ и $ЭОХ_{уст}$, но каких-либо закономерностей в распределении между этими показателями не выявлено. Можно предполагать, что при малых концентрациях ПХФ и ГХБ здесь проявляется влияние других источников хлорорганических соединений, связанных преимущественно с процессами сжигания/горения (выбросы автотранспорта, теплоэнергетических установок и др.). Необходимо отметить, что на этих участках уровень органического азота варьирует от 0,07 до 0,23 %.

Содержание остаточных количеств полихлорированных диоксинов и фуранов в поверхностном слое почвы на участке антисептирования достигает 4384,4 нг/г и мало изменяется на глубине 20…40 и 80…100 см, составляя 4066,9 и 3138,7 нг/г соответственно. Это сравнительно высокий уровень загрязнения при диапазоне концентраций остаточных ПХДД/ПХДФ от 17,2 до 215 000 нг/г сухого вещества, определяемых в почвах на территориях лесозаводов, применявших ПХФН [12]. В единицах эквивалентной токсичности (I-TEQ) уровень ПХДД/ПХДФ – 449,251; 371,593 и 196,287 нг I-TEQ/г сухого вещества. Важно отметить, что количество пентахлорфенола и ПХДД/ПХДФ на глубине 80…100 см практически идентично: 3,6 и 3,138 мкг/г.

При обработке результатов выявлено сходство гомологических и изомер-специфических конгенерных профилей ПХДД/ПХДФ в препарате ПХФН и почвах (рис. 2).

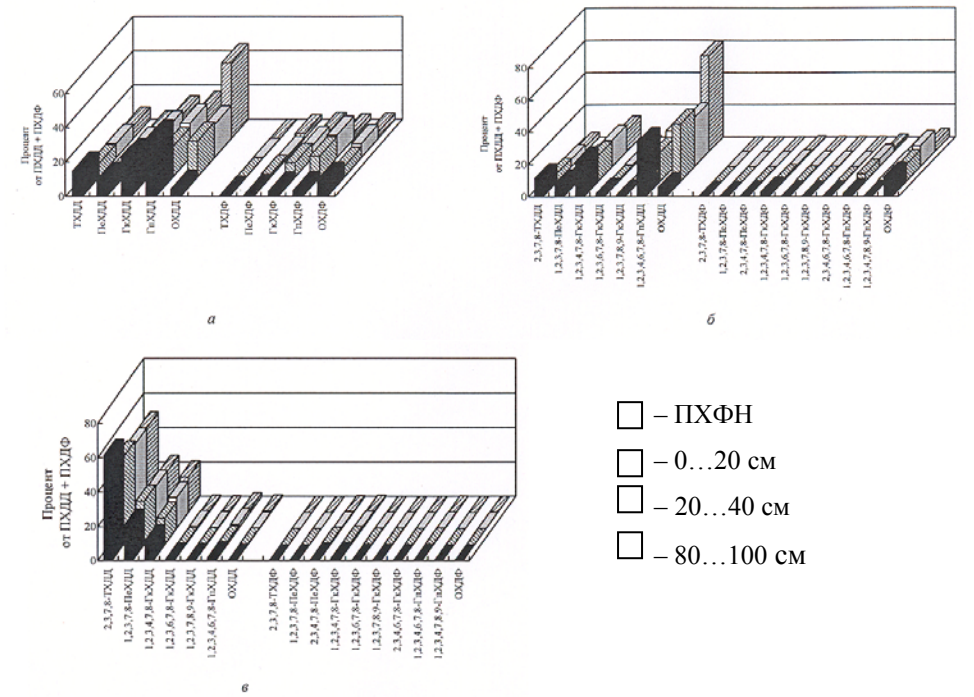


Рис. 2. Нормализованные гомологические (*а*) и изомер-специфические (*б*, *в*) профили ПХДД/ПХДФ в массовых концентрациях (*б*) и в I-TEQ (*в*) в препарате ПХФН и почвах Коношского лесозавода на разной глубине: ТХДД – тетрахлордибензо-*п*-диоксины, ПеХДД – пентахлордибензо-*п*-диоксины, ГкХДД – гексахлордибензо-*п*-диоксины, ГпХДД – гептахлордибензо-*п*-диоксины, ОХДД – октахлордибензо-*п*-диоксин, ТХДФ – тетрахлордибензофураны, ПеХДФ – пентахлордибензофураны, ГкХДФ – гексахлордибензофураны, ГпХДФ – гептахлордибензофураны, ОХДФ – октахлордибензофуран

В составе ПХДД/ПХДФ преобладают полихлорированные диоксины (79,8…92,9 % от общего содержания) при вкладе от 95,6 до 98,4 % в эквивалентную токсичность. Суммарный вклад трех основных конгенеров (2, 3, 7, 8-ТХДД; 1, 2, 3,7, 8-ПеХДД и 1,2,3,4,7,8-ГкХДД) варьирует от 98,4 до 95,9 %, а их относительное распределение является характерным «отпечатком пальцев» ПХФН [3]. Отличие в том, что в почвах наблюдается увеличение доли высокохлорированного ОХДД в общей концентрации ПХДД/ПХДФ до 51,7… 64,5 % по сравнению с препаратом ПХФН (5,6 %) при одновременном снижении доли 2,3,7,8-ТХДД и 1,2,3,7,8-ПеХДД почти на порядок. Это перераспределение, скорее всего, отражает изменение профиля ПХДД/ПХДФ в условиях длительного воздействия совокупности природных и антропогенных факторов и обусловлено различиями свойств конгенеров ПХДД и ПХДФ (растворимость в воде, способность к деградации, липофильность и т. д.).

Полученные данные свидетельствуют о накоплении остаточных количеств высоколипофильных хлорароматических соединений

(ГХБ, ПХДД/ПХДФ и ПХФ) в почвах Коношского лесозавода и возможности их перемещения в водоем. Выявлены идентичные тенденции в вертикальном распределении этих компонентов ПХФН в почвах. Характер распределения хлорорганических соединений в почвах отличается от их распределения в препарате, что свидетельствует о различии их поведения в промышленных почвах лесозавода.

Так, при рассмотрении адсорбции и десорбции как наиболее важных процессов, влияющих на перемещение химических соединений в почве, показатель pH является основным фактором, определяющим форму нахождения гидрофобных ионогенных соединений в почве, отличающихся растворимостью и адсорбционной способностью [5]. В связи с этим можно предполагать, что в годы интенсивного, но сезонного (с мая по октябрь) применения ПХФН в виде щелочного раствора с pH 10,3 происходило активное пропитывание почвы и проникновение его в подземные и поверхностные воды. За счет изменения pH и растворимости ПХФ при поступлении в почву происходило его постепенное осаждение и накопление по мере продвижения вглубь. Как показано в эксперименте, к настоящему моменту в почвах остаточный ПХФ в основном находится в адсорбированном виде в неионизированной форме, что замедляет его дальнейшее перемещение.

Не растворимые в воде высоколипофильные нейтральные соединения обладают высокой адсорбционной способностью, иммобильны в почвах. Их сорбционное поведение практически не зависит от pH, а регулируется в основном липофильностью и содержанием органического углерода в природных матрицах. Однако в присутствии органических соединений и коллоидных частиц почвы, играющих роль «курьеров», они могут перемещаться в подземные и поверхностные воды [10]. Вероятно, кроме ПХФН, к сопутствующим веществам, повышающим подвижность ПХДД/ПХДФ и ГХБ в почвах, относятся и нефтепродукты, довольно распространенные на промплощадках, так как процесс антисептирования был связан с интенсивной эксплуатацией различных транспортных средств и механизмов.

Таким образом, в загрязнение почв остаточными количествами ПХФН наибольший вклад в настоящее время вносит ГХБ. Выявленное высокое содержание остаточных высоколипофильных устойчивых к деградации соединений в почвах Коношского лесозавода, расположенного в климатических условиях Севера, по-прежнему, представляет высокий риск загрязнения окружающей среды за счет переноса воздушными и водными потоками.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Стокгольмская конвенция о стойких органических загрязнителях [Текст] // UNEP Chemical. – 2001. – 54 с.

2. *Троянская, А.Ф.* Загрязнение почв лесоэкспортных предприятий пентахлорфенолом [Текст] / А.Ф. Троянская [и др.] //Лесн. журн. – 1998. – № 2–3. – С. 147 –153. – (Изв. высш. учеб. заведений).

3. *Троянская, А.Ф.* Содержание токсичных примесей в промышленных полихлорфенольных соединениях [Текст] / А.Ф. Троянская, Д.П. Мосеева, Н.А. Рубцова // Химия в интересах устойчивого развития. – 2004. – Т. 12. – С. 225 – 231.

4. *Троянская, А.Ф.* Экологические последствия применения пентахлорфенолята натрия на деревообрабатывающих предприятиях Архангельской области [Текст] // Диоксины – суперэкотоксиканты XXI века: информ. вып. / А.Ф. Троянская, Д.П. Мосеева, Н.А. Рубцова – М.: ВИНИТИ, 1998. – № 3. – С. 1 – 9.

5. *Christodoulatos, C.* Adsorption of pentachlorphenol by natural soils [Text] / C. Christodoulatos [et al.] // J. Environ. Sci. Health. – 1994. – Vol. 29, N 5. – P. 883 – 884.

6. Dioxin and Furan Inventories. Nathional and Regional Emission of PCDD/PCDF [Текст] // UNEP Chemical. – May, 1999. – 144 p.

7. *Graig, G.R.* Toxity and bioaccumulation of AOX and EOX [Text] / G.R. Graig [et al.] // Pulp and Paper Canada. – 1990. – N 3. – P. 39 – 40.

8. *Kitunen, V.* Analysis of chlorinated phenols, phenoxyphenols and dibenzofurans around wood preserving facilities [Text] / V. Kitunen, R. Valo, M. Salkinoja-Salonen // Intern. J. Environ. Anal. Chem. – 1985. – Vol. 20. – P. 13 – 28.

9. *Martinsen, K.* Method for determination of sum parameters and characterization of organochlorine compounds in spent bleach liquors from pulp mills and water, sediment and biological samples from receiving waters [Text] / K. Martinsen // Wat. Sci. Tech. – 1988. – Vol. 20. – P. 13 – 24.

10. *Persson, Y.* PCDD/Fs in colloidal ground mater fractions and filtered groundwater from a contaminated sawmill site [Text] / Y. Persson, L. Öberg, M. Tysklind // Organohalogen Compounds. – 2006. – Vol. 68. – P. 2347 – 2350.

11. *Troyanskaya, A.* Contamination of natural matrixes with persistent organic pollutants a result of wood treatment in the northern regions of Russia [Text] / A. Troyanskaya [et al.] // Organohalogen Compounds. – 2003. – Vol. 62. – P. 61 – 64.

12. *Tysklind, M.* Chlorphenol sites in Sweden – a major dioxin reservoir with complex contamination pattern [Text] / M. Tysklind [et al.] // Organohalogen Compounds. – 2006. – Vol. 68. – P. 895 – 898.

Поступила 08.08.08

A.F. Troyanskaya, A.V. Veliamidova
Institute of Ecological Problems of the North, Ural Branch of RAS

Current Soil State regarding Pollution with Persistent Organochlorine Compounds due to Use of Commercial Formulation of Sodium Pentachlorophenolate in Arkhangelsk Region

The current state of soils regarding pollution with residual amounts of sodium pentachlorophenolate thirty years after its application cease (on the example of Konosha sawmill) is considered. The behavior of each high-lipophilic component in the commercial formulation of sodium pentachlorophenolate in soils under the time factor influence is shown.
Keywords: sodium pentachlorophenolate, wood preservation, soils, organic halogens, pentachlorophenol, hexachlorobenzene, polychlorinated dibenzo-*p*-dioxins and dibenzofurans.

УДК 676.014:537.5280

Н.А. Матонина, Д.Г. Чухчин, О.М. Соколов

Архангельский государственный технический университет

Матонина Наталья Александровна родилась в 1977 г., окончила в 2000 г. Поморский государственный университет, аспирант кафедры биотехнологии Архангельского государственного технического университета.
Тел.: (8182) 21-61-45

Чухчин Дмитрий Германович родился в 1971 г., окончил в 1993 г. Архангельский лесотехнический институт, кандидат технических наук, доцент кафедры биотехнологии Архангельского государственного технического университета. Имеет более 70 печатных работ в области химической переработки древесины.
Тел.: (8182) 21-61-45

Соколов Олег Михайлович родился в 1936 г., окончил в 1960 г. Ленинградский технологический институт ЦБП, доктор химических наук, профессор, заведующий кафедрой биотехнологии, президент Архангельского государственного технического университета, академик Международной академии наук, РИА, РАЕН, Академии проблем качества РФ, чл.-кор. МИА, заслуженный деятель науки РФ. Имеет около 200 научных трудов в области исследования процессов сульфатной варки, изучения свойств и применения технических лигнинов.
Тел.: (8182) 21-89-65

ПРАКТИЧЕСКИЕ АСПЕКТЫ ПРИМЕНЕНИЯ ЭЛЕКТРОГИДРАВЛИЧЕСКОГО ЭФФЕКТА ДЛЯ ОБРАБОТКИ ЦЕЛЛЮЛОЗЫ

Предложено использовать электрогидравлический эффект для обработки целлюлозных образцов.

Ключевые слова: электрогидравлический эффект, разрядная ячейка, электронно-пучковая плазма, формирующий воздушный промежуток.

Существуют различные химические и физические способы воздействия на древесину и ее компоненты.

Гидролитическая деструкция. Под гидролитической деструкцией обычно понимают процесс разрушения полисахаридов под действием воды, проявляющийся разрывом гликозидных связей с присоединением воды по месту разрыва; это разрушение может катализироваться кислотами различных концентраций и некоторыми ферментами [6].

Деструкция, вызванная γ-излучением. В области энергии γ-квантов от 20 кэВ до 10 МэВ, к которой относится излучение, генерируемое изотопными источниками и радиационными контурами, основными процессами взаимодействия с веществом являются фотоэлектрический эффект и эффект Комптона [3]. Гамма-излучение изменяет структурные, химические, физические и механические свойства древесины. Эти изменения зависят от дозы облучения и породы дерева.

Фотохимическая деструкция. Кванты УФ-излучения обладают энергией, равной той, которая необходима для разрушения химических связей в полимерах древесины. Практически из широкого спектра электромагнитного излучения ощутимое влияние на древесину оказывает только его коротковолновая часть [5]. У целлюлозы в результате воздействия УФ-лучей уменьшается степень полимеризации и увеличивается содержание карбоксильных и карбонильных групп, причем глубина превращения в этих реакциях строго пропорциональна продолжительности облучения.

Деструкция ускоренными электронами. Этот вид обработки может быть альтернативой γ-обработке. Себестоимость электронного излучения в 2–2,5 раза меньше себестоимости γ-излучения ^{60}Co [2]. В промышленности для различных технологий используются ускорители с энергией электронов от 100 кэВ до 3 МэВ. Основные причины ограниченного распространения этих методов на обработку древесины – низкий КПД и высокая энергоемкость процесса.

Электронно-пучковая плазма (ЭПП) используется как способ воздействия на различные материалы. Принципиальное отличие ЭПП от пучка ускоренных электронов состоит в том, что активными частицами являются не только «быстрые» электроны, но и ионы, радикалы и медленные электроны плазмы. Обработку ЭПП можно проводить в широком диапазоне температур и давлений с любыми плазмообразующими газами, при этом КПД преобразования электроэнергии в химическую энергию ионов и радикалов составляет более 90 % [1]. К недостаткам ЭПП можно отнести низкую глубину проникновения ее в обрабатываемый материал.

Актуальны поиск и разработка новых технологий, основанных преимущественно на физических воздействиях на древесное сырье, таких, которые приводили бы к его деструктивному разложению, сопоставимому с химической деструкцией.

Нами обращено внимание на достаточно известный, но сравнительно мало изученный в применении к растительным материалам метод дисфункции высокомолекулярных соединений, называемый электрогидравлическим эффектом (ЭГЭ).

ЭГЭ – многофакторный физико-химический процесс, в котором участвуют ударные волны с гидростатическим давлением 10^2 ... 10^3 МПа, плазма с температурой до $1 \cdot 10^4$ К, импульсное электромагнитное поле, рентгеновское, световое и тепловое излучения [4]. Поэтому можно предположить, что ЭГЭ может служить альтернативой ЭПП.

Сущность ЭГЭ состоит в том, что при образовании зоны вокруг специально сформированного импульсного электрического (искрового, кистевого и др. форм) разряда внутри объема жидкости, находящейся в открытом или закрытом сосуде, в ней возникают сверхвысокие гидравлические давления, способные совершать полезную механическую работу и сопровождающиеся комплексом физических и химических явлений [7]. В основе ЭГЭ лежит явление резкого увеличения гидравлического и гидродинамического эффектов и амплитуды ударного действия при осуществлении импульсного электрического разряда в ионопроводящей жидкости.

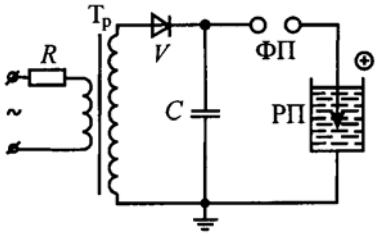
Теоретически обосновано и подтверждено экспериментами, что ЭГЭ как метод механического, физического и химического воздействия на материалы можно эффективно применять в химической промышленности для полимеризации – усложнения молекулярной структуры веществ; получения блок-полимеров; деполимеризации – упрощения молекулярной структуры веществ; синтеза химических соединений; повышения активности катализаторов; ускорения химических реакций; образования многовалентных ионов; осаждения; ускорения растворения веществ [7].

Известно, что ЭГЭ обладает мощным комплексным воздействием на жидкость. Электромагнитные поля разрядов, образование плазмы и ее участие в последующей интенсивной ионизации и рекомбинации ионов в зоне разряда делают воздействие ЭГЭ на жидкость сходным с процессами радиационной химии и способствуют возникновению в жидкости сложных химических соединений.

Осуществление ЭГЭ связано с относительно медленным накоплением энергии в источнике питания и практически мгновенным ее выделением в жидкой среде.

Цель данной работы – оценить эффективность воздействия ЭГЭ на деструкцию целлюлозы. Для создания электрогидравлических ударов использовали схему (см. рисунок), включающую источник питания с конденсатором *C* в качестве накопителя электрической энергии. Напряжение на конденсаторе повышали до значения, при котором происходит самопроизвольный пробой воздушного формирующего промежутка (ФП), и вся энергия, запасенная в конденсаторе, мгновенно поступала на рабочий промежуток (РП) в жидкости, где и выделялась в виде короткого электрического импульса большой мощности. Далее процесс при заданных емкости и напряжении повторяли с частотой, зависящей от мощности питающего трансформатора (Тр).

Воздушный формирующий промежуток позволяет накапливать заданное количество энергии с импульсной подачей ее на рабочий промежуток; значительно сокращать длительность импульса и предотвращать возникновение колебательных процессов; регулированием длины формирующего промежутка изменять форму импульса и характер разряда на рабочем промежутке в жидкости.



Электрическая схема для воспроизведения ЭГЭ с одним формирующим промежутком: *R* – зарядное сопротивление, *V* – выпрямитель

Именно формирующий промежуток обостряет импульс тока, что позволяет перейти к напряжениям гораздо большим, чем напряжение пробоя рабочего промежутка в жидкости.

Жидкость, получив ускорение от расширяющегося с большой скоростью канала разряда, перемещается от него

во все стороны, образуя на месте возникновения разряда значительную полость, названную кавитационной, и вызывая первый (основной) гидравлический удар. Затем полость с такой же большой скоростью смыкается, создавая второй кавитационный гидравлический удар. На этом единичный цикл ЭГЭ заканчивается, он может повторяться неограниченное число раз.

Частоты и амплитуды жестких режимов (напряжение $U \geq 50$ кВ) ЭГЭ способны сообщать интенсивные колебания даже отдельным молекулам. В этом случае внутренние напряжения могут и будут способствовать разрушению химических связей.

В работе [4] определены физические параметры ЭГЭ для обработки лигниновых продуктов. Для оценки снижения предпробойных потерь были проведены эксперименты при различной длине оголенного участка потенциального электрода постоянного диаметра. В пределах точности эксперимента при уменьшении длины не обнаружено снижения потерь [4].

В данной работе были использованы импульсный конденсатор (C = 0,1 мкФ, U = 70 кВ) и высоковольтный трансформатор (U = 50 кВ). Разрядная ячейка была изготовлена из нержавеющей стали с медным электродом. В момент зарядки можно было определить силу тока на первичных обмотках цепи.

В наших исследованиях в качестве образцов использовали водные суспензии сульфатной хвойной беленой целлюлозы и хлопковой целлюлозы. Суспензию целлюлозы в воде (концентрация 50 г/л) помещали в цилиндрическую разрядную ячейку (диаметр 85 мм, длина 140 мм) вместимостью 1 л и обрабатывали высоковольтными разрядами. Длина оголенного участка медного электрода – 10 мм. При увеличении расстояния между электродами воздушного формирующего промежутка до 100 мм увеличивалось напряжение на конденсаторе. Эксперимент проводили при напряжении 48 кВ.

Степень помола сульфатной хвойной беленой целлюлозы, определенная на приборе СР-2 типа Шоппер–Риглера, составляла 18° ШР, после обработки серией из 20 электрогидравлических разрядов она уменьшилась на 2° ШР.

По окончании эксперимента в образцах также определяли количество растворимых в 5 %-м растворе NaOH веществ (ЩРВ), массовую долю легкогидролизуемых полисахаридов (ЛГП) и концентрацию редуцирующих веществ (РВ) в экстракте эбулиостатическим методом. Данные приведены в таблице.

Состав (% от абс. сухой древесины) образцов целлюлозы до (числитель) и после (знаменатель) ЭГЭ

Образец	ЩРВ	ЛГП	РВ
Сульфатная хвойная беленая целлюлоза	8,58/9,90	10,00/10,80	0,09/0,11
Хлопковая целлюлоза	6,84/8,60	10,25/8,00	0,09/0,10

В ходе исследований установлено, что в результате электрогидравлической обработки происходит механическая и химическая деструкция целлюлозы; удельные энергозатраты на обработку целлюлозы при установленной мощности 3,3 кВт составили 6,6 МДж/кг.

Можно предположить, что с увеличением напряжения на конденсаторе и продолжительности действия ЭГЭ будет происходить значительная деструкция целлюлозы. Это может стать предметом наших дальнейших исследований.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Бычков, В.Л.* Электронно-пучковая плазма. Генерация, свойства, применение [Текст]: учеб.пособие / В.Л. Бычков, М.Н. Васильев, А.С. Коротеев. – М.: МГОУ, 1993. – 168 с.

2. *Джагацнанян, Р.В.* Введение в радиационно-химическую технологию [Текст] / Р.В. Джагацнанян, В.И. Косаротов, Н.Т. Филиппов. – М. Атомиздат, 1979. – 288 с.

3. *Долацис, Я.А.* Радиационно-химическое модифицирование древесины [Текст] / Я.А. Долацис. – Рига: Зинантне, 1985. – 218 с.

4. Теоретические и практические аспекты применения электрогидравлического эффекта для обработки гидролизного лигнина [Текст] / Н.В. Иванова, В.Г. Горохова, А.А. Шишко [и др.] // Лесн. журн. – 1999. – №4. – С.91–95. – (Изв. высш. учеб. заведений). – (Изв. высш. учеб. заведений).

5. *Хенли, Э.* Радиационная химия [Текст] / Э. Хенли, Э. Джонсон. – М.: Атомиздат, 1987. – 317 с.

6. *Холькин, Ю.И.*Технология гидролизных производств [Текст]: учеб. / Ю.И. Холькин. – М.: Лесн. пром-сть, 1989. – 496 с.

7. *Юткин, Л.А.* Электрогидравлический эффект и его применение в промышленности [Текст] / Л.А. Юткин. – М.; Л.: Машиностроение, 1986. – 250 с.

Поступила 15.10.08

N.A. Matonina, D.G. Chukchin, O.M. Sokolov
Arkhangelsk State Technical University

Practical Aspects of Electrohydraulic Effect Application for Pulp Treatment

The electrohydraulic effect is suggested to use for pulp samples treatment.

Keywords: electrohydraulic effect, discharge cell, electron-beam plasma, shaping clearance.

УДК 634.0.813.11

Ю.Г. Хабаров[1], Л.А. Песьякова[1], Н.Д. Камакина[1], О.С. Бровко[2]

[1]Архангельский государственный технический университет
[2]Институт экологических проблем Севера УрО РАН

Хабаров Юрий Германович родился в 1950 г., окончил в 1972 г. Архангельский лесотехнический институт, доктор химических наук, профессор кафедры технологии ЦБП Архангельского государственного технического университета. Имеет более 190 печатных трудов в области химической переработки древесины.
E-mail: khabarov@agtu.ru

Песьякова Любовь Александровна родилась в 1982 г., окончила в 2004 г. Архангельский государственный технический университет, аспирант кафедры технологии ЦБП АГТУ. Имеет 12 печатных трудов в области химии древесины, методов определения лигнинов.
E-mail: khabarov@agtu.ru

Камакина Наталья Дмитриевна родилась в 1953 г., окончила в 1975 г. Архангельский лесотехнический институт, кандидат технических наук, доцент кафедры технологии целлюлозно-бумажного производства Архангельского государственного технического университета. Имеет более 50 печатных работ в области переработки сульфитных щелоков.
E-mail: khabarov@agtu.ru

Бровко Ольга Степановна родилась в 1961 г., окончила в 1983 г. Архангельский лесотехнический институт, кандидат химических наук, старший научный сотрудник лаборатории химии лигнина Института экологических проблем Севера УРО РАН. Имеет более 70 печатных работ в области физикохимии растительных полимеров, оксредметрии, комплексообразования полиэлектролитов.
Тел.: 28-54-15

ИЗУЧЕНИЕ ФОТОМЕТРИЧЕСКОЙ РЕАКЦИИ ЛИГНОСУЛЬФОНОВЫХ КИСЛОТ С АЗОТНОЙ КИСЛОТОЙ

Показано, что фотометрическая реакция лигносульфоновых кислот с азотной кислотой начинается после индукционного периода. Предложена схема окислительно-восстановительных превращений и выполнен планированный кинетический эксперимент, который выявил влияние концентрации азотной кислоты и расхода нитрита натрия на течение фотометрической реакции.

Ключевые слова: лигносульфоновые кислоты, нитрование, автокатализ, нитрит натрия.

Развитие методов аналитической химии лигнина происходит по нескольким направлениям: применение новых приборов (ИК-Фурье спектроскопия, ИК-спектроскопия в ближней области спектра, лазерная спектроскопия), использование новых реагентов и совершенствование известных методов [2].

Для фотометрического определения лигнинов в лигноцеллюлозных материалах применяют азотную кислоту [3]. Концентрацию образующихся в условиях анализа окрашенных производных лигнина измеряют при

длине волны 425 нм. Для фотометрического определения лигносульфоновых кислот предложено анализируемый раствор обрабатывать 14 %-й азотной кислотой при нагревании [4].

Отмечено, что в процессе нитрования ЛСК при комнатной температуре изменение окраски раствора происходит не сразу: первоначально на кинетической кривой оптическая плотность раствора практически постоянна, затем быстро увеличивается до некоторого предельного значения (рис. 1). Такого вида кинетические кривые характерны для сильно экзотермических процессов, тепловой эффект которых достаточен, чтобы ускорить химическую реакцию (1-й тип); для автокаталитических процессов, в которых

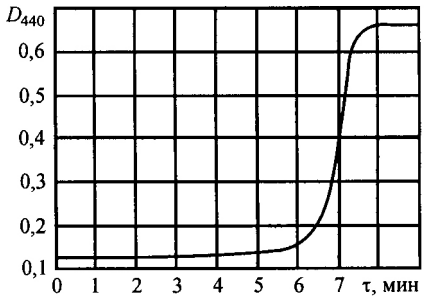
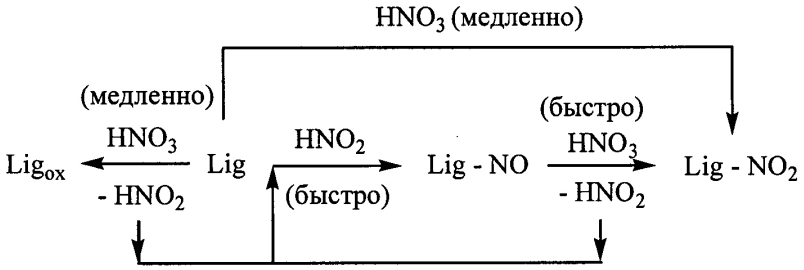


Рис. 1. Кинетика фотометрической реакции ЛСТ с азотной кислотой (концентрация ЛСТ – 8 г/л, HNO_3 – 14 %)

продукт реакции является катализатором (2-й тип); для процессов, в которых основная реакция в присутствии ингибитора начинается только тогда, когда он полностью израсходуется (3-й тип); для процессов, в ходе которых образуются промежуточные соединения, ускоряющие его (4-й тип) [1].

Было сделано предположение, что при проведении фотометрической реакции ЛСТ с азотной кислотой получается промежуточное соединение, ускоряющее реакцию нитрования (4-й тип). Так как азотная кислота является и окислителем, то в ходе реакции могут образовываться нитрит-анионы, которые ее ускоряют. Участие азотистой кислоты заключается в нитрозировании ароматических ядер ЛСТ. Нитрозопроизводные образуются быстрее, чем нитропроизводные, кроме того, они легко окисляются азотной кислотой с образованием окрашенных нитропроизводных. Эти превращения можно проиллюстрировать следующей схемой:



Как видно из предлагаемой схемы азотистая кислота может образоваться в результате реализации двух процессов – окисления лигносульфонатов и окисления промежуточных нитрозопроизводных.

Для проверки этого предположения были проведены опыты с добавлением от 1 до 5 % (от массы ЛСТ) нитрита натрия, которые показали, что в этих условиях фотометрическая реакция протекает без индукционного периода и ее продолжительность $\tau_р$ линейно уменьшается с ростом расхода нитрита:

$$\tau_р = 113{,}3 - 13{,}1\,P\ (R^2 = 0{,}98),$$

где P – расход нитрита натрия, % от массы ЛСТ.

В дальнейшем был проведен кинетический планированный эксперимент, план которого представлен в табл. 1.

Таблица 1

План эксперимента

Номер опыта	Расход $NaNO_2$		Концентрация HNO_3	
	Кодированное значение	Процент от массы ЛСТ	Кодированное значение	Процент от массы ЛСТ
1	-1	0,132	-1	10,4
2	1	0,369	-1	10,4
3	-1	0,132	1	17,4
4	1	0,369	1	17,4
5	-1,682	0,050	0	14,0
6	+1,682	0,450	0	14,0
7	0	0,250	-1,682	8,0
8	0	0,250	1,682	20,0
9…13	0	0,250	0	14,0

При выполнении эксперимента растворы $NaNO_2$ заданных концентраций готовили разбавлением исходного раствора концентрацией 1 мг/мл; раствор ЛСТ концентрацией 1 мг/мл – из диализованных ЛСТ ОАО «Группа ИЛИМ» (г. Коряжма); растворы HNO_3 концентрацией 8,0; 10,4; 14,0; 17,4 и 20,0 % – разбавлением концентрированной (55,13 %) кислоты.

Фотометрическую реакцию проводили следующим образом. К 0,5 мл раствора ЛСТ добавляли 0,5 мл раствора $NaNO_2$ и 10 мл раствора HNO_3, заданных планом эксперимента концентраций, перемешивали и фиксировали время. Сразу после перемешивания раствор помещали в кювету спектрофотометра (толщина рабочего слоя 1 см). Реакцию контролировали по изменению оптической плотности D при длине волны 440 нм с интервалом 5 с. Результаты обрабатывали на ЭВМ с помощью программы DERIV01, для подбора аппроксимирующего уравнения использовали программу AKSONOM2.

Для обработки кинетических кривых зависимости $D = f(\tau)$ пересчитывали в концентрационные. Для этого было принято допущение, что максимальная оптическая плотность, достигнутая в планированном эксперименте, соответствует 100 % конверсии ЛСТ в продукты фотометрической реакции. Это допущение основано на том, что независимо от концентрации HNO_3 конечное значение оптической плотности продуктов реакции остава-

лось постоянным (0,783). Оптическую плотность персчитывали в степень конверсии по формуле

$$C = \frac{(D_i - 0{,}117)}{(0{,}783 - 0{,}117)} 100\,\%,$$

где D_i , 0,117 и 0,783 – текущее, начальное и максимальное значения оптической плотности.

Полученные кинетические кривые подвергали математической обработке по следующей схеме.

Максимальную скорость фотометрической реакции $V_{мах}$ определяли по результатам численного дифференцирования кинетической кривой с помощью кубической сплайн-функции по программе DERIV01; продолжительность индукционного периода $\tau_и$ – по абсциссе точки пересечения касательных на активном и начальном участках кинетической кривой (рис. 2); продолжительность реакции $\tau_р$ – по абсциссе точки пересечения касательных на активном и конечном участках кривой, что соответствует завершению химической реакции (рис. 2).

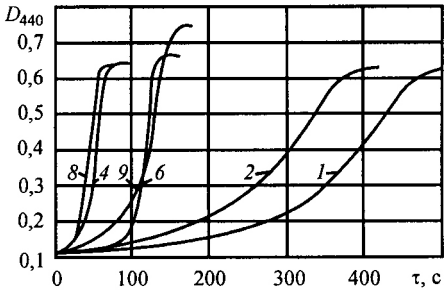


Рис. 2. Кинетические кривые фотометрической реакции (номер кривой совпадает с номером опыта в табл. 1, 2)

Азотная кислота является реагентом, который проявляет свойства как окислителя, так и электрофильного реагента, способного замещать атомы водорода бензольного кольца. Соотношение этих свойств азотной кислоты зависит от концентрации, температуры, характера растворителя, присутствия других компонентов, которые могут служить инициаторами или ускорителями химических процессов.

Таблица 2

Результаты реализации планированного эксперимента

Номер опыта	Расход $NaNO_2$, % от массы ЛСТ	Концентрация HNO_3, %	Конечная оптическая плотность при 440 нм				Продолжительность индукционного периода, мин				Максимальная скорость изменения оптической плотности при 440 нм, $с^{-1}$			
			D_1	D_2	$D_{ср}$	S	τ_1	τ_2	$\tau_{ср}$	S,	V_1	V_2	$V_{ср}$	S
1	0,132	10,4	0,627	0,622	0,624	0,4	5,20	5,60	5,4	3,7	0,17	0,20	0,19	8,1
2	0,369	10,4	0,627	0,606	0,617	1,7	3,90	4,60	4,25	8,2	0,2	0,22	0,21	4,8
3	0,132	17,4	0,662	0,643	0,652	1,4	1,78	1,70	1,74	2,3	1,40	1,30	1,35	3,7
4	0,369	17,4	0,637	0,643	0,640	0,4	0,60	0,72	0,66	9,1	1,40	1,35	1,38	1,8
5	0,05	14,0	0,657	0,624	0,640	2,6	4,60	3,20	3,90	17,9	0,66	0,70	0,68	2,9
6	0,45	14,0	0,621	0,611	0,616	0,8	1,10	1,00	1,05	4,8	0,73	0,78	0,76	3,3
7	0,25	8,0	0,714	0,688	0,701	1,9	6,90	7,00	6,95	0,7	0,15	0,12	0,14	11,1

8	0,25	20,0	0,773	0,733	0,753	2,7	0,28	0,32	0,30	6,7	2,25	2,15	2,20	2,3
9	0,25	20,0	0,783	0,783	0,783	0,0	1,80	1,80	1,80	0,0	0,78	0,76	0,77	1,3
10	0,25	14,0	0,725	0,744	0,734	1,3	2,00	2,00	2,00	0,0	0,76	0,77	0,77	0,7
11	0,25	14,0	0,716	0,732	0,724	1,1	1,65	1,80	1,73	4,3	0,80	0,76	0,78	2,6
12	0,25	14,0	0,720	0,753	0,722	0,3	1,95	1,70	1,83	6,8	0,85	0,81	0,83	2,4
13	0,25	14,0	0,759	0,743	0,751	1,1	1,75	1,70	1,73	1,4	0,90	0,84	0,87	3,4

Примечание. *S* – отклонение от среднего значения, %.

Окислительное действие азотной кислоты приводит к тому, что в продуктах реакции накапливаются оксо- и карбокси-группы. Если карбонильные группы сопряжены с ароматическими ядрами, то в этом случае они выступают в качестве сильных хромофоров, которые вносят существенный вклад в фотометрическую реакцию.

При выполнении кинетического эксперимента фиксировали изменение оптической плотности во времени, расчетным путем определяли максимальную скорость реакции, графически – индукционный период. Кинетические кривые, построенные по результатам некоторых опытов, приведены на рис. 2, полученные результаты – в табл. 2.

Эксперимент показал, что концентрация азотной кислоты и расход нитрита существенно влияют на продолжительность как индукционного периода, так и реакции в целом. Наиболее быстро фотометрическая реакция протекает в опытах 4 и 8 (рис. 3), что связанно с достаточно высокой концентрацией азотной кислоты и большим расходом нитрита натрия.

При составлении кинетической модели химического процесса важно определить порядок реакции. В планированном кинетическом эксперименте его устанавливали стандартным методом. Для этого кинетические кривые перестраивали в полулогарифмические (для уравнений 1-го порядка) и обратные (для уравнений 2-го порядка) зависимости. Оказалось, что уравнения 1 и 2-го порядков не позволяют описать кинетическую кривую с хорошей точностью, т.е. фотометрическая реакция является более сложной (максимальное значение коэффициента парной корреляции не превысило 0,74). Для того, чтобы с хорошей точностью аппроксимировать эти анаморфозы прямыми необходимо выбрать как минимум два временны́х участка.

Полученные экспериментальные данные были подвергнуты дополнительной математической обработке. Первоначально была предпринята попытка подобрать уравнение, которое связало бы степень превращения не только с концентрациями реагентов, но и продолжительностью фотометрической реакции. Были опробованы полиноминальные зависимости до 3-й степени, степенные, экспоненциальные, логарифмические, обратные функции, но удовлетворительной точности аппроксимации достичь не удалось. Описание сигмоидных кривых с помощью опробованных функций оказалось невозможным. Для лучшей модели средняя относительная погрешность составила 22,5 %.

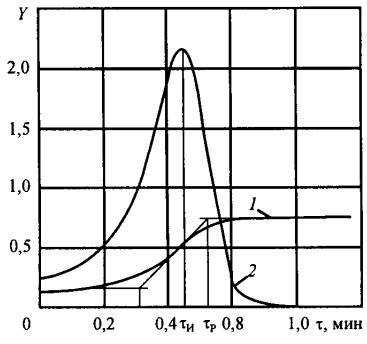


Рис. 3. Кинетическая (*1*) и дифференциальная (*2*) кривые фотометрической реакции в планированном эксперименте (опыт 8)

В дальнейшем с помощью программы AKSONOM2 были подобраны уравнения – полиномы 2-го порядка, которые связывают расход $NaNO_2$ и концентрацию HNO_3 с продолжительностью индукционного периода, максимальной скоростью и конечной концентрацией продуктов фотометрической реакции. Расчеты выполнены для натуральных и кодированных величин и переменных факторов. Наилучшие регрессионные уравнения, в которых переменные факторы использованы в натуральных величинах, приведены ниже (s – средняя относительная погрешность аппроксимации, %):

$$1/C = 0{,}02 - 0{,}03X_1 + 0{,}07\,X_1^2 - 0{,}0006X_2 + 0{,}00002\,X_2^2 + 0{,}00005X_1X_2 \quad (s = 4{,}9\ \%);$$

$$\tau_и = -3{,}5 + 0{,}29/X_1 - 0{,}012/X_1X_1 + 34{,}4/X_2 + 291{,}5/X_2X_2 + 1{,}8/X_1X_2 \quad (s = 11{,}9\ \%);$$

$$V_{max} = 7{,}9 - 0{,}04/X_1 + 0{,}00003/X_1X_1 - 155{,}2/X_2 + 772{,}3/X_2X_2 + 0{,}5/X_1X_2 \quad (s = 7{,}4\ \%).$$

Выбранные уравнения регрессии лучше описывают зависимость степени конверсии от переменных факторов (погрешность 4,9 %). Максимальная погрешность (11,9 %) определена для зависимости продолжительности индукционного периода.

Таким образом, изучение фотометрической реакции лигносульфонатов с азотной кислотой показало, что она представляет собой сложный процесс, ускорение которого катализируется образованием в результате окислительных превращений промежуточных нитрозопроизводных лигносульфонатов.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Денисов, Е.Т.* Кинетика гомогенных химических реакций [Текст] / Е.Т. Денисов. – М.: Высш. шк., 1988. – 390 с.

2. *Хабаров, Ю.Г.* Аналитическая химия лигнина [Текст] / Ю.Г. Хабаров, Л.А. Песьякова. – Архангельск: Изд-во АГТУ, 2008. – 166 с.

3. *Henriksen, A.* The Nu-number, a measure of lignin in pulp [Text] / A. Henriksen, R.B. Kesler // Tappi. – 1970. – Vol. 53, N 6. – P.1131–1140.

4. *Khabarov, Y.G.* Photometric determination of ligninsulfonic acids with the aid of the nitric acid [Text] / Y.G. Khabarov, L.A. Pesyakova, O.S. Brovko//Utilization of lignocellulosics and by-products of pulping: Eighth European Workshop on Lignocellulosics and Pulp, August 22–25, 2004. – Riga, Latvia, 2004. – P. 233–236.

Поступила 10.10.08

Yu.G. Khabarov[1], L.A. Pesjakova[1], N.D. Kamakina[1], O.V. Brovko[2]
[1]Arkhangelsk State Technical University
[2]Institute of Ecological Problems of the North, Ural Branch of RAS

Study of Photometric Reaction of Lignosulfonic Acids with Nitric Acid

The photometric reaction of lignosulfonic acids with nitric acid is shown to start after the induction period. It is assumed that such reaction behavior is caused by oxidation-reduction transformations resulting in the nitric acid production in the reaction system acting as the accelerator of photometric reaction. The transformation scheme is suggested and the planned kinetic experiment is carried out having revealed the effect of nitric acid concentration and sodium nitrite consumption on the photometric reaction behavior.

Keywords: lignosulfonic acids, nitration, autocatalysis, sodium nitrite.

МЕТОДИКА И ПРАКТИКА ПРЕПОДАВАНИЯ

УДК 630*902(075.5)

И.В. Евдокимов

Вологодская государственная молочнохозяйственная академия

О ПРЕПОДАВАНИИ ИСТОРИИ ЛЕСНОГО ХОЗЯЙСТВА В ВУЗЕ

Показана необходимость включения дисциплины «История лесного хозяйства России» в перечень Государственного общеобразовательного стандарта при подготовке лесоводов в вузе.

Ключевые слова: лесное хозяйство, история, учебная дисциплина.

Лесное хозяйство России как отрасль имеет богатейшую историю, фундамент которой заложен еще русским реформатором Петром I. Минуло два столетия со времени учреждения Лесного департамента (1798 г.) и начала высшего лесного образования в России (1803 г.). Сколько с тех пор произошло значимых событий в развитии отечественной лесной науки и практики, какие славные имена вписаны в скрижали истории лесного хозяйства!

Лесовод пожинает плоды созданного в прошлом, а в своем настоящем сеет и растит леса для будущего. Поэтому нельзя пользоваться лесом, выращенным несколькими поколениями лесоводов, безошибочно вести лесное хозяйство, не зная его истории.

В перечне Государственного общеобразовательного стандарта (ГОС) нет ни одной обязательной учебной дисциплины, которая широко и всесторонне рассматривала бы различные стороны лесной науки и практики, особенно в ретроспективном плане. Поэтому почетная и ответственная роль должна отводиться дисциплине «История лесного хозяйства России», которая читалась в первых лесных вузах еще в XIX в.: С.-Петербургском лесном институте, Петровской земледельческой и лесной академии и Ново-Александрийском институте сельского хозяйства и лесоводства.

В современной России подготовкой лесоводов по специальности 250201.65 (260400) «Лесное хозяйство» занимаются более 50 вузов, и в большинстве из них изучение истории отрасли, биографий ее выдающихся деятелей затруднено из-за отсутствия в ГОС специальной дисциплины. Однако в рамках регионально-национального компонента ГОС многие вузы на свое усмотрение вводят дисциплины, не предусмотренные стандартом. Так, сегодня специалист-лесовод должен знать лесную сертификацию, устойчивое управление лесами, выживание в экстремальных условиях, декоративное садоводство, заповедное дело и др.

В Вологодской государственной молочнохозяйственной академии (ВГМХА) им. Н.В. Верещагина в 2003 г. введена и преподается на III курсе дисциплина «История лесного хозяйства России». Для этого потребовалось разработать рабочую программу, лекции, практические и семинарские занятия. Возникла острая потребность в специальной литературе. В XIX столетии вышли классические труды по истории лесного хозяйства В.Е. Врангеля «История лесного законодательства

Российской империи» (1841), Н.В. Шелгунова «История русского лесного законодательства» (1857), Ф.К. Арнольда «История лесоводства в России, Франции и Германии» (1895) и др., в XX в. история лесной науки обобщена в книге И.С. Мелехова «Очерк развития науки о лесе в России» (1957). Эти работы используются в обучении студентов.

Заслуживает благодарности деятельность издательства Московского государственного университета леса (МГУЛ), в котором изданы и переизданы труды ряда классиков отечественного лесоводства, в том числе работы Е.Ф. Зябловского, Ф.К. Арнольда, М.К. Турского, К.Ф. Тюрмера, Г.Ф. Морозова, М.М. Орлова, А.А. Крюденера, Л.И. Иванова, И.С. Мелехова и др. по истории лесной науки. Весьма своевременен выход монографий Г.И. Редько и Н.Г. Редько «История лесного хозяйства России» (2002) и «Лесное хозяйство России в жизнеописании его выдающихся деятелей» (2003), являющихся сегодня по сути учебными пособиями при изучении истории лесного дела.

За последние 10…15 лет появились многочисленные работы по истории лесного хозяйства в отдельных регионах. Это статьи в периодической печати и сборниках, монографии, из них наиболее крупные: В.А. Дудин «История костромских лесов» (2000); Н.Г. Васильев, А.Н. Поляков, О.А. Савельев «Лесоводы Петровской и Тимирязевской академии» (2000); «Лесное хозяйство и лесные ресурсы Республики Коми» (2000); М.Д. Мерзленко «В лесных дачах Центральной России» (2001, 2002); Н.Н. Чернов «Творческое наследие уральских лесоводов XIX – начала XX вв.» (2001); О.А. Неволин, А.Н. Грицынин «История Березниковского лесхоза» (2002); «Лесной комплекс Вологодской области» (2003); Н.А. Бабич, М.Д. Мерзленко «Выдающиеся лесоводы-лесокультурники России» (2005); Г.В. Гуков «Лесоводы Дальнего Востока» (2005); Л.Ф. Ипатов «Судьба ректора Горохова и его семьи» (2006); Н.Н. Чернов, Е.П. Смолоногов, З.Я. Нагимов «История лесоустройства на Урале» (2006); «История лесного хозяйства и лесоводы Челябинской области» (2006) и др.

Интересны капитальные труды по истории и современному состоянию лесоустройства на Европейском Севере. Пятидесятилетнюю историю Архангельской лесоустроительной экспедиции обобщили С.В. Ердяков, О.А. Неволин, Б.В. Трубин и др. в книге «История Архангельского лесоустройства» (2000). В монографии «Лесоустройство» (2003) ее авторы О.А. Неволин, С.В. Третьяков, С.В. Ердяков, С.В. Торхов на основе многолетнего научно-производственного опыта проследили становление и развитие отечественного лесоустройства. Содержание книги гораздо шире ее скромного названия и отражает историю развития всего лесного хозяйства в лесах Севера.

Все сказанное подтверждает необходимость ввести в Государственный общеобразовательный стандарт в качестве обязательной для изучения дисциплину «История лесного хозяйства России».

Поступила 30.05.08

I.V. Evdokimov
Vologda State Dairy Academy

On Teaching History of Forestry at Higher Education Institutes

The necessity of including the course “History of Forestry” into State General Standard when teaching foresters at higher education institutes is demonstrated.

Keywords: forestry, history, course.

КРАТКИЕ СООБЩЕНИЯ И ОБМЕН ОПЫТОМ

УДК 621.184.5

А.Э. Пиир[1], А.Ю. Верещагин[1], В.Б. Кунтыш[2]

[1]Архангельский государственный технический университет
[2] Белорусский государственный технологический университет

Пиир Адольф Эдвардович родился в 1940 г., окончил в 1962 г. Архангельский государственный лесотехнический институт, доктор технических наук, профессор кафедры промышленной теплоэнергетики Архангельского государственного технического университета. Имеет более 150 научных работ в области теории теплофикационных энергоустановок и конвективного теплообмена в ребристых поверхностях нагрева.
Тел.: (8182) 21-61-75

Верещагин Андрей Юрьевич родился в 1983 г., окончил в 2005 г. Архангельский государственный технический университет, ассистент кафедры промышленной теплоэнергетики, аспирант. Имеет 6 печатных работ в области исследования тепловых и аэродинамических характеристик биметаллических ребристых труб калориферов лесосушильных камер.
E-mail: anyver@mail.ru

Кунтыш Владимир Борисович родился в 1941 г., окончил в 1963 г. Ленинградский технологический институт ЦБП, доктор технических наук, профессор Белорусского государственного технологического университета, чл.-кор. Международной энергетической академии и академик Международной академии холода. Имеет более 290 печатных трудов в области интенсификации конвективного теплообмена развитых поверхностей при внешнем обтекании их однофазными газовыми теплоносителями и теоретических основ для проектирования высокоэффективных теплообменников воздушного охлаждения энергоносителей.
Тел.: (375-17) 226-46-12

МЕТОДИКА ПРОЕКТИРОВАНИЯ И РАСЧЕТ ТЕПЛОПЕРЕДАЧИ В КАЛОРИФЕРАХ ЛЕСОСУШИЛЬНЫХ КАМЕР ИЗ БИМЕТАЛЛИЧЕСКИХ РЕБРИСТЫХ ТРУБ

Представлена упрощенная методика проектирования калориферов лесосушильных камер из биметаллических ребристых труб.

Ключевые слова: калориферы, теплопередача, аэродинамическое сопротивление, пучки труб, конструкторский и поверочный расчеты.

Биметаллические ребристые трубы (БРТ) с ленточными или накатными алюминиевыми ребрами – самый эффективный тип ребристой поверхности для газожидкостных теплообменников из выпускаемых отечественной промышленностью. Именно эти трубы успешно применяют при реконструкции калориферных установок импортных лесосушильных камер, поскольку алюминиевая оболочка устойчива к кислой воздушной среде сушильной камеры и надежно защищает от коррозии стальную несущую трубу.

Среди различных проектных решений конструкции калорифера оптимальным будет то, которое наиболее полно отвечает исходным условиям (с учетом запаса) по тепловой производительности, аэродинамическому сопротивлению и габаритам фронтального сечения.

Формулы, описывающие процесс передачи теплоты в калорифере, более подробно рассмотрены в работе [3]. Они образуют параметрическую систему уравнений, искомые величины которой (длина труб L, ширина калорифера B, число поперечных рядов пучка z, число ходов по теплоносителю x) обычно находят подбором скорости воздуха w_2 на основании расчета большого числа вариантов. При этом выполняют много ненужной вычислительной работы, а в случае применения персонального компьютера найденный вариант, как правило, является наилучшим среди рассмотренных, но не абсолютным «чемпионом».

Цель нашей работы – сокращение до минимума объема вычислений при проектировании оптимальной конструкции калорифера.

Нами предложен способ получения теплоаэродинамических характеристик пучков БРТ с накатными ребрами, который отличается простотой, поскольку не требует итерации, а при определении размеров и конфигурации калорифера используют параметрические формулы теплоотдачи и теплопередачи для расчета аэродинамического сопротивления – упрощенные, но точные зависимости.

Рассмотрим предложенный метод проектирования на примере.

Задание. Определить ширину пучка B, длину L и число n теплообменных трубок, число поперечных рядов пучка z, число ходов по теплоносителю x, площадь теплообменной поверхности F калорифера для лесосушильной камеры. Требования к конструкции калорифера: габариты проема для его размещения 2,5×1,5 м; расход воздуха при нормальных условиях V = 10 м^3/с; начальная температура воздуха t_2 = 50 °С ; подогрев воздуха с учетом 10 %-го запаса Δt_2 = 24 °С; аэродинамическое сопротивление калорифера ΔP_2 = 240 Па; температура греющей воды t_1'/t_1''150/70 °С.

Используемые обозначения

S_1 и S_2' – поперечный и диагональный шаги размещения труб в шахматном пучке;

d_0 – диаметр у основания ребра;

h – высота ребер;

S – шаг ребер;

Δ – толщина ребра у его вершины;

d_1 – внутренний диаметр трубы, м;

$t_{1ср}$ и $t_{2ср}$ – средняя температура воды и нагреваемого воздуха;

Δt_1 и Δt_2 – изменение температуры воды и температуры воздуха,°С;

$\Delta t_р$ – располагаемый температурный напор, °С, $\Delta t_р = t_1' - t_2'$;

$R_з$ и $R_к$ – термическое сопротивление загрязнений и контакта, м^2·К/Вт;

$\delta_с$ и $\delta_а$ – толщина стальной и алюминиевой стенки, м;

$\lambda_с$ и $\lambda_а$ – коэффициенты теплопроводности стали и алюминия, Вт/(м·К).

На первом этапе проектирования определим исходные геометрические, температурные, физические параметры и теплоаэродинамические характеристики трубного пучка.

1. Выберем тип поверхности теплообмена.

Биметаллические ребристые трубы с накатным оребрением размерами $d_0 \times h \times s \times \Delta = 25 \times 14 \times 2{,}8 \times 0{,}6$ мм. Ребристая оболочка – алюминиевая, несущая труба – стальная. Трубы данного типа отличаются наивысшей тепловой эффективностью и продолжительным сроком службы в кислой атмосфере лесосушильных камер. Компоновка пучка – шахматная, равносторонняя; $S_1 = S_2' = 60$ мм. Схема движения воды – многоходовая, перекрестная, с расположением ходов в плоскости, перпендикулярной направлению движения воздуха.

2. Рассчитаем геометрические характеристики БРТ и трубного пучка.

Коэффициент оребрения

$$\varphi = 1 + \frac{2h(d_0 + h + \Delta)}{d_0 s} = 1 + \frac{2 \cdot 14(26 + 14 + 0{,}6)}{26 \cdot 2{,}8} = 16{,}62.$$

Коэффициент увеличения поверхности

$$\psi = \frac{\varphi d_0}{d_1} = \frac{16{,}62 \cdot 26}{21} = 20{,}57.$$

Площадь внутреннего проходного сечения трубы

$$f_1 = \frac{\pi d_1^2}{4} = \frac{3{,}14 \cdot 0{,}021^2}{4} = 3{,}464 \cdot 10^{-4} \text{ м}^2.$$

Удельная площадь наружной поверхности трубы

$$f_2 = \pi \varphi d_0 = 3{,}14 \cdot 16{,}62 \cdot 0{,}026 = 1{,}358 \text{ м}^2/\text{м}$$

Коэффициент сжатия потока в пучке

$$\chi = 1 - \frac{d_0 + 2h\Delta / s}{S_1} = 1 - \frac{26 + 2 \cdot 14 \cdot 0{,}6 / 2{,}8}{60} = 0{,}4667.$$

Коэффициент омывания поверхности

$$\omega = \frac{\chi S_1}{f_2} = \frac{0{,}4667 \cdot 0{,}060}{1{,}358} = 0{,}0206.$$

3. Определим параметры теплоносителей и их теплофизические свойства.

Параметры теплоносителя:

средняя температура воздуха

$$t_{\text{ср}2} = \frac{t_2' + t_2''}{2} = \frac{50 + 74}{2} = 62 \text{ °C};$$

средняя температура воды

$$t_{\text{ср}1} = \frac{t_1' + t_1''}{2} = \frac{70 + 150}{2} = 110 \text{ °C};$$

температура стенки в зоне контакта ребристой оболочки с несущей трубой [5]

$$t_{\text{к}} = 0{,}5(t_{1\text{ср}} + t_{2\text{ср}}) + 0{,}25(t_{1\text{ср}} - t_{2\text{ср}}) = 0{,}5(110 + 62) + 0{,}25(110 - 62) = 98 \text{ °C};$$

средний температурный напор в воздухонагревателе при перекрестном токе [4]

$$\Delta t_{\text{ср}} = \Delta t_{\text{Р}} - 0{,}6\Delta t_1 - 0{,}5\Delta t_2 = (t_1' - t_2') - 0{,}6(t_1' - t_1'') - 0{,}5(t_2'' - t_2') =$$
$$= (150 - 50) - 0{,}6(150 - 70) - 0{,}5(74 - 50) = 40\ ^\circ\ \text{C}.$$

Физические свойства сухого воздуха при температуре $t_{\text{ср2}}$= 62 °С:

кинематическая вязкость

$$\nu_2 = \left(13{,}28 + 0{,}09\overline{t_2}\right)\cdot 10^{-6} = (13{,}28 + 0{,}09 \cdot 62)\cdot 10^{-6} = 18{,}86 \cdot 10^{-6}\ \text{м}^2/\text{с};$$

теплопроводность

$$\lambda_2 = \left(2{,}43 + 0{,}008\overline{t_2}\right)\cdot 10^{-2} = (2{,}43 + 0{,}008 \cdot 62)\cdot 10^{-2} = 2{,}926 \cdot 10^{-2}\ \text{Вт/(м·К)};$$

плотность

$$\rho_2 = 1{,}293\frac{P}{P_{\text{б}}}\ \frac{1}{1 + \overline{t_2}/273} = 1{,}293\frac{760}{760}\ \frac{1}{1 + 62/273} = 1{,}054\ \text{кг/м}^3,$$

объемная теплоемкость

$$c_{\rho_2} = 1{,}005_{\rho_2} = 1{,}005 \cdot 1{,}054 = 1{,}059\ \text{кДж/(кг·К)}.$$

Физические свойства воды при средней температуре ($t_{\text{ср1}}$= 110 °С):

кинематическая вязкость $\nu_1 = 2{,}679 \cdot 10^{-7}$ м^2/с;

теплопроводность $\lambda_1 = 0{,}6813$ Вт/(м·К);

плотность $\rho_1 = 951{,}0$ кг/м^3;

удельная теплоемкость $c_{p1} = 4{,}230$ кДж/(кг·К);

критерий Прандтля $\text{Pr} = 1{,}582$.

Термическое сопротивление в зоне контакта БРТ [5]

$R_{\text{к}}$ = 0,22 + 0,002($t_{\text{к}}$ – 82) = 0,22 + 0,002(98 – 82) = 0,256 м^2·К/кВт.

4. Выберем критериальные и расчетные формулы и определим их упрощенные аналоги.

Коэффициент теплоотдачи от воды к внутренней стенке трубки α_1, Вт/(м^2·К), для приближенных расчетов

$$\alpha_1 \approx \left(1600 + 12{,}5\overline{t_1}\right)w_1^{0{,}8}/d_1^{0{,}2} = (1600 + 12{,}5 \cdot 110)w_1^{0{,}8}/0{,}021^{0{,}2} = 6442w_1^{0{,}8},$$

где w_1 – скорость воды, м/с.

Коэффициент полной приведенной теплоотдачи от ребристой трубы к воздуху α_2, Вт/(м^2·К), найдем из формулы [2]

$$\text{Nu}_2 = \frac{\alpha_2 d_0}{\lambda_2} = 0{,}36z^{-n}\left(\frac{S_1}{S_2}\frac{\Delta}{h}\right)^{0{,}25}\left(\frac{w_2 d_0}{\nu_2}\right)^n,$$

где z – число рядов;

n – параметр, учитывающий влияние числа рядов, $n = 0{,}6 \cdot z^{0{,}125}$;

w_2 – скорость воздуха, м/с.

При $z = 4$ и $n = 0{,}6 \cdot 4^{0{,}125} = 0{,}7135$ имеем

$$\alpha_2 = 0{,}36 z^{-n} \left(\frac{S_1}{S_2} \frac{\Delta}{h} \right)^{0{,}25} \left(\frac{w_2 d_0}{\nu_2} \right)^n \frac{\lambda_2}{d_0} =$$

$$= 0{,}36 z^{-0{,}7172} \left(\frac{60}{51{,}96} \frac{0{,}6}{14} \right)^{0{,}25} \left(\frac{w_2 \cdot 0{,}026}{15{,}98 \cdot 10^{-6}} \right)^{0{,}7172} \frac{0{,}0267}{0{,}026} =$$

$$= 34{,}09 z^{-0{,}7172} w_2^{0{,}7172} = 12{,}7 w_2^{0{,}7172}.$$

В первом приближении при $z = 4$ примем $\alpha_2 = 12 w_2^{0{,}75}$.

Аэродинамическое сопротивление трубного пучка с накатным оребрением при учете динамического напора потока воздуха [5]

$$\Delta P_2 = 12{,}9 C_z C_\varphi C_S \left(\frac{w_2 d_0}{\nu_2} \right)^{-0{,}28} \rho_2 w_2^2 (z+1),$$

где C_z – поправка на число рядов, $C_z = 1 + 0{,}01(6 - z)^2$;

C_φ – поправка на оребрение, $C_\varphi = (h + s)/d_0$;

C_S – поправка на компоновку трубок в пучке, $C_S = \dfrac{(d_0 + 2h)^{0{,}83}}{S_1^{0{,}5} S_2^{0{,}33}}$.

После подстановки геометрических данных и физических констант получим аэродинамическое сопротивление, Па,

$$\Delta P_2 = 1{,}22 w_2^{1{,}72} (z+1).$$

Соотношение скоростей теплоносителей при условии, что коэффициент теплоотдачи со стороны воды превышает коэффициент теплоотдачи со стороны воздуха в 2,5 раза ($\alpha_1 = 2{,}5\psi\alpha_2$ $w_1 = 0{,}05 w_2$) составит $w_1 = 0{,}05 w_2$.

Коэффициент теплопередачи в БРТ со стальной несущей трубой и накатной алюминиевой ребристой оболочкой, Вт/(м^2·К),

$$k = \frac{1}{\dfrac{1}{\alpha_2} + \psi \left(\dfrac{1}{\alpha_1} + R_з + R_к + \dfrac{\delta_с}{\lambda_с} + \dfrac{\delta_а}{\lambda_а} \right)}.$$

При сопряженных значениях скоростей $w_1 = 0{,}05 w_2$ из условия $\alpha_1 = 2{,}5\ \psi\alpha_2$ получим $k = 10\, w_2^{0{,}5}$.

Число поперечных рядов в пучке, необходимое для нагрева воздуха на Δt_2 при его средней скорости $w_2 = 10$ м/с,

$$z = \omega w_2 \frac{c_2}{k} \frac{\Delta t_2}{\Delta t_{ср}} \approx 6{,}9 \frac{\Delta t_2}{\Delta t_{ср}}.$$

Длина пути воды в трубах, необходимая для ее охлаждения на Δt_1 при средней скорости 0,5 м/с,

$$xL = \rho w_1 \frac{f_1}{f_2} \frac{c_1}{k} \frac{\Delta t_1}{\Delta t_{ср}} = 951 \cdot 0{,}5 \frac{0{,}0003464}{1{,}358} \frac{4{,}236}{31} \frac{\Delta t_1}{\Delta t_{ср}} = 16{,}6 \frac{\Delta t_1}{\Delta t_{ср}}.$$

Здесь x – число ходов;

L – длина трубы.

На втором этапе проектирования проведем конструкторский расчет размеров калорифера и конфигурации его пучка.

1. Число поперечных рядов в пучке

$$z = 6{,}9\frac{\Delta t_2}{\Delta t_{\text{ср}}} = 6{,}9\frac{24}{40} = 4{,}14\ .$$

Примем $z = 4$.

2. Скорость воздуха в сжатом сечении трубного пучка при ограничении общего напора вентилятора

$$w_2 = \left(\frac{\Delta p}{1{,}22(z+1)}\right)^{0{,}58} = \left(\frac{240}{1{,}22(4+1)}\right)^{0{,}58} = 8{,}46\ \text{м/с}.$$

3. Коэффициент теплопередачи

$$k = 10w_2^{0{,}5} = 10\cdot 8{,}46^{0{,}5} = 29{,}1\ \text{Вт/(м}^2\cdot\text{К)}.$$

4. Площадь поверхности теплообмена калорифера из условий теплопередачи

$$F_{\text{т}} = \frac{c_2 V\Delta t_2}{k\ \Delta t_{\text{ср}}} = \frac{1059\cdot 10\cdot 0{,}63}{29{,}1} = 229{,}1\ \text{м}^2.$$

5. Длина пути охлаждения воды

$$xL = 16{,}6\frac{\Delta t_1}{\Delta t_{\text{ср}}} = 16{,}6\cdot 2 = 33{,}2\ \text{м}.$$

Примем $x = 8$; $L = 4{,}2$ м.

6. Число ребристых труб в пучке

$$n = \frac{F_{\text{т}}}{f_2 L} = \frac{229{,}1}{1{,}358\cdot 4{,}2} = 40{,}2\ \text{шт}.$$

Примем $n = 40$, как величину, кратную числу рядов ($z = 4$) и числу ходов ($x = 8$).

На третьем этапе проектирования проведем поверочный тепловой расчет калорифера с размерами пучка $L = 4{,}2$ м и конфигурацией $x = 8$, $z = 4$, $n = 40$.

1. Фронтальное сечение пучка

$$S_{\text{ф}} = LS_1 i = 4{,}2\cdot 0{,}060\cdot 10 = 2{,}52\ \text{м}^2.$$

2. Скорость воздуха в сжатом фронтальном сечении

$$w_2 = \frac{V}{\chi S_{\text{ф}}} = \frac{10}{0{,}466\cdot 2{,}52} = 8{,}51\ \text{м/с}.$$

3. Коэффициент теплоотдачи от трубки к воздуху

$$\alpha_2 = 12{,}7w_2^{0{,}7172} = 12{,}7\cdot 8{,}51^{0{,}7172} = 59{,}8\ \text{Вт/(м}^2\cdot\text{К)}.$$

4. Коэффициент теплоотдачи от воды к внутренней стенке трубки

$$\alpha_1 = 6442w_1^{0{,}8} = 6442\cdot 0{,}453^{0{,}8} = 3415\ \text{Вт/(м}^2\cdot\text{К)}.$$

5. Скорость воды в трубах

$$w_1 = \frac{Gx}{\rho_1 f_1 n} = \frac{Qx}{\rho_1 f_1 c_1 \Delta t_1} = \frac{c_2 \Delta t_2 V}{c_1 \Delta t_1 \rho_1 f_1 n} =$$

$$= \frac{1059 \cdot 24 \cdot 10 \cdot 8}{4230 \cdot 80 \cdot 951 \cdot 0{,}0003464 \cdot 40} = 0{,}453 \text{ м/с}.$$

6. Коэффициент теплопередачи

$$k = \left[\frac{1}{59{,}8} + 20{,}57\left(\frac{1}{3415} + \frac{2}{10^4} + \frac{0{,}256}{10^3} + \frac{0{,}002}{40} + \frac{0{,}001}{200}\right)\right]^{-1} = 30{,}7 \text{ Вт/(м}^2\cdot\text{К)}.$$

7. Расход греющей воды

$$G = \frac{Q}{c_1 \Delta t_1} = \frac{c_2 \Delta t_2 V}{c_1 \Delta t_1} = \frac{1059 \cdot 24 \cdot 10}{4230 \cdot 80} = 0{,}752 \text{ кг/с}.$$

8. Действительный подогрев воздуха [1]

$$\Delta t_2 = \Delta t_{\text{р}}\left(\frac{c_2 V}{kF} + 0{,}6\frac{c_2 V}{c_1 G} + 0{,}5\right)^{-1} = 100\left(\frac{1059 \cdot 10}{30{,}7 \cdot 233} + 0{,}6\frac{1059 \cdot 10}{4230 \cdot 0{,}752} + 0{,}5\right)^{-1} = 25{,}1\ ^\circ\text{C}.$$

Калорифер с указанными размерами трубного пучка обеспечивает необходимый подогрев воздуха с запасом (25,1 – 22,0) ·100 % / 22 = 14 %, что превышает погрешность коэффициента теплопередачи, равную 10 %, и гарантирует надежную работу аппарата.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Пиир, А.Э.* Новая методика конструкторского и поверочного расчетов воздухоподогревателей [Текст] / А.Э. Пиир, В.Б. Кунтыш // Вестник междунар. академии холода. – 1998. – Вып. 3-4.– С. 36–40.

2. *Пиир, А. Э.* Обобщенная критериальная формула для расчета приведенной теплоотдачи в теплообменниках из биметаллических ребристых труб с накатным оребрением [Текст] / А.Э. Пиир // Совершенствование энергетических систем и технологического оборудования: сб. науч. тр. –Архангельск, 2002. – С. 132–136.

3. *Пиир, А. Э.* Основы проектирования высокоэффективных воздухонагревателей [Текст]: учеб. пособие / А.Э. Пиир. – Архангельск: Изд-во АГТУ, 1998. – 79 с.

4. *Пиир, А.Э.* Расчет температурного напора при перекрестном токе [Текст] / А.Э. Пиир, В.Б. Кунтыш // Лесн. журн. – № 5. – 1999. – С. 126–129. – (Изв. высш. учеб. заведений).

5. *Пиир, А.Э.* Результаты исследований воздухонагревателей из биметаллических ребристых труб [Текст] / А.Э. Пиир, В.Б. Кунтыш // Наука – северному региону: сб. науч. тр. – Архангельск, 2004. – С. 240–251.

Поступила 24.01.08

A.E. Piir[1], *A. Yu. Vereshchagin*[1], *V.B. Kuntysh*[2]
[1]Arkhangelsk State Technical University
[2]Belarusian State Technological University

Technique of Design and Calculation of Heat Transfer in Heaters of Timber Drying Kilns Made of Bimetallic Ribbed Pipes

The simplified model of designing heaters of timber-drying kilns made of bimetallic ribbed pipes is presented.

Keywords: heaters, heat transfer, aerodynamic resistance, pipe bunches, design and checking calculations.

УДК 630*6:681.3

М.Ю. Веретнов

Архангельский государственный технический университет

Веретнов Михаил Юрьевич родился в 1975 г., окончил в 1997 г. Архангельский государственный технический университет, начальник управления информатизации АГТУ. Имеет 12 печатных работ в области информатизации лесозаготовительных и учебного процессов.
E-mail: mixver@yandex.ru

О ПОВЫШЕНИИ ЭФФЕКТИВНОСТИ ЛЕСОЗАГОТОВИТЕЛЬНОГО ПРОЦЕССА ПРИ ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНОЙ ПОДДЕРЖКЕ РАЗРАБОТКИ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ КАРТ

Проанализировано применение экспертных систем для поддержки процессов принятия решений при текущем планировании лесозаготовительных процессов.

Ключевые слова: технологическая карта, лесосека, лесозаготовки, комплекс машин, интеллектуальная поддержка, экспертная система.

В лесном комплексе, как в любой другой отрасли, первым и самым значимым этапом является проектирование производственных процессов. От результатов этого процесса во многом зависит экономическая эффективность предприятия [1].

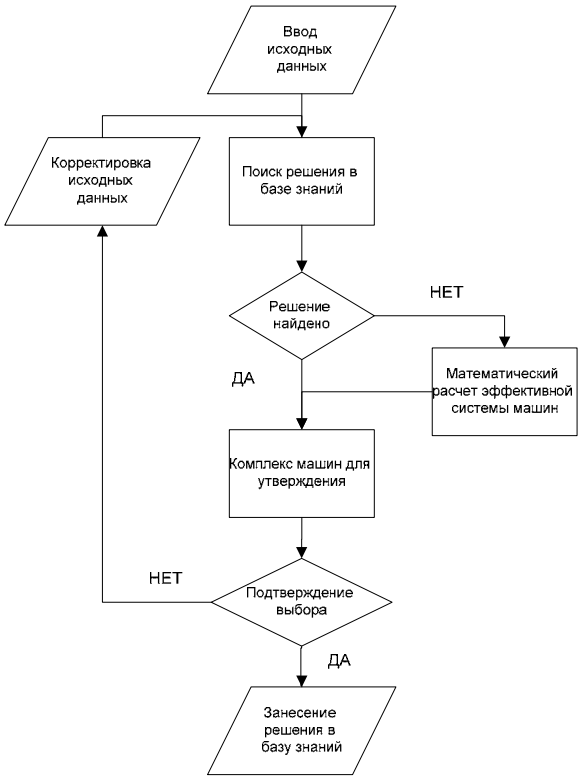
Цель данной работы – повышение эффективности лесозаготовительных процессов за счет сокращения времени на разработку технологических карт лесосек и подбора эффективной системы при использовании интеллектуальных методов.

Технологическая карта должна содержать: характеристику лесосеки; схемы разработки лесосеки, пасеки и погрузочного пункта (верхнего склада); количественные показатели работы комплексной бригады; технологические указания о порядке разработки лесосеки, работы лесозаготовительной техники и др., о техническом и бытовом обслуживании; сведения о проведении подготовительных работ [3].

В качестве входной информации для разработки системы автоматизации проектирования технологических карт необходимо использовать следующие характеристики: планируемый годовой объем заготовки древесины; его процентное соотношение по сезонам зима – лето; технические характеристики лесозаготовительной техники; технологию лесозаготовок; картографические материалы о исследуемой территории; таксационное описание леса; характеристику почв.

В настоящее время при создании систем управления производственными процессами немаловажное значение имеет блок интеллектуальной поддержки, который позволяет на основе наработанной информации принимать наиболее эффективные решения.

При проектировании лесосеки можно выделить следующие направления, в которых применим искусственный интеллект: выбор комплекса лесозаготовительных машин; проектирование дорожной сети; разбивка делянки на пасеки; размещение пунктов погрузки древесины и др. [1]. Решение этих задач с помощью интеллектуальных методов может стать более эффективным, чем использование чисто математических методов. Такой подход позволит принимать решения для любых условий лесозаготовок. Основными методами интеллектуальной поддержки служили экспертные системы (ЭС) и генетический алгоритм.



Алгоритм работы ЭС

Рассмотрим реализацию ЭС для выбора эффективного комплекса машин. Базовыми характеристиками лесозаготовительной техники были следующие показатели: наименование машины; цена (р.); капитальные вложения (р.); годовой эффективный фонд продолжительности работы машины (ч); отраслевой нормативный коэффициент эффективных капитальных вложений; себестоимость содержания 1 маш.-ч; тип выполняемых машиной

операций с привязкой к технологическому процессу; часовая производительность машины.

Для расчетов в систему необходимо ввести следующие параметры: годовой объем лесозаготовок; число рабочих дней в году, продолжительность смены; средний объем хлыста; способ вывозки древесины; технологический процесс; расстояние трелевки; глубина снежного покрова; породный состав древостоя.

Укрупненный алгоритм работы экспертной системы приведен на рисунке. Математическая модель расчета эффективного комплекса машин сводится к поиску максимального коэффициента эффективности, который рассчитывают как отношение производительности комплекса к удельным затратам на его содержание.

По результатам исследования разработана методика проектирования технологической карты и системы машин в зависимости от условий эксплуатации. Разработан метод автоматизации проектирования технологической карты. Предложенные алгоритмы реализованы в виде программного комплекса, который используется совместно с «Распределенной информационной средой лесных ресурсов» (РИСЛР) [2].

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Веретнов, М.Ю.* Основные задачи автоматизации проектирования процессов лесозаготовок [Текст]: М.Ю. Веретнов // Информационные технологии в науке, образовании и промышленности: материалы междунар. науч.-техн. конф. – Архангельск, 2005. – С. 112–115.

2. *Гурьев, А.Т.* Распределенная информационная система лесных ресурсов [Текст] / А.Т. Гурьев [и др.] // Современное состояние и перспективы применения ГИС-технологий и аэрокосмических методов в лесном хозяйстве и садово-парковом строительстве: сб. статей. – Йошкар-Ола: МарГТУ, 2008. – С. 110–114.

3. Технология и организация лесопользования [Текст]: учеб. для техникумов / Л.А. Ларионов [и др.]. – М.: Лесн. пром-сть, 1990. – 496 с.

Поступила 13.03.08

M.Yu. Veretnov
Arkhangelsk State Technical University

On Enhancing Efficiency of Forest-harvesting Processes under Intelligent Support of Flow Sheets Elaboration

The expert systems application for the support of decision-making processes is analyzed under current planning of forest-harvesting processes.

Keywords: flow sheets, cutting area, forest-harvesting, machine complex, intelligent support, expert system.

ИСТОРИЯ НАУКИ

УДК 630*6(091)

О.А. Неволин

Архангельский государственный технический университет

НЕИССЯКАЕМЫЙ КЛАДЕЗЬ ЗНАНИЙ О ЛЕСОУСТРОЙСТВЕ И ЛЕСОУПРАВЛЕНИИ

Второе издание капитальных трудов М.М. Орлова

Мы как народ будем существовать до тех пор, пока жива память поколений, память о великой, порой трагической истории нашего Отечества.

Д.С. Лихачев

Российским обществом лесоводов в серии «Классики отечественного лесоводства» переизданы в трех книгах научные труды выдающегося ученого-энциклопедиста и педагога, публициста, критика, общественного деятеля Михаила Михайловича Орлова:

1. Лесоуправление как исполнение лесоустроительного планирования. – М.: ООО «Изд. дом «Лесн. пром-сть», 2006. – 480 с.;

2. Лесоустройство. Т.1. Элементы лесного хозяйства. – Там же. – 320 с.;

3. Лесоустройство. Т. 2. Подготовка планирования лесного хозяйства; Т. 3. Планирование лесного хозяйства; Леса водоохранные, защитные и лесопарки. Устройство и ведение хозяйства. – М.: ВНИИЛМ, 2008. – 560 с.

Впервые эти работы были опубликованы в 1927–1930 гг., последняя лишь в 1986 г.

Подготовку к переизданию выполнил акад. РАСХН, заслуженный деятель науки РФ Н.А. Моисеев. В редакционную коллегию вошли ученые лесоводы: д-р с.-х. наук М.Д. Гиряев, заслуженный лесовод РФ Д.М. Гиряев, акад. РАСХН А.И. Писаренко, чл.-кор. РАСХН С.А. Родин, д-р с.-х. наук, проф. В.П. Тарасенко. Каждую книгу предваряют вступительные статьи, талантливо написанные Н.А. Моисеевым.

К великому несчастью России и ущербу для лесов российских (особенно северной их жемчужины – лесов Архангельской, Вологодской областей, Республик Карелии и Коми) гениальные научные труды М.М. Орлова долго предавались забвению. Сразу после выхода в свет они подверглись необоснованной критике псевдоученых и карьеристов.

В 1929 г. Совет Труда и Обороны принял постановление «О реорганизации лесного хозяйства и лесной промышленности», по которому леса государственного значения были повсеместно переданы из ведения Наркомзема РСФСР лесопромышленным трестам ВСНХ, а взамен лесничеств и лесозаготовительных контор организованы леспромхозы с отделами лесного хозяйства. Это постановление имело особое значение для Северного края с его огромными запасами ценной древесины сосны и ели, снискавшими мировую славу. Создание леспромхозов ускорило процесс превращения края в «валютный цех страны». Архангельск как основной поставщик древесины для народного хозяйства и на экспорт стал «всесоюзной лесопилкой».

Для развития лесной промышленности требовались достоверные данные о лесном фонде и перспективные планы эксплуатации лесосырьевых баз. Лесоустройство выступало как наука и практика организации правильного лесного хозяйства для удовлетворения потребностей в древесине народного хозяйства и местного населения.

Однако с первых шагов становления лесной индустрии возникли острые разногласия по установлению объемов лесопользования. Подвергся сомнению главный постулат лесного хозяйства и «краеугольный камень» лесоустройства – принцип постоянства (непрерывности) и равномерности пользования лесом. Этот принцип последовательно и твердо отстаивал М.М. Орлов. Он считал, что «только тогда, когда расчеты промышленные будут соподчинены принципам по обеспечению постоянства пользования данным лесом, можно будет говорить о лесном хозяйстве» (Лесоустройство. Т.1. – Л., 1927. – С. 3–4.).

Дискуссия в периодической печати по важнейшим проблемам лесного хозяйства велась грубыми, недозволенными приемами и средствами. На корректные, глубоко аргументированные выступления маститого ученого с мировым именем его оппоненты (дилетанты в лесном хозяйстве) отвечали неубедительными рассуждениями, огульно обвиняя лидера отечественного лесоустройства во вредительстве. Вот заголовки некоторых публикаций: «Классовые корни буржуазного лесоустройства», «В чем сущность вредительских теорий Орлова и троцкистских установок Шульца»*, «Реакционные теории проф. Орлова», «За выкорчевывание буржуазных теорий в лесном хозяйстве». Более десятка таких статей были напечатаны в журналах «Лесное хозяйство и лесная промышленность»** (1931), «Лесное хозяйство и лесоэксплуатация» (1932), «Известия лесотехнической академии» (1932), «Лесопромышленное дело» (1932) и газете «Лесная промышленность» (1932).

---

* А.И. Шульц в 1923–1931 гг. – начальник Центрального управления лесами Наркомзема РСФСР.

** В издательстве этого журнала были напечатаны знаменитые «Лесоустройство» и «Лесоуправление» М.М. Орлова, а также 3-е издание его «Лесной таксации». Главным редактором журнала в 1924–1930 гг. был В.А. Горохов – первый директор (1929–1937 гг.) Архангельского лесотехнического института (репрессирован в 1937 г. как враг народа, приговорен к высшей мере наказания – расстрелу с конфискацией всего имущества. Реабилитирован посмертно в 1956 г. [2]).

Проходившая в г. Архангельске в феврале 1932 г. I Всероссийская лесотехническая конференция комсомола отмечала (конечно же, по указке власть имущих) «вредительскую сущность учений Морозова и Орлова и их последователей в вопросах механизации лесозаготовок и лесотранспорта».

И это несмотря на очевидные заслуги М.М. Орлова перед лесным хозяйством на Севере. Вспомним, что 15–25 июля 1912 г. в Архангельске проходил XII Всероссийский лесной съезд, созванный Петербургским лесным обществом. Выбор места проведения лесного форума обусловливался большим интересом лесной общественности к судьбам северных лесов. Для успешной работы необходимо было избрать председателем человека деятельного, эрудированного во всех областях лесного дела, который мог бы непосредственно по ходу съезда делать научные обобщения и выступать с заключениями и практическими предложениями по обсуждаемым проблемам. Делегаты единодушно отдали предпочтение профессору Петербургского лесного института М.М. Орлову. Протокольные записи заседаний свидетельствуют о том, что ученый блестяще выполнил возложенную на него ответственную миссию. Съезд выработал обширную программу научных исследований и хозяйственного освоения северных лесов, явился отправным рубежом, от которого на Европейском Севере начали развиваться на научной основе все лесные отрасли. Опубликованные материалы съезда (доклады, протоколы, информации об экскурсиях и др.) и поныне вызывают живой интерес у специалистов лесного хозяйства, поражая широтой охвата, глубиной и разносторонностью рассматривавшихся проблем [8].

Вернемся к драматичным событиям 1932 г. В октябре Государственное лесное техническое издательство выпустило в свет десятитысячным тиражом книгу Н. Алексейчика и Б. Чагина «Против реакционных теорий на лесном фронте. Критика учения проф. Морозова и Орлова и их последователей». Опираясь на публикации И.В. Сталина и высказывания тогдашнего руководителя Наркомлеса СССР С.С. Лобова, авторы, не будучи лесоводами, безапелляционно осуждали научные школы Г.Ф. Морозова, В.Н. Сукачева и М.М. Орлова как реакционные. С особым пристрастием ополчились они на принцип постоянства и равномерности пользования – стержень орловского учения о лесоустройстве. Заканчивая свой пасквиль, горе-философы восклицали: «Антимарксистской, антиленинской теории Орлова с ее базисом вульгарной теоретической экономики, с ее необузданным натурализмом, с ее убожеским принципом постоянства и, наконец, с ее эклектизмом мы должны противопоставить целостное учение Маркса – Ленина – Сталина. Нам не по пути с реакционной методологией Орлова и Морозова. Она зовет к рутине, к консерватизму, ей не по плечу развитие техники. Она объективно смыкается с практикой вредительства в лесной промышленности» (с.164). В таком стиле и духе, выполняя политический заказ, написана вся та книга. Черное дело было сделано. 26 декабря 1932 г. М.М. Орлова не стало, «он скоропостижно умер в своем рабочем кабинете

от кровоизлияния в мозг, не выдержав двухлетней жестокой травли» [5] . Г.Ф. Морозова уже давно не было в живых, он умер в 1920 г.

Дискуссия по вопросам лесопользования длилась до 1938 г. Она привела к тому, что принцип постоянства (непрерывности) и равномерности лесопользования был отвергнут, а курс «Лесоустройства» исключен из учебных программ лесных вузов и техникумов. Один из высокопоставленных чиновников лесной промышленности и лесного хозяйства М.Г. Здорик, выражая суть лесной политики того времени, писал: «Пока лес нам нужен, мы его будем рубить в размере нашей потребности, невзирая ни на какие теоретические рассуждения. Остановить этот штурм на леса мы не можем» (Леса экстенсивного хозяйства и метод их использования // Лесопромышленное дело. – 1929. – № 27). Последствия такой политики для северного лесного хозяйства оказались плачевными. За несколько десятилетий были истреблены лучшие хвойные, в особенности сосновые леса, чем подорваны основы лесопиления и лесоэкспорта, а новые целлюлозно-бумажные комбинаты поставлены в тяжелые условия обеспечения сырьем.

С конца 1920-х и до середины 1940-х гг. лесоустройство систематически реорганизовывали и заменяли лесопромышленной инвентаризацией и лесоэкономическими обследованиями. Изучали территориальное размещение лесов в лесистых районах страны, тяготение их к путям транспорта и сплавным рекам, состав, площади и запасы лесов, возможные способы лесоэксплуатации и лесовозобновления [1]. Вся деятельность лесоустроителей в многолесных районах, включая и Европейский Север России, была направлена на организацию лесозаготовок. В 1930 г. было закрыто и Архангельское лесоустройство; хорошо слаженный коллектив распался, лесоустроители перешли в лесосырьевые группы лесопромышленных предприятий и другие организации.

Имя М.М. Орлова упорно замалчивалось в течение 35 лет после его смерти [7]. Однако несмотря на зловещий каток репрессий 1930–1940-х и даже начала 1950-х гг., оно постоянно вставало во весь свой исполинский рост, в том числе и перед нами – студентами лесохозяйственного факультета Архангельского лесотехнического института (автор этих строк учился там в 1947–1952 гг.), звучало из уст наших мудрых учителей, профессора И.С. Мелехова, доцентов В.И. Левина и П.И. Войчаля – благодарных учеников М.М. Орлова. В дружеских доверительных беседах со студентами они тепло рассказывали о Михаиле Михайловиче, его судьбе и знакомили нас с его книгами по лесоустройству, лесоуправлению и лесной таксации. В те годы шел дикий разгул клеветы на биологическую науку. Печально известную августовскую сессию ВАСХНИЛ 1948 г., на которой генетика была объявлена «ложным метафизическим учением», И.С. Мелехов сравнил с девятым валом, обрушившимся на биологическую, в том числе и лесную науку. Обо всем этом он ярко рассказал в своих воспоминаниях [6]. Под влиянием своих учителей, несмотря на все коллизии и перипетии, в 1952 г. я навсегда

связал свою жизнь с лесоустройством, возрожденным лишь в 1947 г. С тех пор все книги М.М. Орлова украшают мою домашнюю научную библиотеку, а «Лесоустройство», «Лесоуправление» и «Лесная таксация» являются настольными. Главным итогом полувековой работы на этом поприще стала книга «Лесоустройство» и учебное пособие для вузов «Лесоустройство», созданные на кафедре лесной таксации и лесоустройства АГТУ и посвященные заслуженным лесоводам РСФСР В.И. Левину и Н.А. Фирсонову [3, 4]. В них все мы воздали дань глубокого уважения М.М. Орлову, доброе имя которого было восстановлено в 1967 г. неустанными заботами его учеников и последователей [10, 11].

22 декабря 1967 г. в Ленинградской лесотехнической академии состоялась научная конференция, посвященная 100-летию со дня рождения Михаила Михайловича; главный доклад сделал талантливый педагог и крупный ученый А.А. Байтин. Это он в тревожные 1930-е гг. давал публичный отпор погромщикам, мужественно выступал в защиту доброго имени М.М. Орлова на собраниях академии, посвященных «борьбе с буржуазными теориями». В этой сложной и даже враждебной обстановке А.А. Байтин (тогда еще ассистент) вел себя как достойный последователь своего учителя [6]. Он подхватил эстафету славных дел М.М. Орлова, приняв в 1947 г. кафедру лесоустройства, разработал основы теории советского социалистического лесоустройства и организации государственного лесного хозяйства и издал в 1950 г. «Основы лесоустройства» – первый после знаменитого трехтомного труда М.М. Орлова учебник для вузов. Эта книга выдержала три издания уже под названием «Лесоустройство» (2-е изд., перераб. и доп., 1961; 3-е изд., испр. и доп., 1974). В 1983 г. ее сменил учебник «Лесоустройство», подготовленный С.Е. Мурахтановым, Н.А. Моисеевым, Д.П. Столяровым, П.И. Морозом – учениками А.А. Байтина.

Время все расставляет на свои законные места. Однако до сих пор, несмотря на огромные усилия лесоустроителей, главный постулат лесного хозяйства – непрерывное, неистощительное пользование лесом в границах объектов лесоустройства, который твердо отстаивал М.М. Орлов, так полностью и не претворен в жизнь. А к чему это привело на Европейском Севере России, общеизвестно. Во второй половине XX столетия в результате широкомасштабных промышленных лесозаготовок в прижелезнодорожных и приречных районах все высокопродуктивные спелые сосновые и еловые леса исчезли с лика благодатной архангельской земли, оставшись только в труднодоступных в транспортном отношении местах; а теперь высоковозрастные ельники гибнут от массового усыхания [9, 12]. На площадях концентрированных вырубок всюду возникли вторичные леса из березы и осины. Пройдут столетия, прежде чем там сформируется хвойная тайга.

Не прибавляют оптимизма и коридорные рубки ухода, а также рубки обновления и переформирования. Первые проводятся в целях заготовки древесины в средневозрастных и приспевающих сосновых насаждениях.

При этом зачастую выбирают лучшие по техническим качествам деревья, а вся срубленная, не устраивающая лесопользователей древесина, а также сучья, ветви, вершинки и откомелки от деловых стволов остаются на волоках (коридорах). Вторые – рубки обновления и переформирования – ведутся в спелых сосняках и ельниках, в защитных лесах (по ЛК РФ, 2006); в результате обычно остаются вырубки мелколесосечной формы лесного хозяйства, сильно захламленные порубочными остатками, брошенной у пня древесиной и массовым ветровалом оставленных семенных и фаутных древеьев. Проводимые таким путем рубки «ухода» представляют, образно говоря, мину замедленного действия, подкладываемую под принцип постоянного, непрерывного, неистощительного и равномерного пользования лесом. Недопустимые нарушения лесоводственных правил являются следствием меркантильных интересов лесного бизнеса при попустительстве со стороны некоторых работников лесхозов и лесничеств. Вблизи населенных пунктов рушатся лесные угодья традиционного сбора ягод, грибов и лекарственного сырья; деревенские жители при современной безработице лишаются традиционных источников жизненно необходимых природных благ и дополнительных средств существования.

Высокопродуктивные леса обесцениваются, и природа долго не залечит нанесенные раны. Исправить грубые просчеты и ошибки прошлого уже невозможно, но, несомненно, можно не допускать их в будущем. В этом неоценимую помощь окажут идеи М.М. Орлова, оставленные потомкам в его капитальных трудах. Второе их издание – знаменательное событие для лесной науки и практики, всех, кому дороги судьбы многострадальных российских лесов, особенно на Европейском Севере. Хочется пожелать, чтобы книги М.М. Орлова стали настольными в каждом лесничестве и у чиновников, вершащих судьбы отечественного лесного хозяйства.

Давно пора прекратить бесплодные вредоносные реформирования отрасли. Лесоуправление в России должно быть четко и строго централизованным. Необходимо восстановить прежние, рекомендованные лесоустроителями штаты государственной лесной охраны в лесничествах (лесничие и их помощники, объездчики-техники, лесники и др.); к руководству отраслью допускать только высококвалифицированных специалистов с высшим лесохозяйственным образованием; возродить государственное лесоустройство и его статус, определявшийся Лесным кодексом Российской Федерации 1997 г. (ст. 72, 73, 74).

Пора встать на прочные рельсы, проложенные М.М. Орловым и его классическими научными трудами, и вывести лесное хозяйство и лесоустройство России из тупика.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Гусев, Н.Н.* История лесоустройства российского [Текст] /Н.Н. Гусев. – М.: Центролеспроект, 1998. – 329 с.

2. *Ипатов, Л.Ф.* Судьба ректора Горохова и его семьи [Текст] / Л.Ф. Ипатов. – Архангельск: Изд-во АГТУ, 2006. – 100 с.

3. Лесоустройство [Текст] / О.А. Неволин, С.В. Третьяков, С.В. Ердяков, С.В. Торхов. – Архангельск: Правда Севера, 2003. – 583 с.

4. Лесоустройство [Текст]: учеб. пособие для вузов / О.А. Неволин, С.В. Третьяков, С.В. Ердяков, С.В. Торхов. – Архангельск: Изд-во Арханг. гос. техн. ун-та, 2005. – 588 с.

5. *Мелехов, И.С.* Воспоминания о профессоре М.М. Орлове [Текст] / И.С. Мелехов // Лесн. журн. – 1992. – № 6. – С. 123–126. – (Изв. высш. учеб. заведений).

6. *Мелехов, И.С.* Мои воспоминания. О родном Севере. Альма матер. Воспоминания о лесотехнической академии [Текст] / И.С. Мелехов. – Архангельск: Изд-во АГТУ, 2005. – 332 с.

7. *Моисеев, Н.А.* К 125-летию со дня рождения М.М. Орлова (1867–1932 гг.) [Текст] / Н.А. Моисеев // Лесн. журн. – 1992. – № 6. – С. 3–8. – (Изв. высш. учеб. заведений).

8. *Неволин, О.А.* XII лесной съезд и его значение для северного лесного хозяйства [Текст] / О.А. Неволин // Лесн. журн. – 1992. – № 1. – С. 134–136. – (Изв. высш. учеб. заведений).

9. *Неволин О.А.* История Березниковского лесхоза [Текст] / О.А. Неволин, А.Н. Грицынин. – Архангельск: Правда Севера, 2002. – 464 с.

10. О книге «Труды профессора М.М. Орлова и их значение в лесном хозяйстве» [Текст] / В.И. Левин, П.И. Войчаль, О.А. Неволин, Н.А. Фирсонов // Лесн. журн. – 1970. – № 4. – С. 173–174. – (Изв. высш. учеб. заведений).

11. Труды проф. М.М. Орлова и их значение в лесном хозяйстве. К столетию со дня рождения [Текст] / под ред. А.А. Байтина // Науч. тр. ЛТА. – Л., 1969. – № 129. – 158 с.

12. Усыхающие ельники Архангельской области, проблемы и пути их решения [Текст]: сб. / Департамент лесн. комплекса Арханг. обл.; Центр защиты леса Арханг. обл. – Архангельск, 2007. – 130 с.

O.A. Nevolin
Arkhangelsk State Technical University

Inexhaustible Mine of Knowledge about Forest Organization and Forest Management. Second issue of major work by M.M. Orlov

КОНФЕРЕНЦИИ И СОВЕЩАНИЯ

УДК 061.3:630*81

СЕССИЯ КООРДИНАЦИОННОГО СОВЕТА ПО ДРЕВЕСИНОВЕДЕНИЮ

Очередная сессия Регионального координационного совета по современным проблемам древесиноведения (РКСД) прошла в Москве с 3 по 5 сентября 2008 г. В целях расширения диапазона научных интересов Совета было решено провести сессию на базе Главного ботанического сада (ГБС) РАН и Московского государственного университета леса (МГУЛ). В ее рамках был организован семинар на тему «Продукционный процесс и структура деревьев, древесин и древостоев» под руководством проф. В.В. Коровина и и.о. директора Института лесоведения РАН М.Г. Романовского.

В сессии приняли участие представители академических институтов: Г.Ф. Антонова, В.В. Стасова (ИЛ СО РАН, Красноярск); Н.В. Классен (ИФТТ РАН, Черноголовка); Л.Л. Новицкая (ИЛ КНЦ РАН, Петрозаводск); учебных заведений: проф. В.И. Мелехов (АГТУ, Архангельск); А.А. Титунин (КГТУ, Кострома); Ю.П. Семенов, проф. С.Н. Рыкунин (МГУЛ, Москва); И.Н. Вариводина (ВГЛТА, Воронеж) и др. организаций – проф. Я.А. Долацис (ЛГИХД, Рига, Латвия).

На пленарном заседании, состоявшемся в представительстве МГУЛ ГБС, с приветственным словом к участникам сессии обратился директор ГБС, зав. кафедрой декоративного растениеводства МГУЛ, проф. А.С. Демидов. Он кратко рассказал об истории, коллекционных фондах и экспозициях крупнейшего ботанического сада мира.

С отчетным докладом о результатах деятельности Совета за прошедший год выступил председатель РКСД проф. Б.Н. Уголев, подчеркнувший, что настоящая сессия является юбилейной, так как со времени ее основания в г. Красноярске при ИЛиД СО АН СССР прошло 40 лет. Последние 17 лет Совет функционирует при МЛТИ – МГУЛ под эгидой Международной академии наук о древесине (IAWS – ИАВС). За это время он превратился в авторитетный межгосударственный научно-информационный центр, объединяющий специалистов 10 стран.

Члены Совета, входящего в структуру УМО по образованию в области лесного дела, участвуют в создании учебников и учебных пособий (Б.Н. Уголев, В.В. Коровин, Ю.П. Семенов – Москва; Н.И. Федоров и Э.Э. Пауль – Белоруссия), издают монографии (Л.Л. Новицкая, М.В. Кистерная и В.А. Козлов – Петрозаводск; А.А. Титунин – Кострома).

В 2008 г. прошли международные конференции, на которых представили свои доклады или приняли участие Ю.П. Семенов, МГУЛ – «СЭТТ–2008», Швеция; Е.Н. Покровская, МГСУ – «Вторая международная конференция по зеленой химии ИЮПАК–2008», Москва – С.-Петербург, Россия;

С.Н. Рыкунин, МГУЛ – «Лесная политика», Дрезден, Германия. Во всероссийских конференциях, семинарах и выставках участвовали С.Н. Рыкунин, Ю.П. Семенов, Б.Н. Уголев, М.В. Кистерная.

В рамках сессии РКСД были заслушаны доклады активных участников постоянно действующего семинара (МГУЛ – ИЛ РАН): В.В. Коровина, М.Г. Романовского, Д.Е. Румянцева, Е.Ю. Потаповой и др. Их доклады были посвящены разным аспектам формирования древесины и биологическому древесиноведению. Особый интерес вызвало сообщение зав. лабораторией Института физики твердого тела РАН (Черноголовка) Н.В. Классена о древесных нанокомпозитах, в частности о древесно-кремниевых, которые используются в термостойких и химически инертных металлургических и химических реакторах, а также в других объектах высоких технологий.

О широте актуальных проблем древесиноведения свидетельствует тематика сообщений участников сессии: Б.Н. Уголев (МГУЛ) – исследование влияния нагрузки на величину усушки древесины; Ю.П. Семенов (МГУЛ) – исследование тепломассообмена в древесине при сушке, ее энергетическое использование; Я.А. Долацис (ЛГИХД) – сравнительные физико-механические характеристики древесины ели и сосны; А.А. Титунин (Кострома) – прогнозные исследования качества сырья для фанерного предприятия г. Костромы; К.В. Зайцева (Кострома) – изучение теплопроводности клееного бруса; И.Н. Вариводина (Воронеж) – водопоглощение древесины в зависимости от уровня развития водопроводящей системы ствола; Е.Н. Покровская (МГСУ) – химические и микологические исследования свойств древесины свайных фундаментов в исторических памятниках; С.А. Угрюмов (Кострома) – модификация синтетических клеев применительно к производству плит из лигно-целлюлозного сырья – костры; С.Н. Рыкунин (МГУЛ) – исследование размерно-качественных характеристик древесины березы; Л.М. Ковальчук и Н.А. Успенская (ЦНИИСК им. Кучеренко) – качества древесины для строительных деревянных конструкций; А.В. Ермошина (зам. главного редактора журнала «Деревообрабатывающая промышленность») – популяризация древесиноведческих знаний.

Кроме того, был сделан обзор письменных сообщений, поступивших от членов РКСД из С.-Петербурга, Йошкар-Олы, Черноголовки, Костромы, Кудымкара, Братска, Воронежа, Екатеринбурга, Казани, Брянска, Петрозаводска (Россия); Харькова, Львова (Украина); Познани (Польша); Таллинна (Эстония); Риги (Латвия). На сессии были выбраны новые члены РКСД – проф. М.Г. Романовский (ИЛ РАН) и доц. Д.Е. Румянцев (МГУЛ). Утверждена тема академической лекции проф. Б.Н. Уголева на пленарном заседании IAWS – «Древесина как природный интеллектуальный материал».

Проф. Б.Н. Уголев познакомил с подготовкой ежегодного пленарного заседания и конференции IAWS «Лес как возобновляемый источник жизненных ценностей в изменяющемся мире» (С.-Петербург – Москва, 15 – 21 июня 2009 г.). В их организации принимают участие ИАВС, СПбГЛТА, МГУЛ при поддержке РКСД, ГБС РАН и Проектного центра PROCES ЕИЛ. Создан программный комитет. Утверждена тематика конференции, включающая следующие направления:

1. Структура древесины на нано-, микро-, мезо- и макроуровнях.
2. Свойства древесины как промышленного сырья.
3. Современные способы, методы и оборудование для деревообработки.
4. Промышленный контроль свойств и качества древесины и лесопродукции.
5. Инновационная и интеллектуальная лесопродукция.
6. Устойчивое лесоуправление.
7. Ценности леса и методы их оценки.
8. Леса в изменяющемся мире.
9. Международные аспекты использования лесных ресурсов.
10. Лесные ресурсы и мировой рынок лесных товаров.
11. Формирование древесины, физиология древесных растений и дендрохронология. Биомеханика.

В сентябре этого года научная общественность отметила 100-летие со дня рождения заслуженного деятеля науки и техники России, проф., д-ра техн. наук С.Н. Горшина – крупного специалиста в области микологии и защиты древесины.

Был отмечен вклад в древесиноведение членов РКСД: проф. Я.А. Долациса (ЛГИХД), проф. В.В. Коровина (МГУЛ) в связи с 70-летием и проф. Е.Н. Покровской (МГСУ) в связи с юбилейной датой.

С прискорбием сообщено о кончине проф., д-ра техн. наук В.М. Хрулева (Новосибирск) – крупного специалиста в области деревянных конструкций.

В дни сессии ее участники имели возможность ознакомиться с уникальными экспозициями ГБС, включая японский сад, увлекательную экскурсию по которым провела главный ландшафтный архитектор сада, канд. биол. наук Е.В. Голосова.

Последний день был посвящен знакомству с Никольской дачей на базе Воря-Богородского лесничества. Проф. М.Д. Мерзленко привел интереснейшие факты об истории этой жемчужины, подчеркнув роль проф. М.К. Турского и акад. И.С. Мелехова в ее обустройстве.

Более подробный отчет о сессии и другие материалы содержатся в бюллетене «Информация РКСД–2008».

Б.Н. Уголев, Я.Н. Станко

Московский государственный
университет леса

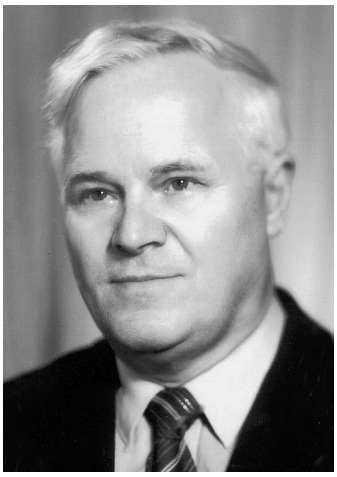
B.N. Ugolev, Ya.N. Stanko
Moscow State Forest University

Session of Coordination Council for Wood Science

ЮБИЛЕИ

УДК 06.091

ЮБИЛЕЙ ПРОФЕССОРА А.С. ТИХОНОВА



Исполнилось 75 лет со дня рождения доктора сельскохозяйственных наук, профессора Брянской государственной инженерно-технологической академии Анатолия Семеновича Тихонова. Он родился 3 февраля 1934 г. в семье железнодорожного машиниста на ст. Байчурово Воронежской области. В детские послевоенные годы Анатолий помогал матери в посадке леса, прополке культур сосны и дуба. Первое приобщение к работе в лесу определило дальнейшую жизнь Анатолия Семеновича. В 1948 г. он поступил в Хреновской лесной техникум, директором которого был известный лесоустроитель А.Ф. Ивонинский. В техникуме работали замечательные преподаватели А.П. Сулханов, А.И. Ванин, Д.И. Ванин, А.А. Малкин, которые не только дали Анатолию Семеновичу глубокие знания, но и зародили мечту стать инженером по лесным культурам.

По окончании техникума в 1951 г. А.С. Тихонов поступил во Всесоюзный заочный лесотехнический институт (ВЗЛТИ), на Воронежское отделение, затем перевелся на Ленинградское. Одновременно он работал в Ленинградском аэрофотолесоустроительном тресте под руководством А.Ф. Ивонинского, где исследовал лесной фонд ряда лесхозов разных регионов СССР.

Изучая потенциальную способность леса к самовозобновлению, А.С. Тихонов стал рассматривать роль инженера лесных культур как вспомогательную при восстановлении главных древесных пород. Поэтому для дипломного проекта он выбрал тему «Проект организации кедрового хозяйства в Заярском лесхозе Иркутской области». Восстановление кедровых насаждений предполагалось через смену пород за счет спелых древостоев других пород с подростом кедра и молодняка мелколиственных пород с достаточной долей кедра.

Анатолий Семенович с благодарностью вспоминает преподавателей ВЗЛТИ и Ленинградской лесотехнической академии (ЛЛТА), талантливых

лекторов А.А. Байтина, П.Н. Тальмана, Д.В. Соколова, З.Я. Солнцева, молодых педагогов Е.В. Полянского и А.Л. Синькевича.

Институт был закончен в 1959 г. по причине срочной службы с 1951 г. по 1956 г. в рядах Советской Армии в Заполярье. Государственная экзаменационная комиссия отметила склонность А.С. Тихонова к научной работе, поэтому ученый совет ВЗЛТИ дал ему рекомендацию для поступления в аспирантуру. Руководитель дипломного проекта доц. А.Е. Колоскова, видя интерес Анатолия Семеновича к лесоводству, предложила ему продолжить учебу у проф. Н.Е. Декатова.

В 1960 г. Анатолий Семенович поступил в заочную аспирантуру Ленинградского научно-исследовательского института лесного хозяйства (ЛенНИИЛХ) к проф. Н.Е. Декатову, одновременно работал младшим научным сотрудником в отделе лесоводства и лесозаготовок, затем занимал должности старшего инженера-технолога и старшего научного сотрудника.

В ЛенНИИЛХе Анатолий Семенович проработал до 1967 г. За это время он проанализировал опыт костромских лесозаготовителей по сохранению подроста ели, в Калининской области исследовал сохранность II яруса ели и производительность труда при рубке I осинового яруса за один прием, в Смоленской области изучил лесоводственно-экономическую эффективность рубок в лиственно-еловых насаждениях с сохранением елового яруса. В 1966 г. в соавторстве с Н.Е. Декатовым были опубликованы рекомендации по рубкам в двухъярусных лиственно-еловых древостоях. За внедрение этих рекомендаций Анатолий Семенович был награжден бронзовой медалью ВДНХ СССР. Выявленные закономерности роста ели до и после комплексной рубки освещены в кандидатской диссертации «Рубки в двухъярусных лиственно-еловых древостоях с сохранением второго яруса ели в типе леса ельник кисличный», которую А.С. Тихонов защитил в 1965 г. в Ленинградской лесотехнической академии.

Диссертационная работа ученого получила одобрение на кафедре лесоводства ЛЛТА, и ее заведующий, доц. И.И. Шишков пригласил А.С. Тихонова на работу ассистентом. В первое время Анатолий Семенович вел только практические и лабораторные занятия. Чтобы соблюсти преемственность в учебном процессе кафедры лесоводства, он посещал в течение нескольких лет занятия преподавателей кафедры. У него до сих пор хранятся конспекты прослушанных лекций И.И. Шишкова, Б.В. Абуткова, О.Т. Ефимовой. Анатолий Семенович вновь прочитал труды прежних заведующих кафедрой лесоводства Г.Ф. Морозова, М.Е. Ткаченко, И.С. Мелехова. На занятиях он применял разнообразные методики, во время учебной практики по лесоведению всегда принимал зачеты в лесу, и каждый студент должен был отчитаться на том или ином объекте.

В 1968 г. Анатолий Семенович был направлен в Московский лесотехнический институт, где большую часть времени проводил на кафедре лесоводства и подсочки леса, возглавлявшуюся акад. И.С. Мелеховым. Там он впервые прочитал лекцию целому потоку студентов.

В 1970 г. А.С. Тихонова избрали по конкурсу на должность доцента кафедры лесоводства ЛЛТА, в том же году наградили юбилейной медалью «За доблестный труд. В ознаменование 100-летия со дня рождения В. И. Ленина». В 1972 г. он был утвержден в ученом звании доцента кафедры лесоводства, в 1974–1976 гг. находился на должности старшего научного сотрудника для завершения докторской диссертации по воспроизводству ельников методом естественного возобновления. В 1981 г. А.С. Тихонову присудили ученую степень доктора сельскохозяйственных наук и избрали на должность заведующего кафедрой лесоводства, а через два года присвоили ученое звание профессора.

В 1984 г. по семейным обстоятельствам Анатолий Семенович переехал в Брянск, где был избран по конкурсу на должность профессора кафедры лесоводства Брянского технологического института. Здесь его научная школа получила дальнейшее развитие. Через год А.С. Тихонов возглавил кафедру лесоводства, а в июле 1987 г. стал проректором по научной работе института. Однако в сентябре 1988 г. Анатолий Семенович оставил оба поста и перешел на должность профессора, сосредоточившись на научной деятельности. В 1995 г. ему было присвоено почетное звание «Заслуженный деятель науки Российской Федерации».

Анатолий Семенович опубликовал более 250 научных и методических работ общим объемом 296 печ. листов, подготовил 17 кандидатов и трех докторов наук.

Коллеги по работе в ЛЛТА и ученики желают юбиляру крепкого здоровья и дальнейших творческих успехов.

Коллектив лесохозяйственного
факультета С.-Петербургской
государственной лесотехнической академии

Staff of forestry faculty of Saint-Petersburg Forest-Technical Academy

Jubilee of Professor A.S. Tikhonov

УДК 06.091

ЮБИЛЕЙ ВЛАДИМИРА ИВАНОВИЧА МЕЛЕХОВА

1 апреля 2009 г. исполнилось 70 лет со дня рождения Владимира Ивановича Мелехова – доктора технических наук, профессора, зав. кафедрой древесиноведения и тепловой обработки древесины Архангельского государственного технического университета, академика Российской академии естественных наук и Академии проблем качества РФ, заслуженного деятеля науки РФ.

В 1961 г. Владимир Иванович окончил факультет механической технологии древесины Архангельского лесотехнического института и был направлен в ЦНИИМОД, где работал инженером, младшим и старшим научным сотрудником. Учился в аспирантуре и в 1969 г. успешно защитил кандидатскую диссертацию на тему «Исследование точности работы механизма подачи обрезного станка». Одним из первых среди молодых ученых прошел годичную научную стажировку в Государственном техническом университете Финляндии (г. Хельсинки).

Трудовая деятельность Владимира Ивановича в АЛТИ-АГТУ связана с кафедрой древесиноведения и тепловой обработки древесины, которой он заведует с 1969 г. Ученое звание профессора присвоено в 1992 г. В 1997 г. В.И. Мелехов защитил докторскую диссертацию на тему «Ресурсосберегающие технологические процессы обработки древесины».

Основное направление научных интересов проф. В.И. Мелехова – древесиноведение, технология и оборудование процессов гидротермической и механической обработки древесины. Им создано новое научное направление по исследованию свойств механически деструктированной до волокнистообразного состояния цельной древесины и разработке на этой основе ресурсосберегающих технологий использования низкокачественной древесины и отходов деревообрабатывающих производств в качестве полноценного сырья для получения новых видов экологически чистой продукции и материалов, интенсификации традиционных технологических процессов. В результате исследований фундаментальных проблем тепло- и массопереноса при гидротермической обработке древесины научно обоснованы и определены качественно новые направления интенсификации процессов ее сушки

и пропитки, что позволило разработать принципиально новые технические решения конструкций лесосушильных камер, высокоэффективного теплового и циркуляционного оборудования. Проведенные им исследования в области совершенствования теплопередающих оребренных поверхностей на основе биметаллических алюминиевых оребренных труб позволили массово использовать их в конструкциях отечественных лесосушильных камер. Древесиноведческие работы связаны с изучением качественных характеристик древесины Европейского Севера.

В.И. Мелехов участвует в разработке и координации основных научных направлений по древесиноведению, гидротермической обработке древесины, является членом Координационного совета по современным проблемам древесиноведения Международной академии древесины, действительным членом РАЕН и АПК РФ. Избран председателем Северного регионального отделения наук о лесе РАЕН, членом президиума Центрального правления отделения. Утвержден аттестованным экспертом РФ по вопросам древесины, технологии и оборудования для ее обработки. Участвует в работе диссертационных советов, является председателем совета по защите докторских диссертаций, членом редколлегии «Лесного журнала».

По результатам научных исследований он опубликовал более 250 научных работ, в том числе 6 монографий, справочники по сушке древесины, учебные пособия, 50 изобретений и патентов. С присущей ему требовательностью, принципиальностью и объективностью, не считаясь с личным временем, он помогает в научной работе молодежи – передает свои знания и богатый опыт студентам, аспирантам и выпускникам университета. Владимир Иванович по праву может считаться создателем научной школы. Под его руководством и при научном консультировании защищены 10 кандидатских диссертаций.

Основные публикации: Расчет, проектирование и реконструкция лесосушильных камер. – М.: Экология, 1998; Качество древесины сосны в культурах. – Архангельск, 2003; Отбор и заготовка лесоматериалов в практике возведения обьектов деревянного зодчества. – Архангельск: ОАО «Научдревпром-ЦНИИМОД», 2004.

За заслуги в подготовке высококвалифицированных кадров для лесной и деревообрабатывающей промышленности и большой вклад в фундаментальную и отраслевую науку Владимир Иванович Мелехов удостоен высокого звания заслуженного деятеля науки РФ, награжден знаками «Изобретатель СССР» и «Почетный работник высшего профессионального образования РФ», почетным знаком РАЕН «За заслуги в развитии науки и экономики России», серебряной медалью ВДНХ, почетной серебряной медалью В.И. Вернадского и медалью «Ветеран труда».

Поздравляем Владимира Ивановича со знаменательным юбилеем и желаем доброго здоровья, творческих успехов, личного счастья и благополучия.

Ректорат,
коллектив факультета механической
технологии древесины АГТУ,
редколлегия и редакция «Лесного журнала»

Administration of ASTU, staff of wood technology faculty, editorial board and staff of «Lesnoy Zhurnal»

Jubilee of Vladimir I. Melekhov

УДК 06.091

ЮБИЛЕЙ ВЛАДИМИРА ИВАНОВИЧА МЕЛЕХОВА

1 апреля 2009 г. исполнилось 70 лет со дня рождения Владимира Ивановича Мелехова – доктора технических наук, профессора, зав. кафедрой древесиноведения и тепловой обработки древесины Архангельского государственного технического университета, академика Российской академии естественных наук и Академии проблем качества РФ, заслуженного деятеля науки РФ.

В 1961 г. Владимир Иванович окончил факультет механической технологии древесины Архангельского лесотехнического института и был направлен в ЦНИИМОД, где работал инженером, младшим и старшим научным сотрудником. Учился в аспирантуре и в 1969 г. успешно защитил кандидатскую диссертацию на тему «Исследование точности работы механизма подачи обрезного станка». Одним из первых среди молодых ученых прошел годичную научную стажировку в Государственном техническом университете Финляндии (г. Хельсинки).

Трудовая деятельность Владимира Ивановича в АЛТИ-АГТУ связана с кафедрой древесиноведения и тепловой обработки древесины, которой он заведует с 1969 г. Ученое звание профессора присвоено в 1992 г. В 1997 г. В.И. Мелехов защитил докторскую диссертацию на тему «Ресурсосберегающие технологические процессы обработки древесины».

Основное направление научных интересов проф. В.И. Мелехова – древесиноведение, технология и оборудование процессов гидротермической и механической обработки древесины. Им создано новое научное направление по исследованию свойств механически деструктированной до волокнистообразного состояния цельной древесины и разработке на этой основе ресурсосберегающих технологий использования низкокачественной древесины и отходов деревообрабатывающих производств в качестве полноценного сырья для получения новых видов экологически чистой продукции и материалов, интенсификации традиционных технологических процессов. В результате исследований фундаментальных проблем тепло- и массопереноса при гидротермической обработке древесины научно обоснованы и определены качественно новые направления интенсификации

процессов ее сушки и пропитки, что позволило разработать принципиально новые технические решения конструкций лесосушильных камер, высокоэффективного теплового и циркуляционного оборудования. Проведенные им исследования в области совершенствования теплопередающих оребренных поверхностей на основе биметаллических алюминиевых оребренных труб позволили массово использовать их в конструкциях отечественных лесосушильных камер. Древесиноведческие работы связаны с изучением качественных характеристик древесины Европейского Севера.

В.И. Мелехов участвует в разработке и координации основных научных направлений по древесиноведению, гидротермической обработке древесины, является членом Координационного совета по современным проблемам древесиноведения Международной академии древесины, действительным членом РАЕН и АПК РФ. Избран председателем Северного регионального отделения наук о лесе РАЕН, членом президиума Центрального правления отделения. Утвержден аттестованным экспертом РФ по вопросам древесины, технологии и оборудования для ее обработки. Участвует в работе диссертационных советов, является председателем совета по защите докторских диссертаций, членом редколлегии «Лесного журнала».

По результатам научных исследований он опубликовал более 250 научных работ, в том числе 6 монографий, справочники по сушке древесины, учебные пособия, 50 изобретений и патентов. С присущей ему требовательностью, принципиальностью и объективностью, не считаясь с личным временем, он помогает в научной работе молодежи – передает свои знания и богатый опыт студентам, аспирантам и выпускникам университета. Владимир Иванович по праву может считаться создателем научной школы. Под его руководством и при научном консультировании защищены 10 кандидатских диссертаций.

Основные публикации: Расчет, проектирование и реконструкция лесосушильных камер. – М.: Экология, 1998; Качество древесины сосны в культурах. – Архангельск, 2003; Отбор и заготовка лесоматериалов в практике возведения обьектов деревянного зодчества. – Архангельск: ОАО «Научдревпром-ЦНИИМОД», 2004.

За заслуги в подготовке высококвалифицированных кадров для лесной и деревообрабатывающей промышленности и большой вклад в фундаментальную и отраслевую науку Владимир Иванович Мелехов удостоен высокого звания заслуженного деятеля науки РФ, награжден знаками «Изобретатель СССР» и «Почетный работник высшего профессионального образования РФ», почетным знаком РАЕН «За заслуги в

развитии науки и экономики России», серебряной медалью ВДНХ, почетной серебряной медалью В.И. Вернадского и медалью «Ветеран труда».

Поздравляем Владимира Ивановича со знаменательным юбилеем и желаем доброго здоровья, творческих успехов, личного счастья и благополучия.

Ректорат,
коллектив факультета механической
технологии древесины АГТУ,
редколлегия и редакция «Лесного журнала»

Administration of ASTU, staff of wood technology faculty, editorial board and staff of «Lesnoy Zhurnal»

Jubilee of Vladimir I. Melekhov