

МИНИСТЕРСТВО ВЫСШЕГО И СРЕДНЕГО  
СПЕЦИАЛЬНОГО ОБРАЗОВАНИЯ СССР

---

ИЗВЕСТИЯ  
ВЫСШИХ УЧЕБНЫХ  
ЗАВЕДЕНИЙ

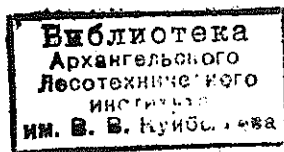
---

*Лесной журнал*

ГОД ИЗДАНИЯ ДВАДЦАТЬ ПЕРВЫЙ

2

1978



АРХАНГЕЛЬСК

## РЕДАКЦИОННАЯ КОЛЛЕГИЯ

Проф. И. М. Боховкин (отв. редактор), доц. Е. С. Романов (зам. отв. редактора), доц. С. И. Морозов (зам. отв. редактора), проф. Н. М. Белая, проф. Ю. Г. Бутко, доц. П. И. Войчал, проф. И. В. Воронин, проф. М. Л. Дворецкий, доц. Г. Л. Дранишников, проф. В. Г. Кочегаров, проф. Н. В. Маковский, акад. ВАСХНИЛ, проф. И. С. Мелехов, доц. Н. В. Никитин, проф. А. Н. Песоцкий, доц. А. Р. Родин, проф. Ю. Д. Силуков, проф. Н. И. Федоров, проф. В. В. Фефилов, проф. В. Н. Худоногов, проф. В. В. Щелкунов.

Ответственный секретарь редакции А. И. Кольцова.

---

«Лесной журнал» публикует научные статьи сотрудников вузов 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. Предназначается для научных работников, аспирантов, преподавателей вузов, студентов старших курсов лесотехнических институтов.

© ИВУЗ, «Лесной журнал», 1978.

Адрес редакции: 163007, Архангельск, 7, Набережная В. И. Ленина, 17.  
Архангельский лесотехнический институт, тел. 4-13-37.

---

ИЗВЕСТИЯ ВЫСШИХ УЧЕБНЫХ ЗАВЕДЕНИЙ

«ЛЕСНОЙ ЖУРНАЛ» № 2

(Год издания двадцать первый)

---

Сдан в набор 21/11 1978 г. Подписан к печати 12/V 1978 г.  
Форм. бум. 70×108<sup>1</sup>/<sub>16</sub>. Печ. л. 15.4. Физ. л. 11. Уч.-изд. л. 15.01.  
Сл. 00012. Тираж 2450 экз. Заказ 1040. Цена 1 руб.

---

Типография им. Склепина издательства Архангельского обкома КПСС,  
г. Архангельск, Набережная В. И. Ленина, 86.

## НА ПЕРЕДНЕМ КРАЕ ЛЕСНОЙ НАУКИ

«Лесному журналу» — 20 лет. В 1958 году вышел в свет его первый номер.

Учрежденный как одна из серий «Известий вузов», «Лесной журнал» является комплексным печатным органом высшей школы по всем отраслям науки о лесе, древесине, процессах и продуктах ее переработки. В ежегодно выпускаемых шести номерах журнала общим объемом 90 печатных листов публикуется большая по содержанию и объему разнообразная научная информация.

Начав с четырех разделов, соответствующих отраслевой дифференциации лесного дела (лесное хозяйство, лесозаготовка, механическая и химическая технология древесины), «Лесной журнал», отражая достижения науки и передового опыта, затем вдвое увеличил количество разделов. Все больше публикуется статей по вопросам комплексной механизации и автоматизации, экономики, организации и управления производством, по обмену опытом.

Комплексный, системный подход к проблемам леса — отличительная черта «Лесного журнала», единственного в нашей стране периодического печатного органа, охватывающего всю лесную проблематику. Эта комплексность в наибольшей степени соответствует духу развития современной науки, когда ее отрасли все более взаимно соприкасаются и проникают друг в друга, а наиболее интересные и важные открытия делаются на стыках разных наук. Помещая рядом статьи по разным отраслям науки о лесе и древесине, журнал не только знакомит с ними читателя, расширяя его кругозор, но и способствует более смелому и квалифицированному применению идей системного подхода в научных исследованиях и подготовке лесными вузами инженерных кадров широкого профиля. Расширение и углубление комплексного характера «Лесного журнала» — это достижение и в то же время одна из главных задач авторского коллектива вузов, редакционной коллегии и редакции журнала.

«Лесной журнал» издается Министерством высшего и среднего специального образования СССР. Поэтому на его страницах публикуются прежде всего материалы научных исследований, проводимых в вузах. Вместе с тем журнал стремится информировать своих читателей и о наиболее значительных достижениях отраслевых научно-исследовательских институтов, учреждений Академии наук СССР и союзных республик, передовом производственном опыте. «География» статей «Лесного журнала» охватывает всю нашу страну от Прибалтики до Дальнего Востока, от Крайнего Севера до республик Закавказья и Средней Азии.

Акцентируя внимание на публикации результатов исследований, «Лесной журнал», в отличие от производственных журналов, освещает и вопросы методики и постановки экспериментов, что является хорошей школой и для начинающих ученых, и для студентов.

Предмет особой заботы редакционной коллегии — дискуссионные статьи. Памятны дискуссии на страницах «Лесного журнала» по вопросам лесопользования в европейской части СССР и на Севере, о

типах лесных предприятий, по методам таксации, по некоторым биологическим проблемам. Хотелось бы чтобы и в дальнейшем в журнале было больше оригинальных и ярких статей, по-новому ставящих актуальные вопросы.

Как орган высшей школы, «Лесной журнал» живо откликается на все важнейшие события политической и социальной жизни нашего общества, наиболее актуальные проблемы формирования нового человека, коммунистического воспитания и закалки будущих специалистов. Стало доброй традицией открывать номера журнала передовыми статьями по материалам съездов Коммунистической партии Советского Союза, пленумов ее Центрального Комитета, постановлениям партии и правительства по вопросам науки, производства, подготовки кадров и др., а также в связи с крупными историческими датами. Большую научную и воспитательную роль сыграли специально подготовленные юбилейные номера «Лесного журнала», посвященные 50-летию Великой Октябрьской социалистической революции (1967 г.), 100-летию со дня рождения В. И. Ленина (1970 г.), 50-летию образования Союза ССР (1972 г.), 60-летию Великого Октября (1977 г.). В этих номерах со статьями выступили Министры СССР и союзных республик, ответственные работники Госплана СССР, ведущие ученые лесных вузов. Редакция и впредь будет уделять самое пристальное внимание повышению идейно-политического и воспитательного уровня журнала.

В составе редакционной коллегии «Лесного журнала» 20 ведущих ученых и крупных специалистов по всем отраслям науки о лесе. Состав редколлегии пополняется и обновляется. По всем основным вопросам деятельности журнала, включая принятие статей, решения принимаются коллегиально.

Работа редакционной коллегии и редакции журнала всесторонне планируется: редколлегия выделяет наиболее актуальную тематику и заказывает проблемные статьи ведущим ученым и руководителям производства; составляется план комплектования номеров; намечаются читательские конференции и т. д.

Естественно, что состав авторов журнала постоянно меняется, обновляется. Среди них представители всех категорий — от аспирантов до академиков. Статьи авторов с учеными степенями и званиями составляют около 80 процентов. Каждая шестая статья написана учеными высшей квалификации — академиками, докторами наук, профессорами.

К рецензированию статей привлекаются высококвалифицированные специалисты — представители всех лесотехнических вузов страны.

При большинстве лесных вузов и многих факультетах имеются группы содействия «Лесному журналу», оказывающие ему большую и разностороннюю помощь.

Как результат повышения научного уровня «Лесного журнала» растет его популярность. За двадцать лет подписка на журнал выросла в 5 раз, «Лесной журнал» выписывают и читают во многих странах мира.

Коллектив журнала видит и недостатки в своей работе, знает о том, что еще многое предстоит сделать. Журнал и впредь будет всемерно способствовать развитию лесной науки, совершенствованию высшего и среднего специального лесного образования, решению задач коммунистического строительства.

## ЛЕСНОЕ ХОЗЯЙСТВО

УДК 634.0.61

В ЗАЩИТУ  
ПОСТОЯННО ДЕЙСТВУЮЩИХ ЛЕСНЫХ ПРЕДПРИЯТИЙН. П. АНУЧИН  
ВАСХНИЛ

Автор не согласен с концепцией о постоянно действующих предприятиях, выдвинутой Т. С. Лобовиковым. Расчетную лесосеку для таких предприятий предлагается определять как вторую возрастную.

В «Лесном журнале» № 4 за 1977 г. опубликована статья проф. Т. С. Лобовикова «Лесные предприятия будущего и воспроизводство лесных ресурсов».

На первый взгляд создается впечатление, что автор названной статьи предпочитает постоянно действующие предприятия. Однако более глубокий анализ статьи и предыдущих его публикаций не оставляет сомнения в том, что на ближайшие 6—7 десятилетий явное предпочтение Т. С. Лобовиков отдает периодическому лесопользованию.

Он указывает, что в недалеком прошлом в реальной действительности лесозаготовительные предприятия функционировали 20—35 лет. При ликвидации таких временно действующих предприятий нет «потерь на недоамортизации фондов», так как «сооружение, возведенное для освоения какого-то объема ресурса и освоившее его, полностью амортизируется, хотя и остается в технически исправном состоянии». Соответственно этому Т. С. Лобовиков приходит к выводу, что «форсированное освоение спелых лесов экономически выгодно».

Рассматривая лесные предприятия с позиций отдаленного будущего, в их жизни автор статьи намечает три периода. Первый — период форсированной рубки спелых и перестойных древостоев. Во втором периоде проводятся рубки ухода за лесом и облесение вырубок. Только в третьем периоде «становится реально (и единственно) возможным неснижаемый в дальнейшем объем рубок, т. е. та особенность организации, которая присуща постоянно действующим предприятиям». Такая система ведения хозяйства, прерывающаяся на несколько десятилетий (во втором периоде) главную рубку или главное пользование лесом, как раз и ведет к созданию кочующих предприятий.

При 100-летнем сроке выращивания хвойного леса, согласно схеме лесопользования, рекомендуемой Т. С. Лобовиковым, весь товарный лес должен быть вырублен в 20—35 лет, т. е. в первую треть оборота рубки. Во второй период, названный автором периодом конверсии, или трансформации, главное пользование должно быть закрыто, а вместо него рекомендуется развивать рубки ухода. Согласно данным Т. С. Лобовикова, объектом таких рубок окажутся древостой первых двух классов возраста (возникшие на вырубках в течение 20—35 лет). Как известно, при прочистках и прореживаниях, проводимых в древостоях первых двух классов возраста, исключается возможность получения товарной древесины. В лучшем случае может быть получена

мелкая древесина (жерди и колья) для удовлетворения местных нужд. Следовательно, лесозаготовительное предприятие, организованное с целью обеспечения народного хозяйства пиловочником, шпальником, крепежным лесом, балансами и другими сортаментами, неизбежно должно перекочевать на новое, необжитое место.

В конечном итоге Т. С. Лобовиков заключает, что перевод предприятий на режим постоянного действия «вполне правомерен для каждого предприятия после того, как реализованы (освоены) избытки спелого леса; больше того, на этой стадии такой перевод является единственно целесообразным шагом. С течением времени все большее число предприятий будет достигать этой фазы своего развития, расширится зона преимущественного распространения этого типа предприятий (с неснижаемым объемом рубок); но общей и даже наиболее распространенной формой такие предприятия могут оказаться лишь в очень отдаленном будущем» (подчеркнуто нами — Н. А.).

Чтобы не допустить неточного толкования текста статьи Т. С. Лобовикова, мы дословно изложили его предложения и обобщающие выводы. Они не оставляют сомнения в том, что в ближайшие полстолетия и даже дольше, по мнению Т. С. Лобовикова, у нас будут преобладать кочующие предприятия периодического действия, а переход предприятий на режим постоянного действия осуществится лишь в очень отдаленном будущем. Такой вывод по существу зачеркивает проблему перевода предприятий лесной промышленности в постоянно действующие. С этим согласиться нельзя.

Прежде всего, мы усматриваем здесь противоречие с новыми «Основами лесного законодательства Союза ССР и союзных республик» (1977 г.). Согласно статье 11 этого закона, государственные органы, предприятия, организации и учреждения, осуществляющие планирование, организацию и ведение лесного хозяйства, использование лесных ресурсов с учетом народнохозяйственного значения лесов и природных условий обязаны обеспечивать непрерывное, неистощительное и рациональное пользование лесом для планомерного удовлетворения потребностей народного хозяйства и населения в древесине и другой лесной продукции (подчеркнуто нами — Н. А.).

Для большей убедительности своих выводов Т. С. Лобовиков подверг коренной ревизии принцип постоянства пользования лесом, лежащий в основе организации постоянно действующих предприятий. По его утверждению, «Все классики лесоводства и лесоустройства видели в нем прежде всего принцип постоянного использования лесных земель для выращивания производительных насаждений». «В реальной действительности подавляющее большинство предприятий являются постоянно действующими в том единственно верном смысле, что они постоянно используют лесные земли для выращивания продуктивных лесов, что, раз вступив в осваиваемые леса, они уже никогда не прекратят в них своей хозяйственной деятельности, хотя и в разных формах, объемах, пропорциях».

Такое толкование принципа постоянства пользования лесом выглядит упрощенным. В данной трактовке этот принцип ничем не лимитирует объем рубки леса, а единственное, чего он требует — сохранить лесную землю.

Но постоянство лесовыращивания не адекватно постоянству пользования лесом: лесная земля может быть полностью занята 20—30-летними сосняками, однако пиловочник, шпальник и другие крупные сортаменты в таком лесу можно получить лишь через многие десятилетия.

Вопреки утверждению Т. С. Лобовикова, классики лесоводства и лесоустройства под постоянством пользования лесом имели в виду постоянство получения древесины и соответственно этому постоянство производительности лесных земель. Г. Ф. Морозов, на которого ссылается Т. С. Лобовиков, в книге «Учение о лесе» (Изд. 7-е. М.—Л., Гослесбумиздат, 1949, с. 91) для обеспечения постоянства пользования лесом считал необходимым следующее: «Для того же, чтобы лесное хозяйство давало из года в год непрерывно известное количество древесины, которое представляет собою один из предметов первого пользования, необходимо иметь совокупность насаждений разного возраста: молодых, средневозрастных, приспевающих и спелых. Очевидно, чтобы обеспечить постоянство пользования при непрерывном хозяйстве, а оно только и имеется в виду, необходимо иметь целую совокупность лесных участков, между которыми должна быть установлена определенная хозяйственная связь».

Классик лесоустройства М. М. Орлов в первом томе «Лесоустройства» («Лесное хозяйство, лесопромышленность и топливо», Л., 1927, с. 78) пишет: «Непрерывным лесным хозяйством называются все те формы его, в которых лес срубается и возобновляется не сразу на всей площади, а всегда на части общей площади хозяйства и при том так, чтобы нормально главное пользование древесиной поступало ежегодно» (подчеркнуто нами — Н. А.).

Там же М. М. Орлов дает определение периодическому способу пользования лесом. Он пишет: «Периодическим лесным хозяйством называются все те формы его, в которых лес на всей площади данного хозяйства срубается и возобновляется сразу, вследствие чего главное пользование поступает периодически через то число лет, которое требуется для того, чтобы лес достиг такого состояния, в котором он считается спелым». Сопоставляя приведенные определения М. М. Орлова с формулировками Т. С. Лобовикова, нельзя не прийти к выводу, что под постоянно действующим предприятием с наличием периода трансформации и конверсии имеется в виду несколько модернизированное периодическое пользование лесом.

Т. С. Лобовиков указывает, что в конце 1940-х — начале 1950-х годов рядом специалистов (в их числе и пишущим эти строки) практика форсированного освоения избытков перестойного леса была резко «осуждена как, якобы, неправильная; была выдвинута идея «постоянно действующих» предприятий, под которыми понимались предприятия с неснижаемым равномерным или равномерно возрастающим объемом рубок леса в течение неограниченно длительного времени».

В названное Т. С. Лобовиковым время по вопросам регулирования пользования лесом действительно имела место дискуссия. Однако позиция специалистов, защищавших постоянное лесопользование, Т. С. Лобовиковым освещена неправильно. Форсированная рубка перестойного леса ими не отвергалась. Строгой равномерности пользования лесом они не предлагали. Речь шла о постоянном, непрекращающемся пользовании лесом, но отнюдь не о равномерном.

За истекшие с тех пор 30 лет в моих многократных выступлениях в печати на тему о непрерывном пользовании лесом отмечалось, что практика лесного хозяйства не имеет примеров строго равномерного пользования лесом. Поэтому речь может идти лишь об относительной равномерности. Согласно действующим инструкциям и наставлениям, при расчете пользования лесом хотя и определяют лесосеку равномерного пользования лесом, но она служит лишь некоторым ориентиром при установлении размера лесопользования. На протяжении целого

столетия в практике отечественного лесоустройства решающее значение придается учету возрастного распределения древостоев. С этой целью определяют лесосеку, именуемую лесосекой по возрасту. Чтобы принцип постоянства пользования лесом освободить от приписываемой ему строгой равномерности в лесопользовании, нами предложено именовать его принципом непрерывного, неистощительного пользования лесом (Анучин Н. П. Теоретические основы организации лесного хозяйства. — «Лесное хозяйство», 1976, № 10, с. 58—59). В этой статье указывалось, что «Слово «равномерность» имеет строго определенный математический смысл. Оно не сочетается с понятием «изменчивость», столь распространенным у множества лесных величин. С учетом этого от термина «равномерность пользования лесом», применявшегося в лесном хозяйстве не одно столетие, все же следует отказаться. Взамен его мы предлагаем применять более гибкий термин — «неистощительность пользования лесом». При неистощительном лесопользовании в его размере возможны колебания, которые должны иметь определенные границы, характеризующиеся, с одной стороны, величиной среднего прироста, а с другой — возрастной структурой древостоев, имеющих в данном хозяйстве, и наличием спелого леса». Наше предложение было учтено при разработке проекта «Основ лесного законодательства Союза ССР и союзных республик». В статье 11 отмечена обязательность непрерывного, неистощительного пользования лесом.

Как уже было отмечено, в основу определения расчетной лесосеки, согласно ныне действующей методике расчета размера лесопользования в лесах государственного лесного фонда СССР, положены лесосеки по возрасту. Решающее значение придается второй возрастной лесосеке. При ее определении сумму перестойных, спелых, приспевающих и одного класса возраста средневозрастных древостоев делят на число лет, содержащееся в трех классах возраста,

$$L''_{\text{воз}} = \frac{F_{\text{пер}} + F_{\text{сп}} + F_{\text{пр}} + F'_{\text{сп}}}{3K},$$

где  $L''_{\text{воз}}$  — площадь второй возрастной лесосеки;  
 $F_{\text{пер}}$  — площадь перестойных древостоев;  
 $F_{\text{сп}}$  — площадь спелых древостоев;  
 $F_{\text{пр}}$  — площадь приспевающих древостоев;  
 $F'_{\text{сп}}$  — площадь средневозрастных древостоев, относящихся к одному классу возраста, смежному с приспевающими древостоями;

$K$  — продолжительность класса возраста.

Во вновь осваиваемых лесных массивах обычно преобладают спелые и перестойные древостой. Вторая возрастная лесосека, исчисленная по приведенной формуле, окажется близка к 1/70 лесопокрытой площади. Если принять ее за расчетную лесосеку, хозяйство в данном массиве будет вестись по обороту рубки, близкому к возрасту количественной спелости. Через 10 лет расчетная лесосека будет определена второй раз. За 10-летний срок площадь перестойного и спелого леса уменьшится и расчетная лесосека окажется близкой к 1/80 всей лесопокрытой площади. В последующие два-три десятилетия вторая возрастная лесосека, принимаемая за расчетную, еще несколько снизится. Однако главное пользование не прекратится. К 90—100 годам расчетная лесосека начнет увеличиваться.

Более точно, чем вторая возрастная лесосека, возрастную структуру древостоев, образующих то или иное хозяйство, учитывает пред-



ложенная нами интегральная лесосека. Таким образом, два вида лесосек (возрастные и интегральная) позволяют на длительную перспективу рассчитывать главное пользование лесом. Оно окажется непрерывным, но неравномерным. Наименьшей окажется расчетная лесосека на половине оборота рубки, определяющего длительность производственного цикла по выращиванию спелого леса. Все изложенное позволяет заключить, что лесоустроительная наука в своем арсенале имеет методы для расчета размера лесопользования во вновь организуемых хозяйствах в лесах, ранее не подвергавшихся эксплуатации или освоенных частично. Предложения Т. С. Лобовикова, предусматривающие в лесопользовании период трансформации и конверсии, противоречат идее постоянства пользования лесом.

Т. С. Лобовиков сетует на нечеткость современного определения понятия «Лесные ресурсы» и упрекает проектировщиков лесной промышленности за неравномерность учета «ликвидного» запаса спелых древостоев. С этой критикой также нельзя согласиться. Техника инвентаризации лесных ресурсов в нашей стране довольно хорошо разработана. В итоге таксации лесов дается распределение лесопокрываемой площади по древесным породам, классам возраста, полнотам, классам бонитета и запасам древостоев. Для каждой лесохозяйственной секции устанавливается средний возраст, средний класс бонитета, средняя полнота, средний запас, товарность и другие показатели. Комплекс перечисленных нормативов позволяет всесторонне характеризовать выявленные лесные ресурсы.

В заключение своей статьи Т. С. Лобовиков рассматривает вопрос о комплексных предприятиях. Однако его суждения по этому вопросу весьма неопределенны. Он пишет: «Нужно различать желательность комплексной организации и степень ее необходимости, а также учитывать степень опасности неблагоприятных сопутствующих явлений. Если желательность и необходимость существенны, а опасность неблагоприятных явлений невелика — комплексная организация предпочтительна». Такого рода заключения не обогащают науку по организации хозяйства.

По нашему мнению, рассмотренная статья Т. С. Лобовикова не содержит приемлемых конструктивных предложений, которые можно было бы положить в основу организации постоянно действующих предприятий, а такие предприятия жизненно необходимы.

---

Поступила 16 января 1978 г.

УДК 634.0.416.1

## ПОРАЖЕННОСТЬ ХВОИ ШЮТТЕ ОБЫКНОВЕННЫМ В ГЕОГРАФИЧЕСКИХ КУЛЬТУРАХ СОСНЫ

Н. И. ФЕДОРОВ, Е. Д. МАНЦЕВИЧ, Н. И. ЯКИМОВ

Белорусский технологический институт

Приводятся результаты исследований устойчивости хвои сосны к поражению обыкновенному в географических культурах первого и второго поколений Негорельского учебно-опытного лесхоза. Наиболее сильно поражается хвоя у сосны из северных и южных районов, а повышенной устойчивостью отличается сосна юго-западного происхождения.

Устойчивость хвои сосны к заболеваниям в определенной степени связана с ее географическим происхождением. С. И. Ванин [1] отмечал, что различные климатические расы сосны обыкновенной отличаются разной восприимчивостью к заболеванию, вызываемому грибом *Lophodermium pinastri* Chev. По данным Скиллинга и Нихолса [8], короткохвойные формы сосны из Испании и Франции, выращенные в Северной Америке, более устойчивы к шютте, чем сосна местного происхождения. Сивецки, Хвалиньски, Качмарек [7] установили, что сосна из северо-восточных районов Польши более устойчива к поражению грибом *L. pinastri*. Различную устойчивость сосны, выращенной из семян разного географического происхождения, также отмечали Гойман [2], Шютт [6], Лапьер [5].

Для выяснения устойчивости сосны обыкновенной различного географического происхождения к поражению шютте обыкновенным было проведено фитопатологическое обследование географических культур, созданных в 1959 и 1967 гг. в Негорельском учебно-опытном лесхозе [3, 4]. В сосновых культурах 10—20-летнего возраста гриб *L. pinastri*, как правило, не вызывает эпифитотий, однако часть хвои ежегодно заболевает. Потеря хвои уменьшает ассимиляционный аппарат деревьев, что приводит к снижению их прироста. Массовое пожелтение и опадение пораженной хвои происходит в мае—июне. В это время была оценена степень поражения хвои в различных вариантах 20-летних географических культур путем поперечного перечета с учетом возраста пораженной хвои. Для более точной оценки степени поражения осенью из опавшей хвои были взяты смешанные образцы в 50 местах каждого варианта географических культур. Из смешанного образца для анализа брали средний образец из одной тысячи пар хвоннок. В среднем образце выделяли хвою с признаками заболевания, по наличию плодовых тел (апотециев), пикнид и поперечных черных линий и без признаков поражения. Всего было обследовано 56 вариантов географических культур.

Результаты исследований (табл. 1) показали, что наиболее сильно поражается хвоя у сосны северного происхождения (из Архангельской, Ленинградской, Псковской областей и Карельской АССР). В степени пораженности хвои сосны местного происхождения и из Калининской, Московской, Тульской, Рязанской и Брянской областей существенных различий не обнаружено. Несколько большую устойчивость к поражению имеет хвоя сосны из юго-западных районов (Волынская и Хмельницкая области). В то же время сосны южных областей (из Ростовской, Донецкой и Полтавской областей) поражаются сильнее, чем местная сосна.

Аналогичные исследования были проведены в 12-летних географических культурах сосны второго поколения. Для их закладки использовали гибридные семена, так как в культурах первого поколения

Таблица 1

Географическое происхождение	Возраст пораженной хвои, лет	Количество деревьев, пораженных шютте, % от общего числа на участке	Пораженность опавшей хвои шютте обыкновенным, %		
			с плодовыми телами	без плодовых тел	общая
Карельская АССР	1, 2, 3	32,1	24,2	6,4	30,6
Архангельская область	1, 2, 3	30,2	25,9	9,2	35,1
Ленинградская "	1, 2, 3	7,1	12,0	7,1	19,1
Псковская "	1, 2, 3	5,6	13,3	7,4	20,7
Эстонская ССР	2, 3	2,1	10,0	6,4	16,4
Калининская область	2, 3	1,3	10,2	4,8	15,0
Московская "	2, 3	1,7	9,9	3,2	13,1
Тульская "	2, 3	1,5	9,7	5,3	15,0
Минская "	2, 3	1,6	8,7	5,4	14,1
Брянская "	2, 3	1,4	10,3	3,7	14,0
Сумская "	2, 3	1,5	10,7	4,0	14,7
Волынская "	2, 3	0,8	8,3	3,4	11,7
Хмельницкая "	2, 3	1,1	8,9	3,9	12,8
Полтавская "	2, 3	5,9	12,6	5,6	18,2
Донецкая "	1, 2, 3	6,8	12,7	5,7	18,4
Ростовская "	1, 2, 3	7,6	15,3	4,7	20,0

были исключительно женские цветы и опыление макростробиля шло только пыльцой местной сосны. Соответствующие данные помещены в табл. 2.

Таблица 2

Географическое происхождение	Возраст пораженной хвои, лет	Пораженность опавшей хвои шютте обыкновенным, %		
		с плодовыми телами	без плодовых тел	общая
Архангельская и Ленинградская области, Карельская АССР	1, 2, 3	27,1	6,2	33,3
Минская, Гродненская и Гомельская области	2, 3	17,6	7,4	25,0
Калининская, Гродненская и Гомельская области	2, 3	23,8	5,1	28,9
Волынская и Львовская области	2, 3	12,3	3,9	16,2
Днепропетровская, Донецкая и Ростовская области	1, 2, 3	26,9	3,7	30,6

Анализ полученных результатов показывает, что в Негорельском учебно-опытном лесхозе наиболее восприимчива к шютте обыкновенному хвоя у сосны северных вариантов (Архангельская, Ленинградская области, Карельская АССР), а также у сосны южного происхождения (Днепропетровская, Донецкая, Ростовская области). Наиболее устойчива к поражению сосна юго-западных областей (Волынская, Львовская области). Хвоя у сосны Московской, Калининской, Ярославской областей и местной сосны поражается примерно одинаково. Таким образом, у второго поколения географических культур, имеющих гибридное происхождение, в пораженности хвои шютте обыкновенным наблюдаются те же закономерности, что и в материнских географических культурах.

Более высокую восприимчивость сосны северных и южных вариантов подтверждает тот факт, что у них отмечается поражение хвон первого года, в то же время у более устойчивых вариантов поражена хвоя только второго и третьего года.

Анализируя количество опавшей хвои, на которой образовались апотеции, можно сказать, что географическое происхождение сосны также влияет и на способность гриба образовывать плодовые тела. У сосны северных и южных вариантов процент хвои с образовавшимися апотециями выше, чем у местной сосны, в то время как количество хвон без плодовых тел существенно не отличается.

Более сильное поражение хвои в географических культурах второго поколения свидетельствует о том, что сосна в возрасте 12 лет более чувствительна к поражению шютте, чем в 20 лет.

#### Л И Т Е Р А Т У Р А

- [1]. Вапин С. И. Болезни семян и семян лесных пород. М.—Л., Сельколхозгиз, 1931. [2]. Гойман Э. Инфекционные болезни растений. М., ИЛ, 1954. [3]. Манцевич Е. Д. Особенности роста второго поколения географических культур сосны обыкновенной. — В сб.: Лесоведение и лесное хозяйство. Вып. 4. Минск, «Высшая школа», 1971, с. 83—87. [4]. Мишнев В. Г., Манцевич Е. Д. Географические культуры сосны обыкновенной в БССР. — Сборник ботанических работ. Вып. 2. Минск, АН БССР, 1960, с. 68—80. [5]. Lanier L., Lacaze F., Millier C. Lutte par voie genetique contre le Rouge cryptogamique des Pins. — «European Journal of Forest Pathology», 1973, 3, No. 2, p. 105. [6]. Schütt P. Various forms of Lophodermium—resistance in Scots pine. Breeding Pest-Resistant Trest. Pergamon Press. Oxford, 1966, p. 377—383. [7]. Siwecki R., Chwalinski K., Kaczmarek Z. An attempt to determine the characters that differentiate provenances of Scots pine in resistance to *Lophodermium pinastri* (Schrad) Chev. Mitt. Bundesforschungsanst Forst-Holzwirtschaft. Reinfek, 1975, 108, p. 121—129. [8]. Skilling D. D., Nicholls T. H. The development of *Lophodermium pinastri* in conifer nurseries and plantation in North America. — «European Journal of Forest Pathology», 1975, 5, No. 4, p. 193—197.

Поступила 25 ноября 1977 г.

УДК 634.0.5

### ПЛОЩАДЬ РОСТА ДЕРЕВА И ЕЕ ОПРЕДЕЛЕНИЕ АНАЛИТИЧЕСКИМ СПОСОБОМ

А. П. ТЯБЕРА

Литовская сельскохозяйственная академия

Предлагается аналитический способ определения площади роста и других показателей территориального размещения деревьев с помощью ЭВМ «Минск-32».

Особенности роста и развития отдельных деревьев и древостоев в целом в большой мере зависят от территориального размещения деревьев. Исследование этих закономерностей позволяет выявить новые закономерности развития лесных биогеоценозов; оптимизировать процесс выращивания высококачественной древесины; усовершенствовать критерии оценки производительности отдельных деревьев и методы учета лесных ресурсов и др.

Закономерности территориального размещения деревьев в древостоях в лесоводственной литературе рассматриваются в двух аспектах.

1. Изучение особенностей размещения деревьев. Исследуются закономерности распределения, изменчивость расстояний между деревья-

ми, предлагаются методы определения средних расстояний, оцениваются типы размещения особей [2, 3, 7].

2. Оценка условий роста отдельного дерева в древостое. Условия роста дерева характеризуются принадлежащей ему площадью (пространством), породным составом, таксационными показателями и особенностями территориального размещения окружающих деревьев.

В настоящее время площадь, занимаемая деревом, определяется разными методами. П. П. Изюмский [5] исходит из формулы

$$F = \frac{10\,000}{N}, \quad (1)$$

где  $F$  — средняя площадь роста одного дерева, м<sup>2</sup>;

$N$  — число деревьев на 1 га.

Асман [8] и А. К. Поляков [6] основой для определения площади роста дерева считают горизонтальную проекцию кроны. И. Желев [4] учитывает влияние четырех ближайших деревьев. Браун [9], Штёр [10], Г. Апостолов [1] и др. площадью роста дерева считают полигон, образованный перпендикулярами к прямым, соединяющим исследуемое дерево с окружающими. Некоторые авторы это расстояние разделяют в разных соотношениях. Естественно, каждый метод имеет свои положительные и отрицательные стороны. Метод Брауна может быть использован для усовершенствования учета лесных ресурсов. Для изучения особенностей роста и развития деревьев в разных условиях окружающей среды, на наш взгляд, наиболее приемлем метод Штёра, схематически показанный на рис. 1.

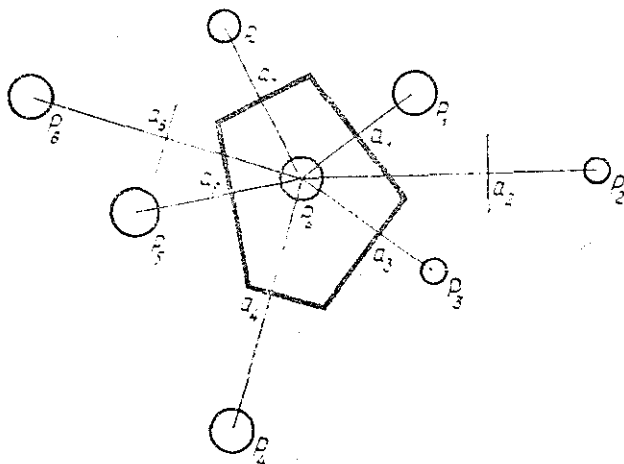


Рис. 1.

Исследуемое дерево ( $P_0$ ) соединяют с окружающими ( $P_i$ ) прямыми линиями. Расстояния  $P_0 P_i$  в точках  $a_i$  делят пропорционально диаметрам деревьев  $P_0$  и  $P_i$  на высоте 1,3 м:

$$l = \frac{LD_0}{D_0 + D_i}, \quad (2)$$

где  $l$  — расстояние  $P_0 a_i$ , м;

$L$  — расстояние  $P_0 P_i$ , м;

$D_0$  — диаметр исследуемого дерева на высоте 1,3 м, см;

$D_i$  — диаметр окружающих деревьев на высоте 1,3 м, см.

Через точки  $a_i$  проводят перпендикуляры к прямым  $P_0 P_i$ . При пересечении перпендикуляров образуется полигон площади роста исследуемого дерева. В рассматри-

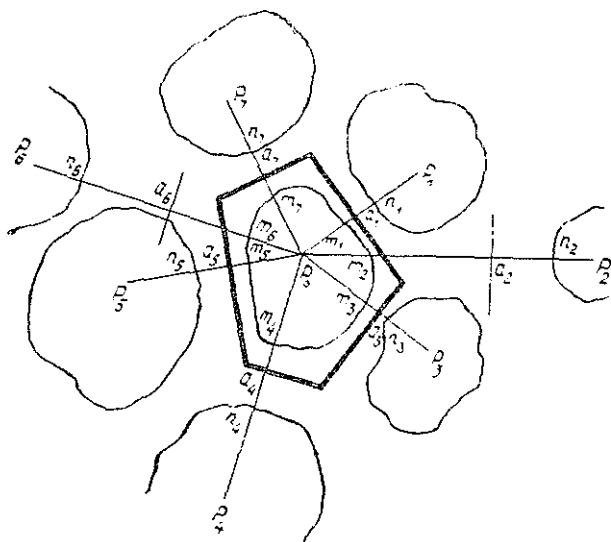


Рис. 2.

ваемом случае считают, что деревья  $P_2$  и  $P_6$  не оказывают существенного влияния на рост исследуемого дерева  $P_0$ .

Для оценки этого метода мы провели опыт. На трех пробных площадях, заложенных в высокополнотных чистых насаждениях разного возраста (30, 50 и 80 лет), случайно выбрали по 50 деревьев. Определили площадь горизонтальной проекции их крон, площадь роста дерева по методу Штёра ( $F_1$ ) и по несколько усовершенствованному методу А. К. Полякова ( $F_2$ ), схематически показанному на рис. 2. Деревья  $P_0$  и  $P_i$  соединяют прямыми. Расстояния  $m_i$  и  $n_i$  разделяют пропорционально радиусам ( $P_0m_i$  и  $P_0n_i$ ) крон деревьев  $P_0$  и  $P_i$ . Через полученные точки  $a_i$  проводят перпендикуляры к прямым  $P_0P_i$ . В результате пересечения перпендикуляров образуется полигон площади роста дерева.

Установлено, что  $F_1$  тесно коррелирует с площадью горизонтальной проекции кроны. Эта связь выражается уравнением параболы второй степени. Корреляционное отношение изменяется в пределах 0,785—0,865.

$F_1$  находится в тесной зависимости с  $F_2$ , которая выражается уравнением прямой:

$$F_2 = a_0 F_1 + a_1. \quad (3)$$

В конкретных случаях получили следующие уравнения:  
для насаждений 30 лет

$$F_2 = 0,996 F_1 + 0,15; \quad r = 0,926; \quad (3a)$$

55 лет

$$F_2 = 1,023 F_1 - 0,19; \quad r = 0,903; \quad (3б)$$

80 лет

$$F_2 = 1,018 F_1 + 0,21; \quad r = 0,843. \quad (3в)$$

Из приведенных уравнений (3а, 3б, 3в) следует, что коэффициенты  $a_0 \approx 1$ , а  $a_1 \approx 0$ . Таким образом,  $F_2 \approx F_1$ .

Исследованные зависимости указывают на идентичность использованных методов определения площади, занимаемой деревом. Однако метод Штёра сравнительно несложен, поэтому ему следует отдать предпочтение.

Способы определения размеров полигона площади роста дерева могут быть графическими, механическими и аналитическими. Первые два способа трудоемки, кроме того, они не исключают крупных ошибок. Аналитический способ позволяет использовать ЭВМ. По разработанному нами алгоритму составлена программа для определения площади роста дерева и некоторых показателей территориального размещения окружающих деревьев.

Площадь роста дерева определяют по формуле

$$F = \frac{1}{2} \sum_{j=1}^{i=n} x_{mij} (y_{mij-1} - y_{mij+1}), \quad (4)$$

где  $F$  — площадь роста дерева, м<sup>2</sup>;  
 $x_{mij}, y_{mij}$  — координаты углов полигона, м.

Примечание. Дерево  $P_0$  находится в центре координат.

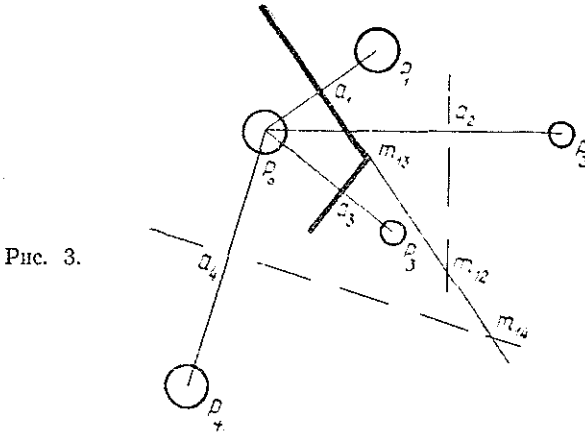


Рис. 3.

Координаты первого угла полигона ( $m_{1j}$ ) — рис. 3 — определяются следующим образом:

$$x_{m1j} = \left[ \frac{(x_{P_1})^2 y_{P_j}}{D_0 + D_1} - \frac{(x_{P_j})^2 y_{P_1}}{D_0 + D_j} + \frac{(y_{P_1})^2 y_{P_j}}{D_0 + D_1} - \frac{(y_{P_j})^2 y_{P_1}}{D_0 + D_j} \right] \frac{D_0}{x_{P_1} y_{P_j} - x_{P_j} y_{P_1}}; \quad (5)$$

$$y_{m1j} = \left[ y_{P_1} + \frac{(x_{P_1})^2}{y_{P_1}} \right] \frac{D_0}{D_0 + D_1} - \left( \frac{x_{P_1}}{y_{P_1}} \right) x_{m1j}, \quad (6)$$

когда  $y_{P_1} = 0$ ,

$$y_{m1j} = \left[ y_{P_j} + \frac{(x_{P_j})^2}{y_{P_j}} \right] \frac{D_0}{D_0 + D_j} - \left( \frac{x_{P_j}}{y_{P_j}} \right) x_{m1j}, \quad (6a)$$

где  $x_{m1j}, y_{m1j}$  — координаты предполагаемого первого угла полигона, м;

$x_{P_1}, y_{P_1}$  — координаты дерева  $P_1$ , м;

$x_{P_j}, y_{P_j}$  — координаты дерева  $P_j$ , м;

$D_0$  — диаметр дерева  $P_0$  на высоте 1,3 м, см;

$D_1$  — диаметр ближайшего дерева  $P_1$  на высоте 1,3 м, см;

$D_j$  — диаметры деревьев  $P_j$  на высоте 1,3 м, см.

Примечание.  $P_j$  обозначены деревья, находящиеся в секторе:  $\angle P_1 P_0 P_j < 180^\circ$ .

В результате решения уравнений (5), (6) или (6а) определяют координаты точек  $m_{1j}$ , которые обозначают предполагаемый первый угол полигона. Координаты истинного первого угла полигона (в данном случае  $m_{13}$ ) ЭВМ выбирает по заданным условиям. Координаты последующих углов полигона  $m_{2j}$ ,  $m_{3j}$ , ...,  $m_{ij}$  определяются по часовой стрелке аналогичным путем.

Таким образом, для вычисления площади роста дерева необходимо определить координаты размещения деревьев и диаметры деревьев на высоте 1,3 м. В целом разработанная программа дает возможность определить величину и конфигурацию полигона площади роста дерева, породный состав и средневзвешенный диаметр окружающих деревьев, а также средневзвешенные диаметры окружающих деревьев по элементам леса и некоторые показатели территориального размещения деревьев. Программа используется на ЭВМ «Минск-32».

#### ЛИТЕРАТУРА

- [1]. Апостолов Г. Модел за използване действителни площен растежи простор на отделното дърво при определяне оптималния брой на стъблата в едно-възрастни чисти белброви изкуствени насаждения. — «Горско стопанска наука», 1973, № 6. [2]. Бочаров М. К., Самойлович Г. Г. Математические основы дешифрирования аэроснимков леса. М., «Лесная промышленность», 1964. [3]. Грейг-Смит П. Количественная экология растений. М., «Мир», 1967. [4]. Желев И. Метод за определение растежния простор на елитните дървета. — «Горско стопанска наука», 1975, № 4. [5]. Изюмский П. П. Площадь питания и ее значение для роста и развития насаждений. — В сб.: Лесоводство и агролесомелиорация. Респ. межвед. темат. науч. сб. Вып. 24. Киев, «Урожай», 1971. [6]. Поляков А. К. Определение оптимальной густоты сосны в свежей субори. — «Лесное хозяйство», 1973, № 12. [7]. Юкнис Р. А. Закономерности пространственного распределения деревьев в сосняках Литовской ССР. — ИВУЗ, «Лесной журнал», 1973, № 5. [8]. Assmann E. Waldertragskunde. München — Bonn — Wien, BLV. Verlagsgesellschaft, 1961. [9]. Brown G. S. Point density in stems per acre. — New Zealand. For. Research Notes, 1965, No. 38. [10]. Stöhr F. K. Erweiterungsmöglichkeit der Winkelzahlprobe. Diss. Freiburg, 1963.

Поступила 17 октября 1977 г.

УДК 634.0.16

## О БИОЛОГИЧЕСКОЙ ПРОДУКТИВНОСТИ СОСНЯКА ЧЕРНИЧНОГО В СРЕДНЕЙ ПОДЗОНЕ ТАЙГИ

Л. Е. АСТРОЛОГОВА

Архангельский лесотехнический институт

В спелом сосняке черничном в условиях средней подзоны тайги Архангельской области общая продуктивность древостоя составила 1174 ц/га. Основные продуценты — растения древесного яруса, среди которых большая доля приходится на ствол — 79%. Растения напочвенного покрова образуют около 4% запасов фитомассы ценоза. Общий прирост в древостое 14,1 ц/га, растения нижних ярусов дают более 20%.

Установление биологической продуктивности естественных лесных биогеоценозов имеет существенное значение в определении ресурсов живого органического вещества, продуцируемого на Земле.



Наши исследования проведены в учебно-опытном лесхозе АЛТИ, расположенном в Плесецком районе Архангельской области, в сосняке черничном свежем VIII класса возраста. Состав древостоя 10С+Лц, Е, Б; средняя высота сосны 22,3 м; диаметр на высоте груди 25,7 см; сумма площадей поперечных сечений 23,04 м<sup>2</sup>; класс бонитета IV; полнота 0,6; запас древесины 264 м<sup>3</sup>/га. Почва подзолистая маломощная глееватая, сформировавшаяся на супеси, подстилаемой тяжелым моренным суглинком. Общее проективное покрытие напочвенного покрова 100%. Наиболее распространенные виды травяно-кустарничкового яруса — *Vaccinium myrtillus* L. и *Vaccinium vitis-idaea* L. В моховом ярусе преобладает *Pleurozium Schreberi* Mitt.

Для определения продуктивности древостоя использовали методику Л. Е. Родина, Н. Н. Базилевич, Н. П. Ремезова [11]. В сосняке была заложена пробная площадь 0,4 га с пересчетом 200 деревьев (183 сосны) и замером диаметров по 4-сантиметровым ступеням толщины. Для учета фитомассы древостоя и прироста брали 10 модельных растений, для каждого из них определяли объем и массу свежесрубленной древесины ствола, коры и элементов живой кроны. Модельные растения спиливали у основания и из ствола выпиливали серию кружков на высоте 1; 1,3; 3; 5 м и т. д. для проведения анализа хода роста. По этим данным определяли годичный прирост древостоя по объему. Учитывая объемную массу сосны для Европейского Севера (0,55 г/см<sup>3</sup> при влажности древесины 15%) [4], полученные данные переводили в весовые единицы. Для определения запасов фитомассы растений напочвенного покрова на пробной площади по диагонали закладывали 40 пробных площадок размером 0,25 м<sup>2</sup>. На них фитомассу разбирали по видам и фракциям растений, взвешивали, а затем высушивали до постоянного веса при температуре 105°C и устанавливали ее запас в абс. сухом состоянии.

По нашим данным, общие запасы фитомассы сосняка черничного свежего на момент учета (20 июля) составили 1174 ц/га. По данным А. А. Молчанова [8], продуктивность высокополнотных сосняков черничных в условиях Плесецкого района Архангельской области равна 200—215 т/га. Полученные результаты находятся в пределах величин биомассы хвойных лесов Севера лесной зоны [12]. Основу продуктивности древостоя составляет надземная часть (табл. 1). Резкое преобладание массы ствола и незначительный процент хвои в доле надземной массы характерно для спелых древостоев различных географических объектов [5, 6, 8—10].

Таблица 1

Фракции	Запас фитомассы			
	сырой		абс. сухой	
	т/га	%	т/га	%
Ствол	145,13	79,1	75,76	78,7
Кора	9,61	5,1	5,25	5,4
Сучья	13,78	7,4	7,48	7,8
Техническая зелень:				
мелкие ветви	7,47	4,0	3,74	3,8
хвоя	8,15	4,4	4,20	4,3
Всего	184,14	100	96,43	100

Таблица 2

Компоненты фитомассы	Общий запас фитомассы, ц/га			
	Древесный ярус	Травяно-кустарничковый ярус	Мхи	Итого
Надземная	964,3	18,8	29	1012,1
Подземная	159,0	3,3	—	162,3
Всего	1123,3	22,1	29	1174,4

Как видно из табл. 2, продуктивность лесного сообщества в основном определяется древесной растительностью. Доля участия расте-

Вид растений	Запас фито								
	Надземная часть								
	Стебель			Листья			Плоды		
	1971	1972	1974	1971	1972	1974	1971	1972	1974
Черника	7,2	7,5	7,1	2,4	1,9	2,3	0,4	0,07	0,48
Брусника	4,7	5,13	4,65	2,3	3,3	3,4	0,03	—	—
Вереск	0,4	0,4	0,42	0,1	0,2	0,33	—	—	—
Луговик	—	—	—	—	0,01	0,01	—	—	—
Золотарник	—	—	—	—	—	0,06	—	—	—
Марьянник	—	0,02	—	—	0,03	—	—	0,01	—
Седмичник	0,01	—	—	0,01	—	—	—	—	—
Костяника	—	—	—	—	—	—	—	—	—
Линнея	—	0,3	—	—	0,1	—	—	—	—
Плауны	—	—	—	—	—	—	—	—	—
Итого	12,31	13,35	12,17	4,81	5,54	6,1	0,43	0,08	0,48

ний напочвенного покрова невелика, однако они существенно влияют на лесовозобновление, а также имеют хозяйственное значение. Продуктивность растений напочвенного покрова в свежем сосняке черничном равна 51 ц/га, причем масса мхов несколько больше, чем фитомасса растений травяно-кустарничкового яруса. Основной запас растений верхнего яруса напочвенного покрова составляют кустарнички (табл. 3).

Основа запасов сухого вещества — черника, которая доминирует в напочвенном покрове. Масса травянистых мала и крайне неравномерно размещена на поверхности почвы в силу редкой встречаемости видов, поэтому практически не играет роли в накоплении биомассы яруса. Доля споровых растений составляет в сумме около 5% общих запасов фитомассы травяно-кустарничкового яруса. Надземная фитомасса растений травяно-кустарничкового яруса превосходит подземную (табл. 3), что, в первую очередь, связано со строением кустарничков. Части стеблей, погруженные в отмершую зону мхов и подстилку, анатомически сходные с надземными, мы относили к надземным органам. Их масса равна более 70% всей массы стеблей (табл. 4, данные 1974 г.).

Собственно корни кустарничков имеют незначительную массу, что отмечают по южной подзоне тайги И. В. Каменецкая, К. В. Зворыкина, Т. В. Малышева [7]. В связи с этим полученные нами данные фракционного состава кустарничков расходятся с показателями Т. В. Белоноговой [1, 3] для сосняков Южной Карелии, согласно которым относительная масса корней ягодных кустарничков в 1,5—2 раза превышает их надземную часть. Доля листьев как ассимиляционного аппарата составляет 30% биомассы яруса (табл. 3). Наибольшее количество образуют листья брусники, соотношение листьев и стеблей которой равно 2:3. Соотношение массы листьев и стеблей у лесных кустарничков довольно стабильно в пределах вида и не зависит от колебаний погодных условий разных лет. Моховой ярус данного типа леса образует в среднем 29 ц/га органического вещества, причем основную массу ее создает *Pleurozium Schreberi*, накапливающий 69% массы яруса. Наблюдения за запасами фитомассы растений напочвенного покрова, проводившиеся в течение трех лет, показали, что в спелых древостоях продуктивность их довольно стабильна и в среднем составляет около 50 ц/га.

Таблица 3

массы, ц/га			Подземная часть			Всего		
Всего			1971	1972	1974	1971	1972	1974
1971	1972	1974	1971	1972	1974	1971	1972	1974
10,0	9,47	9,88	2,2	1,7	1,5	12,2	11,17	11,4
7,03	8,43	8,05	0,8	0,82	0,81	7,83	9,25	8,86
0,5	0,6	0,75	0,2	0,2	0,2	0,7	0,8	0,95
0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,02	0,02	0,02	0,03
—	—	0,06	—	—	0,2	—	—	0,26
0,02	0,06	—	0,01	0,01	—	0,03	0,07	—
0,02	0,01	—	0,06	0,02	—	0,08	0,03	—
0,02	—	—	0,01	—	—	0,03	—	—
—	0,4	0,21	—	0,1	—	0,4	0,5	0,21
—	0,26	0,53	—	0,07	0,2	0,5	0,3	0,73
17,6	19,2	19,5	3,29	2,93	2,93	21,8	22,1	22,4

Таблица 4

Вид растений	Масса стеблей, ц/га		
	в надземной части	в подстилке	Итого
Черника	2,15	4,95	7,10
Брусника	0,90	3,75	4,65
Вереск	0,18	0,24	0,42
Всего	3,23	8,94	12,17

Один из существенных показателей биологической продуктивности — годичный прирост. По нашим наблюдениям, общий прирост 160-летнего древостоя за год составил 14,1 ц/га, что согласуется с данными А. А. Молчанова [8] для сосняков черничных Плесецкого района Архангельской области.

Прирост растений травяно-кустарничкового яруса в среднем составляет 4—5 ц/га. По данным А. А. Иванчикова [6] и Т. В. Белоноговой [1], в условиях Южной Карелии растения напочвенного покрова в сходных древостоях имеют прирост 37% фитомассы, в условиях северной подзоны европейской тайги — 15% [5], по нашим наблюдениям — около 20%.

## Л И Т Е Р А Т У Р А

- [1]. Белоногова Т. В. Фитомасса живого покрова сосняков Южной Карелии. — В сб.: Растительные ресурсы Южной Карелии. Петрозаводск, «Карелия», 1971.  
 [2]. Белоногова Т. В. Продуктивность нижних ярусов растительности сосновых фитоценозов Южной Карелии. — В кн.: Научная конференция биологов Карелии, посвященная 50-летию образования СССР. Петрозаводск, 1972. [3]. Белоногова Т. В. Урожайность ягодных кустарничков и запасы лекарственного сырья в сосняках Южной Карелии. — В сб.: Природные ресурсы Карелии и пути их рационального использования. Петрозаводск, «Карелия», 1973. [4]. Древесина. Показатели физико-механических свойств. Руководящие материалы. Комитет стандартов, мер и измерительных приборов при СМ СССР. М., 1962. [5]. Забоева И. В., Русанова Г. В., Слобода А. В. Биопродуктивность ельников-зеленомошников средней и северной тайги Коми АССР. — «Растительные ресурсы», 1973, вып. 1, т. 9. [6]. Иванчиков А. А. Надземная фитомасса сосняков брусничных Южной Карелии. — В кн.: Научная конференция биологов Карелии, посвященная 50-летию образования СССР. Петрозаводск, 1972. [7]. Каменецкая И. В., Зворыкина К. В., Малышева Т. В. Продуктивность растительного покрова в некоторых типах молодых одно-

возрастных сосняков южной тайги. — В сб.: Продуктивность и структура растительности молодых сосняков. М., «Наука», 1973. [8]. Молчанов А. А. Продуктивность органической массы в лесах различных зон. М., «Наука», 1971. [9]. Надуткин В. Д., Модянов А. Н. Надземная фитомасса древесных растений в сосняках зеленомошных. — «Труды Коми филиала АССР», 1972, № 24. [10]. Поздняков Л. К., Протопопов В. В., Горбатенко В. М. Биологическая продуктивность лесов Средней Сибири и Якутии. Красноярск, Книжн. изд-во, 1969. [11]. Родин Л. Е., Ремезов Н. П., Базилевич Н. И. Методические указания к изучению динамики и биологического круговорота в фитоценозах. Л., «Наука», 1968. [12]. Родин Л. Е., Базилевич Н. И. Динамика органического вещества и биологический круговорот зольных элементов и азота в основных типах растительности земного шара. М., «Недра», 1965.

Поступила 2 декабря 1977 г.

УДК 634.0.114.54

## ВЛИЯНИЕ КОСВЕННО ДЕЙСТВУЮЩИХ УДОБРЕНИЙ НА РОСТ САЖЕНЦЕВ ЛЕСНЫХ ПОРОД В ЗАПАДНОЙ ЛЕСОСТЕПИ

Г. А. ХАРИТОНОВ

Ленинградская лесотехническая академия

Опыты по изучению влияния извести, гипса и люпина на рост саженцев дуба, бука, ели и сосны, проведенные на открытой вегетационной площадке в условиях Львовской области в течение 3 лет, показали, что косвенно действующие удобрения могут быть эффективны для рассматриваемых пород и условий произрастания.

Расчеты показывают, что в связи с большой потребностью непосредственно действующих удобрений (N, P, K) в сельском хозяйстве, лесное хозяйство может не получить их в достаточном количестве. Поэтому возникает необходимость в изучении косвенно действующих удобрений, чтобы заменить ими основные.

Исследования проводили в Ивано-Франковском учебном лесхоззаге Львовской области. Опыты были заложены на открытой вегетационной площадке; подопытные растения высаживали в 40-литровые эмалированные сосуды, в которые набивали распространенную в лесостепи дерново-слабоподзолистую, легкосупесчаную почву, имевшую pH водное — 5,7, солевое — 4,9; гумус — 1,3%; количество поглощенных оснований — 3,9 мг. экв; кислотность гидролитическая — 1,95, обменная — 0,20 мг. экв на 100 г почвы; K<sub>2</sub>O — 3,1; P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> — 1,47; Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> — 27,3; Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> — 13,3 мг/100 г почвы; гидролизуемого азота — 4,2.

Почву просеивали через прохот и закладывали в вегетационные сосуды послойно (снизу вверх) — ВС—В—А в соотношении по высоте 0,5:1:1.

В качестве подопытных растений были взяты однолетние сеянцы дуба черешчатого, бука лесного, сосны обыкновенной и двухлетние — ели обыкновенной; их высаживали по три в сосуд.

Для каждой породы были приняты следующие варианты косвенных удобрений: известь (сыромолотый известняк), гипс (алебастр), люпин многолетний. Удобрения вносили на стыке горизонтов В и А при заполнении сосудов почвой. Норма удобрений была принята на основе предварительных опытов по дозировке их для данной почвы: для дуба — известняка 7,5, гипса 0,75 г на саженец; для бука соответственно 7,5 и 0,50 г; для сосны — 3,5 и 0,75 г; для ели — 7,5 и 1,0 г.

Вторую порцию этих удобрений в таких же количествах и в те же сосуды вносили через 15 дн после начала вегетации, рассеивая их по поверхности почвы. Люпин высаживали в количестве трех наклюнувшихся семян между сеянцами всех пород.

Для дуба, бука и сосны в каждом варианте было использовано по 10 сосудов (30 растений) — всего 120 растений; для ели по 12 сосудов (144 подопытных растения). После посадки все сосуды опускали в землю вровень с поверхностью прилегающей почвы; они находились в таком открытом положении 3 года (с 1973 г. по 1975 г.). Ежегодно у всех растений измеряли прирост верхушечных и сумму приростов боковых побегов.

Таблица 1

Вариант удобрения	Прирост побегов, см				
	первого года	второго года	третьего года	общий	% к контролю
Дуб черешчатый					
Известь	4,6	9,7	9,1	23,4	109
	22,2	23,7	43,2	89,1	148
Гипс	8,5	10,1	8,8	27,4	127
	16,3	28,7	31,2	76,2	126
Люпин	5,9	17,3	13,7	36,9	173
	14,1	13,7	45,1	72,0	121
Контроль	3,6	7,8	10,2	21,6	100
	15,4	12,7	32,1	60,2	
Бук лесной					
Известь	9,3	17,8	26,9	54,0	124
	21,0	29,9	105,8	156,7	114
Гипс	8,0	11,3	21,2	40,5	99
	15,4	23,8	68,8	108,0	80
Люпин	8,2	15,4	26,2	49,8	112
	16,2	22,9	95,6	134,7	98
Контроль	7,6	14,7	21,2	43,5	100
	20,9	31,8	85,2	137,9	
Ель обыкновенная					
Известь	5,1	11,4	17,2	33,7	146
	15,0	35,5	126,0	176,5	148
Гипс	6,2	11,8	107,0	28,7	120
	18,1	41,5	99,7	159,3	137
Люпин	5,8	8,3	19,5	33,6	145
	17,3	30,8	117,8	165,9	140
Контроль	5,8	8,8	8,5	23,1	100
	17,6	37,9	63,3	118,8	
Сосна обыкновенная					
Известь	5,8	17,2	9,1	32,1	114
	—	30,8	41,9	72,7	89
Гипс	3,6	15,9	10,2	29,7	100
	—	34,6	57,1	91,7	111
Люпин	5,2	13,4	8,8	27,4	99
	—	20,6	23,5	44,1	50
Контроль	4,2	15,2	10,2	29,6	100
	—	32,5	49,8	82,3	

Примечание. В числителе прирост верхушечных побегов; в знаменателе — боковых.

Результаты наблюдений изложены в табл. 1. Как видно, для дуба черешчатого наиболее эффективно влияние люпина, за три года верхушечный прирост увеличился на 73%, боковой — на 21%. Люпин оказывает влияние не только через почву, но и как подгон, в силу чего

дуб быстрее увеличивает прирост в высоту и медленнее — в стороны; эта тенденция наиболее заметна в первые два года.

Гипсование почвы способствует равномерному повышению прироста верхушечного и боковых побегов на 27—26%; усиление прироста происходит преимущественно в 1—2-м году, затем это влияние ослабевает.

Известкование проявляется главным образом на увеличении прироста боковых побегов (на 48%), прирост в высоту повышается незначительно (на 9%).

Таким образом, для ускорения роста дуба в данных условиях следует высевать между деревцами люпин (1—2 семени) и вносить известняк (известь) в количестве 7,5—15 г на саженец или можно ограничиться одним из этих компонентов; гипсование (0,75 г на растение) менее эффективно.

Для бука лесного полезно известкование, которое повышает прирост в высоту на 24 и 14%; влияние люпина слабее; гипсование оказывает отрицательное влияние. Следовательно, для саженцев бука желательно известкование (7,5—15 г на растение) в чистом виде или в сочетании с люпином.

Ель обыкновенная в результате известкования повышает прирост верхушечных и боковых побегов почти в 1,5 раза (146 и 148%), особенно на третий год после посадки. Посев люпина между саженцами ели также очень эффективен (140—145%), как и при известковании, особенно на третьем году. Поэтому для саженцев ели, как и для дуба, можно считать целесообразным сочетание известкования с посевом люпина. Положительное влияние гипса слабее (120—137%); применение его целесообразно при отсутствии других рассматриваемых удобрений.

Сосна обыкновенная на протяжении трех лет подвергалась заболеванию шютте, поэтому полученные результаты нельзя считать показательными, они дают только некоторое приближенное представление о влиянии косвенных удобрений. При таком условном положении люпин ослабляет рост главного и вдвое уменьшает рост боковых побегов; вероятно, затеня саженцы сосны, он способствует усилению отрицательного влияния шютте. Гипс, не изменяя роста верхушечного побега, повышает на 11% рост боковых. Известняк на 14% усиливает рост верхушечных, но на 11% ослабляет прирост боковых побегов.

По результатам опыта, с учетом шютте, для сосны в таких условиях можно рекомендовать сочетание половинных норм известняка (извести) и гипса; известняк, вероятно, целесообразнее вносить до посадки, при обработке почвы, а гипс через 15 дней после начала вегетации. Удобрения в данных условиях необходимо рассматривать как фактор, не только усиливающий рост, но и повышающий сопротивляемость растений заболеванию.

Обобщая результаты исследования, можно сделать следующие выводы.

1. Косвенные удобрения в рассматриваемых условиях достаточно эффективны, особенно известь (известняк), повышающий прирост дуба, бука, ели и сосны.

2. Гипс также улучшает рост дуба, ели и частично сосны, но эффективность его слабее; на бук он оказывает отрицательное влияние.

3. Люпин значительно повышает рост дуба, ели и отчасти бука; при наличии шютте для сосны он не приемлем.

4. Гипс в сопоставлении с известняком во всех случаях менее эффективен, но норма внесения его в 3—10 раз меньше.

5. Приведенные данные относятся к условиям вегетационной площадки, но полученные выводы вполне могут быть применены к лесокультурам указанных пород.

Поступила 6 декабря 1977 г.

УДК 634.0.561.21

## О ТОЧНОСТИ УЧЕТА РАДИАЛЬНОГО ГОДИЧНОГО ПРИРОСТА ДРЕВОСТОЯ В РАЗНЫХ ТИПАХ ЛЕСА

П. А. ФЕКЛИСТОВ

Архангельский лесотехнический институт

Изучена изменчивость радиального годичного прироста древостоя в разных типах леса. Рассчитано число учетных деревьев, необходимое для определения радиального прироста древостоя с заданной степенью точности.

Лучший показатель эффективности любого лесохозяйственного мероприятия — текущий прирост древесины. Очень часто, особенно в дендроклиматологических исследованиях, рассчитывают радиальный годичный прирост древостоя. Его измеряют на кервах, которые берут приростным буровом с учетных деревьев. Вопросы точности учета прироста с использованием приростного бурава освещены в литературе довольно основательно ([3, 5—7] и др.). Хуже изучен вопрос о том, у какого количества учетных деревьев в древостое следует измерять радиальный годичный прирост, чтобы получить достоверные данные [1, 4]. Для севера европейской части СССР такие данные нам неизвестны. Очень часто учетных деревьев берут или слишком много, в результате повышаются трудозатраты, либо мало, что снижает точность конечных результатов.

Чтобы установить необходимое число учетных деревьев для определения радиального годичного прироста древостоя, мы заложили 4 пробные площади в разных типах леса: в ельнике-черничнике, в сосняке мохово-лишайниковом и сосняке кустарничково-сфагновом на двух разных почвах: на болотной верховой торфяно-глеевой и на болотной низинной торфяной.

У 20 учетных деревьев на каждой пробной площади приростным буровом брали керны на высоте груди с двух сторон дерева (у половины — с севера и востока и у половины — с юга и запада). Учетные деревья подбирали из всех ступеней толщины пропорционально представительству стволов в ступени. На кервах измеряли ширину годичных слоев микроскопом МБС-1 с точностью 0,05 мм. Из измеренной ширины годичного слоя по двум радиусам находили среднее значение. Чтобы исключить влияние фактора возраста, по этим данным для каждого учетного дерева рассчитывали индексы прироста методом скользящих средних [1]. Период осреднения — 21 год с шагом в 1 год. Для каждой пробной площади определяли средний по древостою годичный радиальный прирост  $M$  путем осреднения по каждому календарному году данных о приросте учетных деревьев, как в абсолютных величинах (мм), так и в индексах-процентах. Были найдены также коэффициент изменчивости ( $V\%$ ) и показатель точности ( $P\%$ ).

Изменчивость годичного прироста за последние 20 лет в абсолютных величинах значительно выше, чем в относительных. В среднем за 20-летний период коэффициент изменчивости прироста в абсолютных значениях был в ельнике-черничнике 42,4%, в сосняке мохово-лишайниковом 41,5%, в сосняке кустарничково-сфагновом на болотной низинной почве 47%, а на болотной верховой 45% (табл. 1). Средний коэффициент изменчивости прироста в индексах-процентах равен соот-

Таблица 1

Годы	Ельник-черничник						Сосняк мохово-лишайниковый						Сосняк кустарничково-сфагновый на болотной почве					
	Ельник-черничник			Сосняк мохово-лишайниковый			низинной			верховой								
	М мм	V %	P %	М мм	V %	P %	М мм	V %	P %	М мм	V %	P %	М мм	V %	P %			
1975	0,2	50	11	0,4	38	9	0,4	52	12	1,3	46	10	—	—	10			
1974	0,4	38	9	0,5	42	10	0,4	48	11	—	—	—	—	—	—			
1973	0,3	40	9	0,5	39	9	0,4	49	11	1,3	53	12	1,3	11	11			
1972	0,4	37	8	0,4	51	11	0,4	55	12	1,3	53	12	1,3	12	12			
1971	0,3	37	8	0,4	35	8	0,5	55	12	0,7	67	15	0,7	15	15			
1970	0,5	31	7	0,5	44	10	0,5	47	10	1,17	13	13	1,17	13	13			
1969	0,4	31	7	0,4	44	10	0,5	44	10	0,81	71	16	0,81	16	16			
1968	0,4	36	8	0,5	34	8	0,6	47	10	0,4	77	17	0,4	17	17			
1967	0,3	50	11	0,6	36	8	0,7	46	10	0,75	30	7	0,75	30	7			
1966	0,4	39	9	0,7	40	9	0,6	47	11	0,2	42	9	0,2	42	9			
1965	0,4	37	8	0,5	40	9	0,5	41	9	0,37	52	12	0,37	52	12			
1964	0,3	39	9	0,6	39	9	0,5	45	10	0,2	33	8	0,2	33	8			
1963	0,2	53	12	0,4	62	14	0,4	50	11	0,1	33	7	0,1	33	7			
	57	28	6	98	17	4	94	23	5	46	39	9	46	39	9			



Продолжение табл. 1

Годы	Ельник-черничник			Сосняк мохово-лишайниковый			Сосняк кустарничково-сфагновый на болотной почве			верховой		
							низинной					
	M мм	V %	P %	M мм	V %	P %	M мм	V %	P %	M мм	V %	P %
1962	0,2 56	50 32	11 7	0,4 78	37 35	8 10	0,4 78	49 26	11 6	0,2 59	33 30	7 7
1961	0,3 83	39 21	9 5	0,5 76	39 22	9 6	0,4 70	51 23	11 5	0,2 78	23 26	5 6
1960	0,4 98	46 17	10 4	0,6 89	44 13	10 3	0,4 76	47 29	11 7	0,2 77	27 38	6 8
1959	0,4 111	47 17	11 4	0,5 92	43 23	10 6	0,4 77	47 29	11 7	0,2 82	27 44	6 10
1958	0,3 85	46 18	10 4	0,5 86	39 18	9 5	0,5 76	45 28	10 6	0,3 90	34 33	8 7
1957	0,4 102	52 25	12 6	0,8 82	41 14	10 4	0,6 83	45 40	10 9	0,3 99	38 35	9 8
1956	0,4 105	53 30	12 7	0,8 117	38 29	9 6	0,7 106	36 26	8 6	0,3 95	42 31	9 7
1955	— 91	— 15	— 3	— 122	— 21	— 4	— 123	— 17	— 4	— 93	— 30	— 7

Примечание. В числителе статистические показатели радиального прироста в абсолютных величинах (мм); в знаменателе — в относительных (в индексах-процентах).

ветственно 20,2; 20,3; 21,9 и 32%. Как видно, изменчивость прироста древостоя в индексах-процентах примерно в два раза меньше, чем в абсолютных величинах.

Таблица 2

Число учетных деревьев	Точность определения радиального прироста, %			
	Ельник- черничник	Сосняк мохово- лишайниковый	Сосняк кустарничково- сфагновый на болотной почве	
			низинной	верховой
5	14,8	14,9	16,0	23,5
	31,1	30,4	34,7	33,1
10	10,4	10,5	11,3	16,6
	22,0	25,3	24,5	23,3
15	8,5	8,6	9,3	13,6
	17,9	17,5	20,0	19,1
20	7,4	7,4	8,0	11,8
	15,5	15,2	17,3	16,5
25	6,6	6,7	7,2	10,5
	13,9	13,6	15,5	14,8
30	6,0	6,1	6,5	9,6
	12,7	12,4	14,2	13,5
35	5,6	5,6	6,1	8,9
	11,8	11,5	13,1	12,5
40	5,2	5,3	5,7	8,3
	11,0	10,7	12,3	11,7
50	4,7	4,7	5,1	7,4
	9,8	9,6	11,0	10,5
100	3,3	3,3	3,6	5,3
	7,0	6,8	7,8	7,4
500	1,5	1,5	1,6	2,4
	3,1	3,0	3,5	3,3
1000	1,0	1,1	1,1	1,7
	2,2	2,2	2,5	2,3

Примечание. В числителе данные для радиального прироста в относительных величинах (индексах-процентах); в знаменателе — в абсолютных (мм).

Используя полученные коэффициенты изменчивости, мы рассчитали точность учета годовичного прироста древостоя при различном числе учетных деревьев [2] и вероятности 0,90 (табл. 2). Из таблицы видно, что при расчете прироста древостоя в относительных величинах требуется примерно в два раза меньше учетных деревьев для получения той же точности расчета. Так, при 20 учетных деревьях точность расчета радиального прироста древостоя ельника-черничника в абсолютных величинах 15,5%, а в индексах-процентах 7,4%. Интересно отметить, что в разных типах леса при количестве учетных деревьев 10 и более точность учета годовичного радиального прироста примерно одинакова. Для получения годовичного прироста древостоя в индексах-процентах с точностью 10% достаточно измерить его у 10—20 учетных деревьев, а для получения прироста с той же точностью в абсолютных величинах требуется 45—50 деревьев.

## ЛИТЕРАТУРА

- [1]. Бятвинскас Т. Т. Дендроклиматические исследования. Л., Гидрометеороиздат, 1974, 172 с. [2]. Леонтьев Н. Л. Техника статистических вычислений. М., «Лесная промышленность», 1966, 250 с. [3]. Chacko V. I. The assessment of the accuracy in increment borings. — «Mitt. Schweiz. Anst. forstl. Versuchswesen», 1966, 42, No. 4, p. 287—293. [4]. Delorme A. Über die Bildung von Jahringbreitenmittelkurzen als Grundlage für dendrochronologische Datierungen. — «Forstwiss. Cbl.», 1973, 92, No. 6, p. 335—342. [5]. Meixner I. Dokladnose okreslania pryrostu piersnicy. — «Pr. Komis. nauk rol. i Komis. nauk lesn. PTPN», 1975, 40, p. 57—67. [6]. Smeiko S. Analyse von Fehlern, die bei der Ermittlung des Radialzuwachses mittels Bohrspanverfahren entstehen. — «Mitt. Schweiz. Anst. forstl. Versuchswesen», 1966, 42, No. 4, p. 197—202. [7]. Pollanschütz I. Zuwachsmessungen und Bohreranalysen — Messmethoden und Genauigkeit. Teil I. «Allgem. Forstzeitung», 1963, 74, No. 15—16, Informationsdienst, No. 71, p. 165—166.

Поступила 10 октября 1977 г.

УДК 634.0.232 : 581.524.12

## О БИОХИМИЧЕСКОМ ВЛИЯНИИ НА ДУБ СЕВЕРНЫЙ НЕКОТОРЫХ МЕСТНЫХ ПОРОД И ЭКЗОТОВ

М. В. КОЛЕСНИЧЕНКО, В. В. КРЮКОВ

Воронежский сельскохозяйственный институт

Исследование показало, что аборигенные виды являются ингибиторами дуба северного. Это относится к дубу с его спутниками, осине, березе и сосне. Активаторами оказались некоторые экзоты: гледичия, ясень зеленый, сосна веймутова, дугласия. Эти результаты могут быть использованы при выборе состава смешанных культур.

Дуб северный (*Quercus borealis* Michx. f.), родом из Северной Америки, имеет ряд преимуществ перед аборигенным дубом черешчатым [1, 4, 11]. Он не поражается мучнистой росой, растет несколько быстрее, к почвам менее требователен, а по качеству древесины почти не уступает дубу черешчатому.

Опыт интродукции дуба северного в Центральном Черноземье и других районах европейской территории СССР показал его достаточную приспособленность к местному климату; здесь он успешно растет и плодоносит [2, 9, 12]. Однако многие вопросы его интродукции еще не решены. По современным воззрениям [8], в понятие «акклиматизация» включается приспособленность интродуцента не только к климату и почве, но и к местной растительности. Последнее имеет исключительно большое значение не только для натурализации интродуцента, но и для создания смешанных лесных культур.

Известно, что удачно смешанные культуры биологически более устойчивы, чем чистые. Поэтому при введении в культуру экзота учет взаимоотношений интродуцента и аборигенной растительности имеет важное значение. Одна из существенных форм проявления взаимоотношений — биохимическая. Для интродуцентов этот вопрос еще не изучен [3], хотя такое изучение имеет большое значение для теории и практики интродукции.

В ранее проведенных исследованиях по учету биохимических влияний была создана теория аллелопатического соответствия древесных растений в сложившихся лесных сообществах [5, 6]. Ее сущность заключается в том, что виды, слагающие лесное насаждение, оказывают благоприятное или индифферентное биохимическое влияние

друг на друга, что зависит как от специфики растительных выделений, так и от их концентрации в окружающей среде. Согласно этой теории, в случае отсутствия общности происхождения можно ожидать отрицательного биохимического влияния компонентов аборигенных фитоценозов на интродуцент.

В нашей работе была поставлена задача изучить биохимические влияния на дуб северный аборигенных видов, а также некоторых интродуцентов. Подбирали экологически близкие виды, в основном дубравного фитоценоза. Помимо учета биохимических влияний в чистом виде, поставлены вегетационные опыты с чистыми и смешанными культурами для учета общего характера взаимоотношений. Кроме этого, для учета взаимоотношений пород проводили полевые опыты на немногочисленных опытных культурах дуба северного. Работу во всех звеньях опытов (лабораторном, вегетационном и полевом) проводили по ранее разработанной методике М. В. Колесниченко [6], кратко излагаемой ниже.

В лабораторном опыте эффект биохимического влияния учитывали по изменению скорости накопления  $^{32}\text{P}$  в стволках дуба северного. Для определения скорости его накопления прижизненно в одни и те же часы измеряли радиоактивность одного и того же комлевого участка стволика с поправкой на естественный радиоактивный фон. По разнице суточных измерений радиоактивности определяли скорость накопления  $^{32}\text{P}$ . Повторность опыта 3-кратная (1 растение — повторность), измерение точной радиоактивности — 5—6-кратное. Для проведения опыта в глиняные вазоны емкостью 2 л весной высаживали 1-летние сеянцы дуба северного, а также других пород, влияние которых предполагалось изучить. Летом проводили опыты в экологических камерах — деревянных каркасах  $1,2 \times 0,7 \times 0,7$  м, обтянутых с четырех сторон полиэтиленовой пленкой и открытых сверху. В каркасе, как в микронасаждениях, складывалась специфическая биохимическая среда из летучих выделений помещенных здесь растений. В контрольный период опыта в каждую камеру помещали шесть растений дуба, три из которых были опытными, а три балластными (временными). В вазоны опытных растений вносили 0,2 н. раствор питательной смеси Гельригеля, куда добавляли  $\text{K}_2\text{HPO}_4$ , меченный радиоактивным фосфором активностью 35—40 мкКи. В течение 5—6 дней у опытных растений измеряли нормальную скорость накопления  $^{32}\text{P}$ . Во второй период опыта балластные растения дуба в камерах заменяли растениями воздействующих пород. Листья этих растений выделяли летучие вещества, влияние которых изучалось. В это же время для изучения воздействия корневых выделений изучаемых пород опытные растения дуба поливали дренажной водой, полученной от полива сосудов с изучаемыми растениями. Влияние погодных условий на изменение скорости накопления  $^{32}\text{P}$  учитывали у контрольных растений,

Таблица 1

Воздействующая порода	Средняя скорость распадов, мин		Отклонение скорости, %
	Контрольный период	Период воздействия	
Дуб черешчатый	$74,5 \pm 0,5$	$43,5 \pm 0,5$	—30
Клен остролистный	$5,3 \pm 0,1$	$4,7 \pm 0,7$	—1
Липа мелколистная	$25,7 \pm 0,3$	$22,0 \pm 8,1$	—3
Лещина обыкновенная	$20,0 \pm 0,0$	$14,0 \pm 4,8$	—18
Осина	$28,0 \pm 0,6$	$18,3 \pm 1,9$	—35
Береза бородавчатая	$22,7 \pm 8,3$	$11,7 \pm 7,0$	—37
Сосна обыкновенная	$66,7 \pm 3,5$	$38,7 \pm 6,5$	—30
Акация белая	$15,5 \pm 3,5$	$9,0 \pm 0,6$	—30
Гледичия трехлопучковая	$7,3 \pm 1,4$	$10,5 \pm 4,0$	+56
Сосна веймутова	$42,7 \pm 0,3$	$40,3 \pm 0,7$	+6
Без воздействия	$54,7 \pm 0,9$	$48,3 \pm 5,4$	—12

Примечание. В отклонения скорости внесена поправка с обратным знаком на изменение погодных условий, учтенных по растениям, находящимся без воздействия растительных выделений, так как влияние погодных условий накладывалось на влияние растительных выделений во втором периоде опыта.

находящихся без воздействия чужих выделений, в чистом виде. Такое изменение скорости накопления во второй период опыта в сравнении с первым вносили в качестве поправки с обратным знаком в результаты по опытным растениям. В период биохимического воздействия у опытных растений в течение 5—6 дней продолжали измерять скорость накопления  $^{32}\text{P}$  в стволиках. По изменению этой скорости, с учетом поправки на влияние погодных условий, определяли эффект биохимического воздействия. Таким образом, в каркасах опытные растения подвергались только биохимическому влиянию воздействующих пород: летучих выделений листьев и корневых выделений с выделениями специфических породе ризосферных микроорганизмов, находящихся в дренажной воде, получаемой от полива вазонов с изучаемой породой. Результаты помещены в табл. 1.

По материалам табл. 1 видно, что все аборигенные породы: дуб черешчатый, береза бородавчатая, осина, сосна обыкновенная, липа мелколистная, клен остролистный и лещина — оказались ингибиторами дуба северного, они тормозили процесс накопления  $^{32}\text{P}$  в стволиках в разной степени. Влияние клена и липы практически индифферентно. В ранее проведенных опытах ингибитором оказался ясень обыкновенный. При изучении влияния пород-экзотов обнаружено, что акация белая проявила себя ингибитором, а гледичия и сосна веймутова — активаторами. В ранее проведенных опытах ингибитором показал себя клен яснелистный, активатором — ясень зеленый. Известно [13], что гледичия и сосна веймутова произрастают на родине в одних насаждениях с дубом северным, в то время как акация белая растет в других сообществах.

В вегетационных опытах, где были высажены однолетние сеянцы дуба и других пород в чистой и смешанной культуре, по истечении двух сезонов в одной серии опытов и одного — в другой эффект взаимовлияний растений учитывали по отклонению текущего прироста по высоте и диаметру от величины в чистых культурах. В данном случае эффект влияния — результат общего взаимодействия, в том числе и биохимического. Все испытанные аборигенные породы оказались ингибиторами дуба северного, а именно: по 3-летним культурам — дуб черешчатый, липа мелколистная, лещина, клен полевой, клен остролистный, береза бородавчатая; по 2-летним — осина, ясень обыкновенный, сосна обыкновенная.

Вегетационные опыты с экзотами в 2-летней культуре дали следующие результаты: породами-активаторами оказались гледичия и дугласия; породами-ингибиторами — акация белая и клен яснелистный. Сравнение лабораторных и вегетационных опытов показывает их достаточно полное совпадение, что подчеркивает большое значение биохимических влияний в характеристике общего характера взаимоотношений древесных растений. В этой части полученные данные совпадают с ранее проведенными исследованиями на других древесных породах [6].

В полевом опыте обследовали 38-летние культуры дуба северного, смешанного полосами из четырех рядов с такими же полосами из дуба черешчатого и ясеня обыкновенного в квартале 13 Правобережного лесничества учебно-опытного лесхоза ВЛТИ (урочище «Лопатка») Воронежской области. В целом культуры выглядят хорошо. В рядах на стыках кулис дуба северного с дубом черешчатым диаметры несколько меньше, чем в срединных рядах, т. е. налицо взаимное угнетение, что согласуется с нашими лабораторными и вегетационными опытами. На стыках дуба северного и ясеня обыкновенного наблюдается взаимное стимулирование, но в большей степени у ясеня обыкновенного. Ослабление вредного взаимного влияния дуба северного и ясеня обыкновенного в полевом опыте в какой-то мере можно объяснить наличием между ними буферного ряда из акации желтой.

О взаимоотношениях дуба северного с другими породами в литературе очень мало сведений. По сообщению Н. А. Кохно [7], в 10-летних полишахматных культурах на Украине дуб северный плохо растет на стыках с местными породами; хорошие результаты обнаружены на стыке с ясенем зеленым. Эти наблюдения согласуются с нашими исследованиями. Представляет интерес работа Н. Ф. Прикладовской [10], в которой приводятся материалы по успешному возобновлению дуба северного в чистых и смешанных с дубом летним и сосной обыкновенной культурах 30—60 лет, для западных областей Украины. К сожалению, в ее работе нет данных о способах смешения и раздельном учете возобновления в полосах, занятых дубом северным и породами-примесями, поэтому трудно судить о характере взаимоотношений между породами. Можно полагать, что в условиях теплого и влажного климата западной Украины эти взаимовлияния могут быть иными, чем в более засушливых центральных районах лесостепи, нами исследованных. Здесь мы сталкиваемся, по-видимому, с климатической изменчивостью во взаимоотношениях древесных пород.

Проведенное исследование позволяет сделать следующие выводы.

1. Дуб северный — перспективная порода для создания производственных культур в Центральном Черноземье, так как имеет ряд преимуществ перед дубом черешчатым и вполне соответствует почвенно-климатическим условиям этой зоны.

2. Для смешанных культур дуба северного в первую очередь следует рекомендовать породы экзоты североамериканского происхождения: гледичию трехколочковую, дугласию, сосну веймутову, ясень зеленый. Изучение подбора пород в этом направлении нужно продолжать.

3. При создании смешанных культур дуба северного с аборигенными породами лучше применять кулисный способ смешения: в этом случае отрицательное влияние будут испытывать деревья дуба только на стыках, в других рядах можно ожидать стимулирование роста, вследствие уменьшения концентрации летучих выделений породы-примеси по мере удаления от места контакта с местными породами.

#### ЛИТЕРАТУРА

- [1]. Вехов Н. К. Быстрота роста экзотов в условиях степи. М.—Л., Гослесбумиздат, 1949, с. 56—59. [2]. Гетельский И. Н. Биологические и экологические особенности дуба бореального и его культура в Украинской ССР. Автореф. дис. на соиск. учен. степени канд. биол. наук. Киев, 1962. [3]. Гродзинский А. М. Вопросы аллелопатии при интродукции растений. — В сб.: Успехи интродукции растений. М., «Наука», 1973, с. 267—279. [4]. Гурский В. В. Красный дуб и его выращивание на Украине и в других районах СССР. Автореф. дис. на соиск. учен. степени канд. с.-х. наук. Харьков, 1953. [5]. Колесниченко М. В. О биохимическом соответствии древесных пород при их сочетании в лесном насаждении.—ИВУЗ, «Лесной журнал», 1964, № 6, с. 3—6. [6]. Колесниченко М. В. Биохимические взаимовлияния древесных растений. М., «Лесная промышленность», 1976. [7]. Кохно Н. А. О взаимовлиянии древесных пород в искусственных насаждениях лесостепи и степи Украины.—ИВУЗ, «Лесной журнал», 1967, № 3, с. 40—44. [8]. Лапин П. И. О терминах, применяемых в исследованиях по интродукции и акклиматизации растений.—«Бюлл. Гл. бот. сада», 1972, вып. 83, с. 10—18. [9]. Машкин С. И. Дендрология Центрального Черноземья. Т. 1. Воронеж, Изд-во ВГУ, 1971, с. 166—167. [10]. Прикладовская Н. Ф. Успешность возобновления дуба северного самосевом.—ИВУЗ, «Лесной журнал», 1976, № 5, с. 10—14. [11]. Хутнев Т. Э. Физико-механические свойства дуба красного в условиях Северной Осетии.—«Лесное хозяйство», 1974, № 7, с. 48. [12]. Шепотьев Ф. Л., Павленко Ф. А. Разведение быстрорастущих пород. Изд. 2. М., «Лесная промышленность», 1975, с. 178—185. [13]. Fowells H. A. Silvics of Forest trees of the United States prepared by the Division of Timber Management Research Forest Service.—Agriculture Handbook, No. 271. Washington, 1965, p. 588—592.

УДК 631.331

## К ОПРЕДЕЛЕНИЮ ВЫСОТЫ ОСЫПИ ПОЧВЫ В БОРОЗДКЕ ПОСЛЕ ПРОХОДА АНКЕРНОГО СОШНИКА СЕЯЛКИ

Ф. В. ПОШАРНИКОВ

Воронежский лесотехнический институт

Приводится аналитическое обоснование нового метода расчета технологических параметров посевной бороздки. Результаты аналитических исследований подтверждаются данными экспериментов.

После прохода сошников сеялок почва осыпается в бороздку, покрывая ложе семян слоем некоторой толщины. Толщина этого слоя, или, как принято называть, высота осыпи  $H_0$  (рис. 1), зависит от угла естественного откоса грунта  $\psi$  и параметров бороздки: глубины  $a$  и ширины  $b$ .

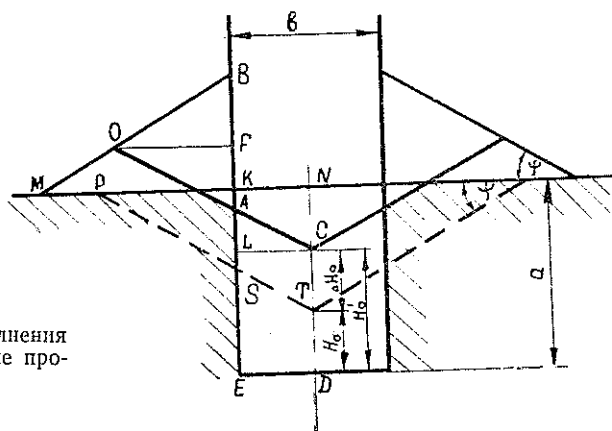


Рис. 1. Схема заполнения бороздки почвой после прохода сошника.

При изучении технологического процесса образования борозды за основу обычно принимают модель работы сошника (по М. Х. Пигулевскому), имеющего вид двух пластин, подпирающих сыпучую массу почвы. На основе этой модели проф. А. Н. Семенов\* вывел формулу для определения высоты осыпи через параметры бороздки и угол естественного откоса почвы. При этом предполагалось, что объем грунта, образующего осыпь в бороздке, равен объему грунта, осыпавшегося со стенок бороздки. В этом случае (рис. 1) площадь треугольника  $PKS$  равна площади трапеции  $ESTD$ , откуда следует, что  $H_0$  равно

$$H_0 = a - \sqrt{ab \operatorname{tg} \psi}. \quad (1)$$

При исследованиях работы анкерных сошников лесных сеялок было, однако, выявлено, что в действительности высота осыпи не соответствует значениям, получающимся по формуле (1). Обычно действи-

\* Семенов А. Н. Зерновые сеялки. М. — Киев, Машгиз, 1959.

тельные значения осыпи были больше определяемых теоретически, и эта разница возрастала с увеличением ширины бороздки.

Причина расхождения заключалась в том, что при принятой ранее модели работы сошника, положенной в основу теоретического определения высоты осыпи  $H_0$ , не учитывалось влияние боковых почвенных валиков, которые образуются по бокам щек сошника из почвы, выдвинутой передней частью сошника на поверхность. Анализ работы сошника с учетом этих боковых почвенных валиков позволил вывести теоретическое значение осыпи  $H'_0$ , близкое к полученному экспериментально.

При новой модели работы сошника высота осыпи  $H_0$  увеличивается за счет дополнительного осыпания почвы из боковых валиков на некоторую величину  $\Delta H_0$  (рис. 1). Тогда можно приравнять площади треугольника  $AOB$  и трапеции  $ACDE$ . Как видно из рис. 1, площадь треугольника  $AOB$

$$S_{AOB} = \frac{1}{2} AB \cdot OF,$$

где

$$AB = BK + AK;$$

$$OF = \frac{AB}{2} \operatorname{ctg} \psi.$$

Объем грунта, выдвинутого на поверхность, равен объему грунта бороздки (увеличение объема грунта, выдвинутого на поверхность, за счет взрыхления незначительно, так как сошники сеялок обычно работают на рыхлых, предварительно хорошо обработанных почвах, и его можно не учитывать). В этом случае можно записать

$$S_{BМК} = S_{ЕКND}.$$

Как следует из рис. 1,

$$S_{BМК} = \frac{1}{2} AB \cdot OF;$$

$$OF = \frac{AB}{2} \operatorname{ctg} \psi.$$

Тогда

$$S_{BМК} = \frac{1}{4} AB^2 \operatorname{ctg} \psi.$$

Величина  $AB$  складывается из двух величин  $BK$  и  $AK$ , которые могут быть выражены как

$$BK = \sqrt{ab \operatorname{tg} \psi};$$

$$AK = \sqrt{ab \operatorname{tg} \psi} - \Delta H_0 - \frac{b}{2} \operatorname{tg} \psi.$$

С учетом найденных промежуточных значений площадь треугольника  $BМК$  представляется в виде

$$S_{BМК} = \frac{1}{2} \left( 2 \sqrt{ab \operatorname{tg} \psi} - \Delta H_0 - \frac{b}{2} \operatorname{tg} \psi \right)^2 \operatorname{ctg} \psi. \quad (2)$$

Аналогично раскрывается значение площади трапеции  $ЕКND$ :

$$S_{ЕКND} = \frac{b}{2} \left( a - \sqrt{ab \operatorname{tg} \psi} + \Delta H_0 + \frac{b}{4} \operatorname{tg} \psi \right). \quad (3)$$



Тогда равенство площадей треугольника  $BMK$  и трапеции  $EKND$  с учетом выражений (2) и (3) может быть представлено как

$$\begin{aligned} \frac{1}{4} \left( 2 \sqrt{ab \operatorname{tg} \psi} - \Delta H_0 - \frac{b}{2} \operatorname{tg} \psi \right)^2 \operatorname{ctg} \psi = \\ = \frac{b}{2} \left( a - \sqrt{ab \operatorname{tg} \psi} + \Delta H_0 + \frac{b}{4} \operatorname{tg} \psi \right). \end{aligned} \quad (4)$$

Решая это равенство относительно  $\Delta H_0$ , получаем

$$\Delta H_0 = 0,6 \sqrt{ab \operatorname{tg} \psi} - 0,2b \operatorname{tg} \psi. \quad (5)$$

Общая высота осыпи  $H'_0$  при новой модели работы сошника равна

$$H'_0 = H_0 + \Delta H_0. \quad (6)$$

Подставляем значение  $H_0$  (1) и  $\Delta H_0$  (5) в формулу (6) и в окончательном виде получаем

$$H'_0 = a - 0,4 \sqrt{ab \operatorname{tg} \psi} - 0,2b \operatorname{tg} \psi. \quad (7)$$

Экспериментальную проверку теоретических выводов проводили на моделях анкерных сошников с различной шириной. Зависимости высоты осыпей по старой модели  $H_0$  и новой  $H'_0$  от ширины расстановки щек сошника представлены на рис. 2.

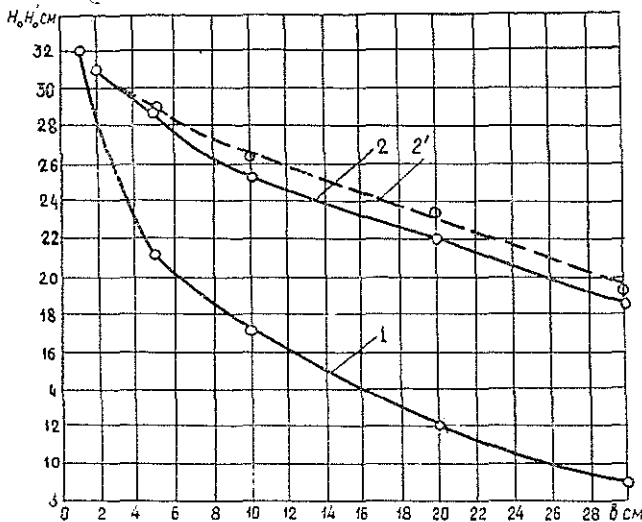


Рис. 2. Кривые зависимостей высоты осыпей от ширины бороздки.

1 — по модели Пигулевского—Семенова; 2 — теоретическая; 2' — экспериментальная зависимость по новой модели работы сошника.

Анализируя эти зависимости, можно видеть, что теоретические (кривая 2) и экспериментальные (кривая 2') значения высоты осыпи  $H'_0$  достаточно близки. Разница значений  $H_0$  (кривая 1) и  $H'_0$  существенна, особенно при значениях ширины бороздки более 5 см. А сош-

ники лесных сеялок, как правило, образуют бороздки шириной более 5 см (у сошников сеялки СЛ-4А — 6 см, СПН — 4—8 см, СЛП — 20 см). Величина  $H'_0$  отличается от  $H_0$  для широких бороздок в 2—2,5 раза. Таким образом, определение высоты осыпи в бороздке по предлагаемой формуле (7) позволяет с достаточной точностью оценить полноту заделки бороздок при самоосыпании почвы после прохода анкерных сошников лесных сеялок.

В заключение можно отметить, что правильное определение высоты осыпи в бороздке имеет важное значение для оценки полноты заделки бороздок, в частности, позволяет решать вопрос о необходимости применения дополнительных заделывающих органов в том случае, если глубина заделки семян только за счет самоосыпания почвы оказывается недостаточной. При этом облегчается выбор параметров заделывающих органов, так как становится известным объем почвы, необходимой для дополнительной заделки бороздок.

---

Поступила 9 сентября 1977 г.

## ЛЕСОЭКСПЛУАТАЦИЯ

УДК 634.0.375.4

## ВЫБОР РАЦИОНАЛЬНЫХ ПАРАМЕТРОВ ПОДВЕСКИ ПРИЕМНОГО УСТРОЙСТВА ВАЛОЧНО-ПАКЕТИРУЮЩЕЙ МАШИНЫ ПРИ УДАРНОМ НАГРУЖЕНИИ

В. К. ХЕГАЙ

Ухтинский индустриальный институт

Рассмотрены вопросы определения рациональных параметров подвески приемного устройства валочно-пакетирующей машины при ударном нагружении и приведены соответствующие рекомендации по выбору этих параметров.

Правильный выбор средств от ударов и вибрации — одна из важных проблем при создании валочно-пакетирующей машины (ВПМ) фронтального и флангового типов.

В нашей статье рассмотрен вопрос об определении рациональных значений параметров подвески приемного устройства (ПУ) при гравитационном пакетировании деревьев на ВПМ.

Исследования [3] показали, что параметры подвесок корпуса машины, эквивалентная жесткость которых намного больше жесткости подвески приемного устройства, влияют незначительно на динамику ПУ при ударном воздействии дерева на ВПМ. Однако параметры подвески ПУ оказывают существенное влияние на динамику корпуса ВПМ.

При решении данной задачи пренебрегаем влиянием подвесок корпуса машины на динамику ПУ. Удар дерева о ПУ считаем неупругим. Массу дерева приводим к точке удара. Тогда расчетная схема принимает вид, показанный на рис. 1.

В этом случае дифференциальное уравнение движения ПУ запишется в виде

$$m\ddot{y} + \beta\dot{y} + cy = P(t), \quad (1)$$

где  $m = m_{д.д} + m_{п.у}$ , кг;

$m_{д.д}$ ,  $m_{п.у}$  — соответственно приведенная масса дерева и масса ПУ, кг;

$y$  — вертикальное перемещение ПУ, м;

$\beta$  — коэффициент сопротивления подвески, Н·с/м;

$c$  — коэффициент жесткости подвески, Н/м;

$P(t)$  — ударная сила, приложенная к ПУ, Н.

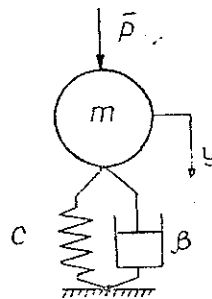


Рис. 1. Расчетная схема.

Качество виброзащитной системы при заданном ударном воздействии может быть оценено коэффициентом передачи динамических нагрузок  $K_n$  [4], равным отношению максимального значения реакции подвески  $N = \beta\dot{y} + cy$  к максимальному значению ударной силы  $P$ ,

$$K_n = \frac{|N_{max}|}{|P_{max}|}. \quad (2)$$

Виброзащитная система будет рациональной, если  $K_n < 1$ . Как показали исследования [3], наилучшие динамические качества ВПМ достигаются, когда коэффициент передачи динамических нагрузок лежит в пределах от 0,65 до 0,75.

При ударном воздействии обычно исследуется движение, соответствующее нулевым начальным условиям. Тогда общее решение дифференциального уравнения (1) принимает вид [2, 4]

$$y = \frac{1}{m\nu_1} \int_0^t e^{-h(t-\tau)} \sin \nu_1(t-\tau) P(\tau) d\tau, \quad (3)$$

где  $\nu_1 = \sqrt{\nu_0^2 - h^2}$  — круговая частота колебаний с учетом демпфирования,  $c^{-1}$ ;

$\nu_0 = \sqrt{\frac{c}{m}}$  — круговая частота колебаний при отсутствии демпфирования,  $c^{-1}$ ;

$2h = \frac{\beta}{m}$  — коэффициент демпфирования,  $c^{-1}$ ;

$\tau$  — время удара, с.

Подставляя выражение (3) и значение его производной в формулу динамической реакции подвески  $N = \beta \dot{y} + cy$ , находим

$$N = \frac{1}{\nu_1} \int_0^t e^{-h(t-\tau)} [(\nu_1^2 - h^2) \sin \nu_1(t-\tau) + 2h\nu_1 \cos \nu_1(t-\tau)] P(\tau) d\tau. \quad (4)$$

При отсутствии демпфирования ( $h = 0$ ) формула (4) принимает вид

$$N = \nu_0 \int_0^t \sin \nu_0(t-\tau) P(\tau) d\tau. \quad (5)$$

Полагаем, что ударная сила определяется функцией

$$P(t) = \begin{cases} P_0 & \text{при } t \leq \tau, \\ 0 & \text{при } t > \tau. \end{cases} \quad (6)$$

Тогда из выражения (5), проведя интегрирование, получим

$$N = \begin{cases} P_0(1 - \cos \nu_0 t) & \text{при } t \leq \tau, \\ P_0[\cos \nu_0(t-\tau) - \cos \nu_0 t] & \text{при } t > \tau. \end{cases} \quad (7)$$

При коротком ударе, когда  $y_{max}$  имеет место при  $t > \tau$ , максимальное значение  $N$  определяется по формуле

$$N_{max} = 2P_0 \sin \frac{\nu_0 \tau}{2}. \quad (8)$$

Тогда коэффициент передачи динамических нагрузок  $K_n$  равен

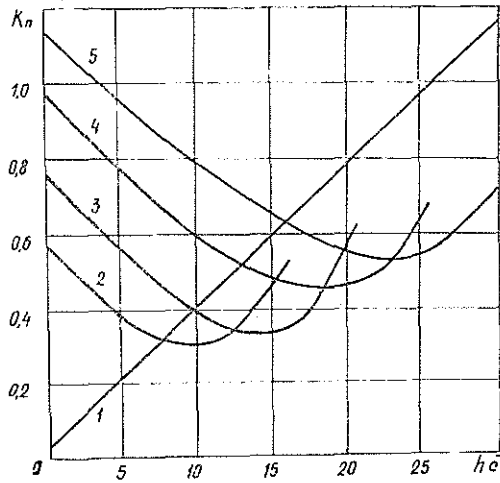
$$K_n = 2 \sin \frac{\nu_0 \tau}{2}. \quad (9)$$

Из выражения (9) видно, что коэффициент  $K_n$  может быть меньше единицы только при условии

$$\nu_0 < \frac{\pi}{3\tau}. \quad (10)$$

Рис. 2. Зависимости коэффициента передачи динамических нагрузок от упругоамортизационных параметров подвески приемного устройства.

1 -  $K_n = f(c)$ ; 2 -  $K_n = f(h)$ ;  $\nu_0 = 15 \text{ с}^{-1}$ ; 3 -  $K_n = f(h)$ ;  $\nu_0 = 20 \text{ с}^{-1}$ ; 4 -  $K_n = f(h)$ ;  $\nu_0 = 25 \text{ с}^{-1}$ ; 5 -  $K_n = f(h)$ ;  $\nu_0 = 30 \text{ с}^{-1}$ .



Отсюда

$$c \leq \frac{\pi^2 m}{9\tau^2} \quad (11)$$

Таким образом, формула (11) позволяет определить рациональное значение жесткости подвески ПУ для различных лесоэксплуатационных районов (в эту формулу входит приведенная масса  $m$ , которая является функцией объема дерева). Так, для расчетного дерева с объемом  $0,5 \text{ м}^3$  рациональными следует считать значения жесткости  $c$  от  $16,5 \cdot 10^4$  до  $22,6 \cdot 10^4 \text{ Н/м}$ . При этом коэффициент  $K_n$  будет иметь значения от 0,65 до 0,75.

Как видно из рис. 2 (кривая 1), уменьшение жесткости упругого элемента приводит к эффективному снижению динамических нагрузок. Однако снижение жесткости до значений, при которых  $K_n < 0,65$ , ведет к значительному увеличению динамического хода подвески ПУ, а также сближению парциальных частот колебаний приемного устройства и корпуса базовой машины [3], что нежелательно.

Теперь определим рациональные значения коэффициента демпфирования. Перепишем дифференциальное уравнение (1):

$$\ddot{y} + 2hy' + \nu_0^2 y = \frac{P(t)}{m} = \sigma_0 \quad (12)$$

Коэффициент демпфирования при заданной величине  $\nu_0$  примет рациональное значение, если при движении объекта будут выполняться условия [1]: 1)  $K_n < 1$ ; 2) функционал  $I = \min (y_{max})$ .

Общее решение дифференциального уравнения (12) при  $t < \tau$  имеет вид

$$y = \frac{\sigma_0}{\nu_0^2} \left[ 1 - e^{-ht} \left( \cos \nu_1 t + \frac{h}{\nu_1} \sin \nu_1 t \right) \right]; \quad (13)$$

$$\dot{y} = \frac{\sigma_0}{\nu_1} e^{-ht} \sin \nu_1 t. \quad (14)$$

При  $t > \tau$

$$y = e^{-h(t-\tau)} \left[ y(\tau) \cos \nu_1 (t-\tau) + \frac{hy(\tau) + \dot{y}(\tau)}{\nu_1} \sin \nu_1 (t-\tau) \right]; \quad (15)$$

$$\dot{y} = e^{-h(t-\tau)} \left[ \dot{y}(\tau) \cos \nu_1(t-\tau) - \frac{h\dot{y}(\tau) + \nu_0^2 y(\tau)}{\nu_1} \sin \nu_1(t-\tau) \right]. \quad (16)$$

Максимальный динамический ход в момент  $t > \tau$  имеет место при обращении в нуль скорости  $\dot{y} = 0$ .

Имея в виду, что при  $t = \tau$

$$\left. \begin{aligned} y(\tau) &= \frac{\sigma_0}{\nu_0^2} \left[ 1 - e^{-h\tau} \left( \cos \nu_1 \tau + \frac{h}{\nu_1} \sin \nu_1 \tau \right) \right]; \\ \dot{y}(\tau) &= \frac{\sigma_0}{\nu_1} e^{-h\tau} \sin \nu_1 \tau, \end{aligned} \right\} \quad (17)$$

и определив экстремальное значение времени  $t = T$ , находим  $y_{max}$  при  $t > \tau$

$$y_{max} = e^{-h(T-\tau)} \sqrt{y^2(\tau) + \frac{[\dot{y}(\tau) + h y(\tau)]^2}{\nu_1^2}}. \quad (18)$$

Подставляя значения  $y(\tau)$  и  $\dot{y}(\tau)$  из выражений (17), а также осуществив некоторые преобразования, формулу (18) перепишем в виде

$$y_{max} = \frac{\sigma_0}{\nu_0^2} e^{-h(T-\tau)} \sqrt{1 - 2e^{-h\tau} \cos \nu_1 \tau + e^{-2h\tau}}, \quad (19)$$

где

$$T = \tau + \frac{1}{\nu_1} \arctg \frac{e^{-h\tau} \sin \nu_1 \tau}{1 - e^{-h\tau} \cos \nu_1 \tau}. \quad (20)$$

Рациональное минимальное значение  $y_{max}$  определяем из условия  $K_n = 0,65 \div 0,75$ . Это условие дает

$$e^{-h(T-\tau)} \sqrt{1 - 2e^{-2h\tau} \cos \nu_1 \tau + e^{-2h\tau}} = 0,65 \div 0,75 \quad (21)$$

или с учетом выражения (20)

$$(1 - 2e^{-h\tau} \cos \nu_1 \tau + e^{-2h\tau}) e^{-\frac{2h}{\nu_1} \arctg \frac{e^{-h\tau} \sin \nu_1 \tau}{1 - e^{-h\tau} \cos \nu_1 \tau}} = 0,42 \div 0,56. \quad (22)$$

Решая трансцендентное уравнение (22) численным методом при заданных величинах  $\nu_0$ , можно определить рациональные значения.

На рис. 2 построены графики зависимости  $K_n = f(h)$  при различных значениях  $\nu_0$ . Как видно из рис. 2, увеличение коэффициента демпфирования до некоторого значения  $h_i$  ведет вначале к снижению коэффициента  $K_n$ , в дальнейшем, при  $h > h_i$  он интенсивно возрастает. Анализируя кривые  $K_n(h)$ , находим, что в каждом случае при определенных значениях  $h$  имеет место экстремум функции. Очевидно, что значения  $h$ , при которых функции экстремальны, и представляют оптимальные параметры демпфирования. Так, при  $\nu_0 = 20 \text{ с}^{-1}$  наилучшие динамические качества системы достигаются при  $h = 15 \text{ с}^{-1}$ . Время удара в зависимости от физико-механических свойств древесины и ПУ колеблется от 0,02 до 0,96 с [3].

Пользуясь приведенной методикой и формулами, нетрудно рассчитать рациональные параметры подвески приемного устройства ВПМ.

Изложенные материалы могут оказаться полезными при разработке валочно-пакетирующих машин фронтального и флангового типов.

#### ЛИТЕРАТУРА

[1]. Гурецкий В. В. Об одной задаче оптимального управления. — «Изв. АН СССР, Механика», 1965, № 1. [2]. Коловский М. З. Нелинейная теория виброзащитных систем. М., «Наука», 1966. [3]. Орлов С. Ф., Жужов А. В., Хегай Б. К. Исследование процесса взаимодействия дерева с машиной при гравитационном методе пакетирования. — Лесное хозяйство, лесная, деревообрабатывающая и целлюлозно-бумажная промышленность. Сборник статей о законченных научно-исследовательских работах. Вып. 3. Л., 1975. [4]. Пановко Я. Г. Введение в теорию механических колебаний. М., «Наука», 1971.

Поступила 6 декабря 1977 г.

УДК 621.431.36

### АНАЛИТИЧЕСКИЙ МЕТОД РАСЧЕТА ЭКСПЛУАТАЦИОННОГО РАСХОДА ТОПЛИВА ЛЕСОВОЗНЫМИ АВТОПОЕЗДАМИ НА УСТАНОВИВШИХСЯ РЕЖИМАХ

А. В. ДУРОВ

Архангельский лесотехнический институт

Предлагается аналитический метод расчета эксплуатационного расхода топлива лесовозными автопоездами с дизельным двигателем с учетом переменных значений сопротивления трансмиссии и затрат мощности на привод вспомогательных агрегатов автомобиля и использования зависимости удельного циклового расхода топлива от среднего эффективного давления. Методика расчета дана применительно к автопоезду МАЗ-509 + ТМЗ-803.

Фактический расход топлива автомобилем определяют в различных условиях эксплуатации, что связано с необходимостью проведения продолжительных, дорогостоящих и трудоемких работ. Для приближенного определения расхода топлива используют аналитические [1] и графо-аналитические [5] методы.

В теории эксплуатации автомобиля для вычисления нагрузки двигателя при заданном дорожном сопротивлении, весе поезда и скорости движения обычно используют уравнение тягового или мощностного баланса. Расход топлива, соответствующий полученной нагрузке и скоростному режиму, устанавливают по нагрузочным или комбинированным характеристикам двигателя.

В расчетах обычно полагают, что для данной модели автомобиля КПД трансмиссии  $\eta_t = \text{const}$ , определяется ее кинематической схемой и количеством ведущих мостов и не зависит от нагрузочного и скоростного режимов.

В реальных условиях движения на трансмиссию автомобиля от двигателя передается эксплуатационная мощность, которая меньше стендовой, определяемой по ГОСТу 14846—69. Затраты мощности, связанные с наличием генератора, водяного насоса и воздухоочистителя, при испытании двигателя учитываются эффективным КПД. Дополнительный же расход мощности на привод тех агрегатов, которые устанавливаются на автомобиль, но не предусмотрены регламентом испы-

тания двигателя, в расчетах не учитывают или принимают постоянными. Эти допущения существенно снижают точность аналитического вычисления расхода топлива и оказывают влияние на выбор мощности двигателя, оценку тягово-скоростных качеств автомобиля и другие показатели.

Ниже рассмотрен метод расчета расхода топлива для лесовозного автопоезда с дизельным двигателем с учетом переменных значений сопротивления трансмиссии и затрат мощности на привод вспомогательных агрегатов автомобиля и использования полученной нами зависимости удельного циклового расхода топлива  $q_{ц}$  от среднего эффективного давления  $P_e$ .

Согласно существующей методике, расход топлива относят к 100 км пробега:

$$Q_s = 100 \frac{G_T}{v_a} \text{ кг/100 км.} \quad (1)$$

Часовой расход топлива  $G_T$  (для четырехтактного двигателя) и скорость движения  $v_a$

$$G_T = \frac{30nV_n}{10^6} q_{ц} \text{ кг/ч;} \quad (2)$$

$$v_a = \frac{2\pi \cdot 60 r_k n}{10^3 i} = \frac{2\pi \cdot 60 r_k n}{10^3 i_k i_{p.k} i_0} \text{ км/ч,} \quad (3)$$

где  $n$  — частота вращения коленчатого вала, об/мин;

$V_n$  — литраж двигателя, л;

$r_k$  — динамический радиус колеса, м;

$i$  — общее передаточное число трансмиссии;

$i_k, i_{p.k}, i_0$  — передаточные числа коробки передач, раздаточной коробки и главной передачи.

Анализ нагрузочных характеристик различных моделей дизелей лесотранспортных машин показал, что при разных нагрузках и частотах вращения  $n$  между удельным цикловым расходом  $q_{ц}$  и средним эффективным давлением  $P_e$  (кгс/см<sup>2</sup>) имеется однозначная связь [3]

$$q_{ц} = A + BP_e + CP_e^2 \text{ мг/(цикл} \cdot \text{л).} \quad (4)$$

Нами получено при  $n = 900 \div 2100$  об/мин: для ЯМЗ-236  $A = 9,53, B = 3,85, C = 0,199$ ; для ЯМЗ-238  $A = 8,12, B = 3,74, C = 0,210$  и для ЯАЗ-М204А (МАЗ-501) при  $n = 1500 \div 2000$  об/мин  $A = 12,60, B = 3,27, C = 0,318$ . Расчеты показали, что в интервале рабочих нагрузочных и скоростных режимов дизелей погрешность вычисления расхода топлива не превышает  $\pm 5\%$ , что можно считать вполне допустимым.

Подставив в формулу (1) значения выражений (2), (3) и (4), получаем

$$Q_s = 796 \cdot 10^{-5} \frac{V_n i_k i_{p.k} i_0}{r_k} (A + BP_e + CP_e^2) \text{ кг/100 км.} \quad (5)$$

Согласно этой формуле, для автомобиля МАЗ-509 с дизелем ЯМЗ-236 ( $V_n = 11,15$  л,  $r_k = 0,546$  м,  $i_0 = 8,28$ )

$$Q_s = 1,346 i_k i_{p.k} (9,53 + 3,85P_e + 0,199P_e^2) \text{ кг/100 км;}$$

для автомобиля КраЗ-255Л с дизелем ЯМЗ-238 ( $V_n = 14,86$  л,  $r_k = 0,6$  м,  $i_0 = 8,21$ )



$$Q_s = 1,619i_k i_{p.k} (8,12 + 3,74P_e + 0,210P_e^2).$$

Если при расчете расхода топлива используется нагрузочная характеристика  $g_e(P_e, n)$ , то, учитывая, что

$$q_{ц} = \frac{g_e P_e}{27} [3],$$

формулу (5) для четырехтактных двигателей можно записать в виде

$$Q_s = 295 \cdot 10^{-6} \frac{V_d i_k i_{p.k} i_0}{r_k} g_e P_e \text{ кг/100 км,}$$

где  $g_e$  — удельный расход топлива, г/(э.л.с.ч.).

Величину  $P_e$  в уравнении (5) можно вычислить из уравнения мощностного баланса. При установившемся движении автопоезда по прямой дороге с заданным дорожным покрытием, различных весовых состояниях и отсутствии ограничения по условиям сцепления эффективная мощность дизеля  $N_e$  расходуется на преодоление сопротивлений (без учета буксования): качению автомобиля  $N_{f_1}$  и роспуска  $N_{f_2}$ , уклона  $N_a$ , воздуха  $N_W$ , трансмиссии  $N_T$  и вспомогательных агрегатов  $N_{в.а.}$

$$N_e = N_{f_1} + N_{f_2} + N_a + N_W + N_T + N_{в.а.} \text{ л.с.} \quad (6)$$

Если обозначить  $\beta$  — коэффициент, характеризующий относительные затраты мощности на привод вентилятора системы охлаждения, компрессора, шестеренного насоса гидросилителя рулевого управления и на преодоление сопротивления глушителя (МАЗ-509, КрАЗ-255Л), то

$$N_{в.а.} = N_e - N_s = \beta N_e, \quad (7)$$

где  $N_s$  — эксплуатационная мощность, передаваемая трансмиссии.

Значение коэффициента  $\beta$  может быть установлено экспериментально или приближенно определено аналитически в соответствии с номенклатурой, параметрами, режимом работы и степенью использования вспомогательных агрегатов и представлено в виде графика  $\beta(n)$ . Данные расчета для МАЗ-509 показали, что при  $n = 1000 \div 2100$  об/мин коэффициент  $\beta = 4,6 \div 9,9\%$  от  $N_e$ , он возрастает с увеличением частоты вращения  $n$  и изменяется примерно по уравнению квадратной параболы, а не по линейной зависимости, как это иногда отмечается в литературе.

Потери мощности в трансмиссии  $N_T$  определяют расчетно-экспериментальным методом. Согласно этому методу [6], общие потери от сопротивления трансмиссии, приведенные к ведущим колесам автомобиля, представляют в виде двух составляющих: механических потерь на трение в узлах, передающих нагрузку (шестерни, карданы) и гидравлических потерь (на разбрызгивание масла в агрегатах). Последние в основном определяются скоростью вращения деталей, практически не зависят от передаваемого крутящего момента и характеризуются силой сопротивления трансмиссии на холостом ходу  $P_{х.х.}$ , которую при механической передаче вычисляют по эмпирической формуле [4]

$$P_{х.х.} = \alpha_{х.х.} (2 + 0,025v_a) (G_a + Q_a) \cdot 10^{-3} \text{ кгс,} \quad (8)$$

где  $G_a$  — вес порожнего автомобиля, кгс;

$Q_a$  — вес части пакета, размещенного на автомобиле, кгс;

$\alpha_{x,x}$  — коэффициент, учитывающий увеличение силы  $P_{x,x}$  по отношению к базовому автомобилю  $4 \times 2$ ;

$v_a$  — средняя скорость, км/ч.

Механические потери определяются мощностью, передаваемой трансмиссией, практически не зависят от частоты вращения и характеризуются коэффициентом нагруженности трансмиссии  $\eta_n$ . Величина  $\eta_n$  определяется кинематической схемой трансмиссии и качеством выполнения ее элементов

$$\eta_n = \eta_{ц}^m \eta_{к}^n \eta_{к.с}^z, \quad (9)$$

где  $\eta_{ц}$ ,  $\eta_{к}$ ,  $\eta_{к.с}$  — КПД одной пары цилиндрических и конических шестерен и одного карданного сочленения;

$m$ ,  $n$ ,  $z$  — количество пар цилиндрических и конических шестерен и карданных сочленений.

В расчетах обычно принимают  $\eta_{к.с} = 0,99$ , а при обильной смазке  $\eta_{ц} = 0,985$  и  $\eta_{к} = 0,975$  [6].

После подстановки в уравнение (6) соответствующих величин получаем для лесовозного автопоезда с четырехтактным дизелем

$$\frac{(1-\beta)P_e V_n n}{900} = \left[ (G_a + Q_a) (f_1 \cos \alpha \pm \sin \alpha) + (G_p + Q_p) (f_2 \cos \alpha \pm \sin \alpha) + \frac{\alpha_W k F v_a^2}{13} + \frac{\alpha_{x,x} (2 + 0,025 v_a) (G_a + Q_a) \eta_n}{10^3} \right] \frac{v_a}{270 \eta_n}, \quad (10)$$

где  $G_p$ ,  $Q_p$  — вес роспуска и части пакета, размещенной на нем, кгс;

$f_1$ ,  $f_2$  — коэффициенты сопротивления качению автомобиля и роспуска;

$\alpha$  — уклон дороги;

$kF$  — фактор обтекаемости, кгс·с<sup>2</sup>/м<sup>2</sup>;

$F$  — лобовая площадь автопоезда, м<sup>2</sup>;

$k$  — коэффициент обтекаемости, кгс·с<sup>2</sup>/м<sup>4</sup>;

$\alpha_W$  — коэффициент, учитывающий увеличение мощности, затрачиваемой на преодоление сопротивления воздуха в связи с наличием роспуска.

Полагая в уравнении (10)  $f_1 = f_2 = f$  и учитывая выражение (3), для вычисления  $P_e$  получаем

$$P_e = \frac{1,256 r_k}{V_n (1-\beta) i_k i_{p,k} i_0 \eta_n} \left[ (G_a + G_p + Q) \psi + \frac{\alpha_W k F v_a^2}{13} + \alpha_{x,x} (2 + 0,025 v_a) (G_a + Q_a) 10^{-3} \eta_n \right] \text{ кгс/см}^2, \quad (11)$$

где  $Q = Q_a + Q_p$  — вес пакета, размещенного на автопоезде, кгс;

$\psi = f \cos \alpha \pm \sin \alpha$  — коэффициент суммарного дорожного сопротивления.

В расчетах обычно полагают (исключая горные дороги), что при угле подъема  $\alpha \leq 10^\circ$   $\psi = f$ .

Рассмотренная методика расчета и уравнения (5) и (11) применимы для автопоездов с четырех- и двухтактными дизелями, снабженными механической трансмиссией. Для двухтактных дизелей ЯАЗ-М204А (МАЗ-501) в уравнениях (5) и (11) постоянные коэффициенты соответственно равны  $159 \cdot 10^{-4}$  (вместо  $796 \cdot 10^{-5}$ ) и  $0,628$  (вместо  $1,256$ ).

Уравнения (5) и (11) позволяют определить средние эксплуатационные расходы топлива на 100 км пробега для дорог с заданным дорожным покрытием в зависимости от весового состояния автопоезда ( $Q, G_a, G_p$ ), дорожных условий ( $\psi$ ), средней скорости движения ( $v_a$ ), передаточных чисел ( $i_k, i_{p.k}, i_0$ ), кинематической схемы и технического состояния трансмиссии ( $\eta_{тп}, P_{х.х}$ ), затрат мощности на привод вспомогательных агрегатов ( $\beta$ ), литража дизеля ( $V_d$ ) и др.

Рекомендуется следующий порядок вычисления расхода топлива  $Q_s$  для заданных дорожных условий  $\psi$ , полезных нагрузок  $Q$ , скоростей движения  $v_a$  при использовании различных ступеней в коробке передач  $i_k$  и в раздаточной коробке  $i_{p.k}$ .

1. Зная  $v_a$  и  $i$ , по формуле (3) вычисляем частоту вращения  $n$  и по предварительно построенному графику  $\beta(n)$  определяем коэффициент  $\beta$ .

2. По выражениям (9), (8), (11), (4) и (5) находим  $\eta_{тп}, P_{х.х}, P_e, q_{ц}$  и  $Q_s$ . Максимальные значения  $P_e$ , соответствующие заданной нагрузке  $Q$  и скорости  $v_a$  при движении на данной передаче, могут ограничиваться крутящим моментом дизеля и определяются по его внешней скоростной характеристике  $M_e(n)$ . Величины  $Q_s, Q$  и  $v_a$  представляем в виде графика  $Q_s(Q, v_a)$ .

При выборе расчетных скоростей движения автопоезда в грузовом  $v_{a.g}$  и порожнем  $v_{a.l}$  направлениях необходимо учесть, что они существенно зависят от типа и степени ровности дорожного покрытия и весового состояния автопоезда. Согласно опытным данным ЦНИИМЭ [2] для данного типа дорожного покрытия, с увеличением нагрузки  $Q$  скорость  $v_{a.g}$  снижается примерно по прямолинейной зависимости, а величина ее меньше, чем при движении автопоезда без груза  $v_{a.l}$ .

Изложенная методика использована для расчета  $Q_s$  при движении автопоезда МАЗ-509 + ТМЗ-803 по магистральной гравийной дороге с различными нагрузками  $Q$ . Полученные результаты сопоставлены с опытными данными СевНИИПа [7] и будут рассмотрены в другой статье.

#### ЛИТЕРАТУРА

- [1]. Говорушенко Н. Я. Основы теории эксплуатации автомобиля. Киев, «Вища школа», 1971. [2]. Горбачевский В. А. и др. Влияние дорожных условий на скоростной режим автопоезда КраЗ-255Л и на расход топлива. — «Труды ЦНИИМЭ». Химки, 1974, № 136. [3]. Дуров А. В. О цикловой подаче топлива дизелями некоторых лесотранспортных машин. — ИВУЗ, «Лесной журнал», 1976, № 1. [4]. Иванов В. В. и др. Основы теории автомобиля и трактора. М., «Высшая школа», 1970. [5]. Клычков П. Д. Графо-аналитический метод расчета топливной экономичности лесовозного автопоезда. — ИВУЗ, «Лесной журнал», 1973, № 5. [6]. Лурье М. И., Токарев А. А. Скоростные качества и топливная экономичность автомобиля. М., «Машиностроение», 1967. [7]. Минлеспром СССР, СевНИИП. Временные нормы расхода топлива лесовозными автопоездами МАЗ-509 и методы применения их с примерами. Архангельск, 1976.

Поступила 20 мая 1977 г.

УДК 621.7.024.2:674.023.1

## ИССЛЕДОВАНИЕ ИМПУЛЬСНЫХ СТРУИ ЖИДКОСТИ ПРИМЕНИТЕЛЬНО К ОКОРКЕ ЛЕСОМАТЕРИАЛОВ

Ю. Я. ДМИТРИЕВ, Г. Ф. КИСЛИЦЫНА

Марийский политехнический институт

Рассматривается вопрос, связанный с гидромеханизацией окорки лесоматериалов. Определено силовое воздействие импульсной струи на преграду, характеризующее ее разрушающую способность и воздействие на обрабатываемые лесоматериалы, что необходимо учитывать при расчете протаскивающих устройств и гидрокорочных машин. Приводятся результаты эксперимента.

Определение силового воздействия струи на окориваемые лесоматериалы необходимо для расчетов протаскивающего устройства гидрокорочной машины.

Динамическое воздействие  $P_1$  непрерывной струи на преграду в непосредственной близости от насадка площадью сечения  $\omega_0$  при скорости истечения  $v$  находят при помощи теоремы о равенстве изменения количества движения системы импульсу действующей силы

$$P_1 = \rho v^2 \omega_0 / 2, \quad (1)$$

где  $\rho$  — плотность жидкости,  $\text{Нс}^2/\text{м}^4$ .

При ударе отдельных капель жидкости о преграду, в отличие от непрерывной струи, проявляется внезапно возникающий контакт воды с преградой, сопровождаемый явлением гидравлического удара. Происходит торможение жидкости; навстречу движущейся массе распространяется волна торможения со скоростью  $c$ , равной скорости звука в воде [2]. Произведение давления жидкости  $P'$  на время его действия  $t$  должно равняться количеству движения массы жидкости, заторможенной при ударе о преграду в течение того же времени  $t$ . Масса этой жидкости равна  $\rho ct\omega_0$ , количество движения —  $\rho ct\omega_0 v$ , отсюда

$$P't = \rho ctv\omega_0,$$

т. е.

$$P' = \rho cv\omega_0. \quad (2)$$

Таким образом, давление раздробленной на капли струи оказывается в  $2c/v$  раз больше непрерывной струи, движущейся с той же скоростью.

Результаты проведенных во ВНИИГидроугля испытаний силы удара  $P_2$  головы струи о жесткую преграду показывают, что лучшую сходимость с экспериментальными данными обеспечивает расчет по формуле [3]

$$P_2 = 0,965\rho cv\omega_0. \quad (3)$$

Для разрушения древесной коры важно знать не только давление головной части струи, но и распределение скоростей по ее длине. Из выражения (2) невозможно определить динамическое воздействие им-

пульсной струи. Струя оказывается разбитой не на капли, а на отдельные участки, движущиеся с различными скоростями.

Исследования показали, что распад струи растет с увеличением показателя степени, отражающего относительную эффективность пульсации давления. По мере удаления от насадка плотность струи изменяется тем интенсивнее, чем выше перепад скоростей отдельных ее участков и скважность процесса пульсации, т. е. отношение интервала между импульсами — скважность  $T - \tau_n$  к длительности самого импульса  $\tau_n$  (рис. 1). Этим объясняется увеличение динамического воздействия струи на преграду по мере удаления от насадка в пределах

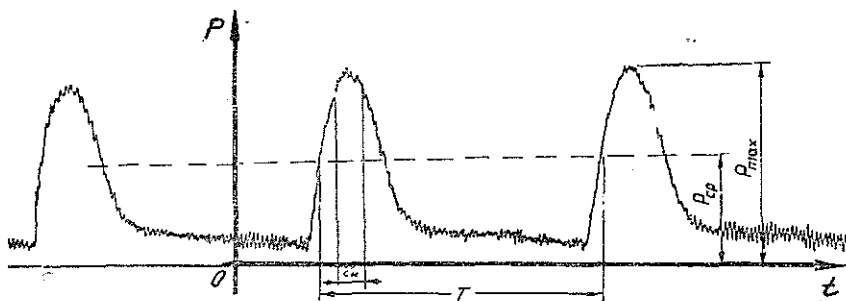


Рис. 1. Оциллограмма записи импульсно изменяющегося давления жидкости перед насадком.

ее начального участка. Пропорционально разности скоростей растет распад струи на отдельные капли, увеличивающий сопротивление воздушной среды потоку. Однако длина основного участка и дальнобойность импульсной струи, по аналогии с непрерывными струями, пропорциональны исходной скорости истечения ее из насадка. Скорости же импульсных струй выше скоростей, полученных из условия их непрерывного истечения.

Учитывая изложенное, давление импульсной струи жидкости на преграду можно определить по формуле гидроудара (2) в случае, если струя разобрана на отдельные капли, т. е. коэффициент пульсации, отражающий эффективность пульсации, стремится к единице

$$\frac{v_{max} - v_{ср}}{v_{max}} \rightarrow 1,$$

так же, как отношение длительности скважности  $T - \tau_n$  к периоду пульсации  $T$  при длительности  $\tau_n$

$$\frac{T - \tau_n}{T} \rightarrow 1.$$

Введем значение средней скорости истечения  $v_0$ . Среднее динамическое воздействие  $P_{ср}$  импульсной струи жидкости на плоскую преграду, находящуюся в непосредственной близости от насадка, может быть представлено как сумма давления, которое производила бы стационарная струя при скорости истечения  $v_0$ , и приращения давления за счет ее ударного воздействия, пропорционального относительной эффективности и скважности пульсации

$$P_{ср} = \frac{\rho v_0^2}{2} \omega_0 + \left(1 - \frac{v_0}{c}\right) \rho v_0 c \left(\frac{v_{max} - v_{ср}}{v_{max}}\right) \left(\frac{T - \tau_n}{T}\right) \omega_0. \quad (4)$$

Скорости истечения отдельных участков струи пропорциональны волнам давления  $p$ , циркулирующим перед насадком

$$P_{\text{ср}} = \frac{\rho v_0^2}{2} \omega_0 + \left(1 - \frac{v_0}{c}\right) \rho v_0 c \left(\frac{p_{\text{max}}^{0,5} - p_{\text{ср}}^{0,5}}{p_{\text{max}}^{0,5}}\right) \left(1 - \frac{\tau_{\text{н}}}{T}\right) \omega_0, \quad (5)$$

где  $\tau_{\text{н}}/T$  есть коэффициент заполнения, т. е. отношение длительности импульса к периоду его повторения  $T$  по аналогии с импульсной техникой в радиоэлектронике [1]. Коэффициент заполнения характеризует раздробленность струи на отдельные участки, т. е. плотность потока. Импульсы могут иметь различную форму: прямоугольную, трапецеидальную, треугольную, колоколообразную и др. В реальном импульсе трудно бывает указать границы фронта и спада. Его длительность отсчитывают на определенном уровне амплитуды  $p_{\text{max}}$ . Для определения  $\tau_{\text{н}}$  произвольной формы введем коэффициент формы  $\lambda_{\text{ф}}$ , который характеризует форму любого импульса относительно прямоугольного.

Среднее давление в импульсе  $p_{\text{ср}}$  представляет собой постоянную составляющую импульсного колебания

$$p_{\text{ср}} = \frac{1}{T} \int_0^{\tau_{\text{н}}} p(t) dt = \lambda_{\text{ф}} \frac{p_{\text{max}} \tau_{\text{н}}}{T};$$

отсюда

$$\frac{\tau_{\text{н}}}{T} = \frac{p_{\text{ср}}}{p_{\text{max}} \lambda_{\text{ф}}}; \quad \lambda_{\text{ф}} = \frac{1}{p_{\text{max}} \tau_{\text{н}}} \int_0^{\tau_{\text{н}}} p(t) dt. \quad (6)$$

Для импульса прямоугольной формы коэффициент формы  $\lambda_{\text{ф}}^{\text{п}}$

$$\lambda_{\text{ф}}^{\text{п}} = \frac{1}{p_{\text{max}} \tau_{\text{н}}} \int_0^{\tau_{\text{н}}} p_{\text{max}} dt = \frac{p_{\text{max}} \tau_{\text{н}}}{p_{\text{max}} \tau_{\text{н}}} = 1. \quad (7)$$

Для импульса треугольной формы (при длительности плоской части импульса, равной нулю)

$$\lambda_{\text{ф}}^{\text{т}} = \frac{1}{p_{\text{max}} \tau_{\text{н}}} \int_0^{\tau_{\text{н}}} p(t) dt = \frac{p_{\text{max}} \tau_{\text{н}}/2}{p_{\text{max}} \tau_{\text{н}}} = 0,5. \quad (8)$$

В общем виде сила давления импульсной струи на плоскую преграду может быть представлена как

$$\begin{aligned} P_{\text{ср}} &= \frac{\rho v_0^2}{2} \omega_0 + \left(1 - \frac{v_0}{c}\right) \rho v_0 c \left(\frac{p_{\text{max}}^{0,5} - p_{\text{ср}}^{0,5}}{p_{\text{max}}^{0,5}}\right) \left(1 - \frac{p_{\text{ср}} \tau_{\text{н}}}{\int_0^{\tau_{\text{н}}} p(t) dt}\right) \omega_0 = \\ &= \frac{\rho v_0^2}{2} \omega_0 + \left(1 - \frac{v_0}{c}\right) \rho v_0 c \left(\frac{p_{\text{max}}^{0,5} - p_{\text{ср}}^{0,5}}{p_{\text{max}}^{0,5}}\right) \left(1 - \frac{p_{\text{ср}}}{\lambda_{\text{ф}} p_{\text{max}}}\right) \omega_0. \end{aligned} \quad (9)$$

Средняя скорость истечения жидкости  $v_0$  при известном расходе  $Q$  и площади среза насадка  $\omega_0$  определена из соотношения  $v = Q/\omega_0$ .

Таблица 1

Насадок (ширр; $10^{-3} d_0$ )	$\varphi_0$ м/с	$10^5 P_{cp}$ Н/м <sup>2</sup>	$10^9 P_{max}$ Н/м <sup>2</sup>	$10^{-8} \omega^0$ м <sup>2</sup>	$\lambda, \psi$	$\frac{V_{Pmax} - V_{Pcp}}{V_{Pmax}}$	$\frac{T - \tau_{II}}{T}$	$10P_2H$	$10P_3H$	$10P_4H$
КЛ; 5,0	99,19	60,60	86,00	1980	1	0,1606	0,295	289,9	24,6	23,9
КО; 4,9	96,44	59,50	95,00	1880	0,9	0,2086	0,304	263,1	23	24,9
КС; 5,0	110,0	61,62	76,00	1980	1	0,1557	0,287	321,5	27,5	25,8
КС; 8,2	52,37	17,53	35,00	5278	0,57	0,2441	0,136	407,5	18,0	20,7
КО; 7,8	65,46	20,40	37,00	4776	0,62	0,2575	0,111	461,0	22,5	23,3
КС; 8,2	56,08	20,00	35,00	5278	0,65	0,2446	0,121	430,4	21,0	21,2
КО; 8,0	52,68	17,74	32,25	5024	0,65	0,2583	0,154	390,4	20,0	21,6
КЛ; 7,0	65,00	27,00	50,00	3846	0,62	0,2652	0,129	368,5	19,0	20,6
КС; 7,6	61,42	24,11	42,00	4534	0,65	0,2441	0,117	410,8	19,8	20,2
КО; 7,8	56,46	20,40	46,00	4775	0,50	0,3406	0,113	397,7	22,5	22,9
КС; 6,0	67,03	28,75	50,00	2826	0,8	0,2417	0,281	279,1	23,2	25,11
КЛ; 6,0	74,51	35,48	58,00	2826	0,8	0,2179	0,235	308,0	25,0	23,38
КО; 6,0	73,39	34,45	56,00	2826	0,8	0,2157	0,231	305,5	24,0	22,61
КО; 3,1	100,6	62,32	117,0	254,4	0,9	0,2702	0,408	111,5	12,0	15,70
КЛ; 3,3	112,8	78,27	120,0	854,9	0,9	0,1924	0,275	142,3	13,0	12,95
КС; 3,0	107,77	72,83	120,0	706,5	0,9	0,2209	0,326	112,4	12,5	11,83
КО; 4,0	105,54	68,57	96,0	1256	1	0,1549	0,3858	195,7	21,0	18,28
Г; 3,2×3	85,45	43,26	66,0	2412	0,9	0,1842	0,2717	304,3	22,2	23,70

Результаты измерений импульсно изменяющегося давления  $p$  и среднего динамического воздействия струи на преграду  $P_{ср}$  для насадков конических сужающихся (КС), коноидальных (КО), конических с лопатым профилем и цилиндрическим участком на выходе (КЦ), группового (Г) — приведены в табл. 1. Динамическое воздействие  $P_1$  непрерывной струи и сила удара  $P_2$  головы струи определены также для скорости  $v_0$ . Данные измерений  $p_{ср}$ ,  $p_{max}$ ,  $P_{ср}$  фиксировали на осциллограммах. Осциллограммы обрабатывали прибором ПОБД-12М, позволяющим регистрировать 12 разрядов измеряемой величины. Полученные в результате обработки частоты повторяемости каждого из 12 разрядов, характеризующих определенную амплитуду  $p$  и  $P$ , пересчитаны на среднее давление  $p_{ср}$  и  $P_{ср}$  с помощью ЭЦВМ «Наири-С» введением уравнений тарировочных графиков.

Суммарная погрешность измерений  $\delta_z$  определена через погрешности:  $\delta_r$  — гальванометра;  $\delta_0$  — тарировки;  $\delta'_0$  — обработки осциллограмм исследуемого процесса;  $\delta_A$  — обусловленную нелинейностью характеристик измерительной цепи;  $\delta_n$  — обусловленную нелинейностью амплитудно-частотной характеристики измерительной цепи:

$$\delta_z = 2\delta_r + \delta_0 + \delta'_0 + \delta_n + \delta_A; \quad (10)$$

$$\delta'_0 = \Delta SK/S. \quad (11)$$

Погрешность обработки осциллограмм  $\delta'_0$  определяется ошибкой изображения  $\Delta S$ , коэффициентом масштаба  $K$  и амплитудой измеряемого процесса  $S$ . Суммарная погрешность при измерении динамического воздействия импульсной струи на плоскую преграду  $\delta_{zg} = 4,06\%$ , суммарная погрешность при измерении импульсного изменяющегося давления жидкости перед насадком  $\delta_{zy} = 3,79\%$ .

Полученные вариационные ряды соответствуют закону нормального распределения. Табличные данные показывают, что лучшую сходимость обеспечивает расчет по формулам (5), (9) силы динамического воздействия струи  $P_{ср}$  на преграду в непосредственной близости от насадка. Средняя ошибка расхождения  $\Delta_{ср} = 6,64\%$ . Эти формулы не учитывают выравнивающего действия насадков.

Анализ приведенных зависимостей показывает, что увеличение динамического воздействия импульсной струи на обрабатываемый объект при той же исходной мощности может быть достигнуто в результате роста перепада давлений  $p_{max}$  и  $P_{ср}$ , высокой скважности импульсов, приближения формы импульса высокого давления к прямоугольной. Изменение амплитуды  $p_{max}$  ограничивается прочностными характеристиками заболонного слоя древесины, так как при увеличении  $p_{max}$  свыше оптимальных значений будет повреждаться древесина. Отсюда следует, что увеличение перепада давлений  $p_{max}$  и  $P_{ср}$  может быть достигнуто за счет уменьшения нижней составляющей импульсно изменяющегося давления перед насадком.

Проведенные исследования подтверждают вывод о существовании избыточного давления в импульсной струе жидкости, вызванного ударным воздействием струи на преграду. Полученные зависимости позволяют определить условия формирования импульсной струи жидкости с параметрами, необходимыми для разрушения и смыва коры, динамическое воздействие струи на обрабатываемые лесоматериалы  $P_{ср}$  и



ее реактивное действие  $R_{cp}$ , рассчитываемое по формулам (5), (9) и равное по величине  $P_{cp}$ , но обратное по направлению.

#### ЛИТЕРАТУРА

[1]. Гусев В. В., Земченко Л. Г., Конев К. В. Основы импульсной и цифровой техники. М., «Советское радио», 1975. 440 с. [2]. Покровский Г. И. Гидродинамические механизмы. М., «Знание», 1972. 48 с. [3]. Черменский Г. П., Чубрик С. С. Сила удара импульсных струй. — В сб.: Теория и опыт гидравлической отбойки угля. Вып. 7. Новокузнецк, 1969, с. 15—28.

Поступила 21 ноября 1977 г.

УДК 621.86.065.3

### НАПРЯЖЕНИЯ ВТОРИЧНОГО ИЗГИБА ПРИ ВЗАИМОДЕЙСТВИИ ПРЯДЕВОГО КАНАТА С РИФЛЕНОЙ И ГЛАДКОЙ ПОВЕРХНОСТЬЮ ЖЕЛОБА БЛОКА

М. А. ЦВИРКО, В. Д. МАРТЫНИХИН

Белорусский технологический институт

Приведены результаты теоретических исследований вторичного изгиба проволок каната при работе на блоках. Показано, что на рифленых блоках, вследствие более благоприятного соотношения кривизн контактирующих тел, вторичный изгиб проволок в 2—4 раза меньше, чем на блоках с гладким желобом. Этим фактором, а также меньшей контактной нагрузкой объясняется более высокая долговечность стального каната в желобе рифленого блока.

Напряжения вторичного изгиба, возникающие вследствие нарушения поперечной формы каната и прядей на блоках, играют значительную роль в усталостном износе и последующем разрушении канатов [5, 9]. Величина этих напряжений зависит как от конструкции каната и его упругих свойств, так и от характера вписывания наружных проволок в поверхность желоба блока [2, 3]. Представляет интерес исследование напряжений вторичного изгиба и местного прогиба проволок при контакте прядевого каната с гладким и рифленным желобом. Эта задача решалась на основе выбора или уточнения расчетных схем и совершенствования методов расчета.

Как известно, характер контакта проволок с желобом зависит от разности кривизн контактирующих тел, а также от жесткости и упругого отпора проволоки в пряди и выражается следующим условием [2]:

при точечном контакте

$$q < 4\lambda H X_0; \quad (1)$$

при линейном контакте

$$q > 4\lambda H X_0. \quad (2)$$

где  $q$  — давление на проволоку со стороны желоба блока. Оно определяется по методике, разработанной авторами, с учетом модуля поперечной упругости каната и коэффициента влияния желоба;

$H = EJ$  — жесткость проволоки при изгибе;

$X_0$  — разность кривизны проволоки и сечения желоба по линии контакта.

Здесь также обозначено:

$$\lambda = \sqrt[4]{\frac{k_0}{4H}},$$

где  $k_0$  — коэффициент упругого основания, характеризующий радиальную податливость пряди в канате.

В пределах эксплуатационных нагрузок на блоках с гладким желобом имеет место первоначально точечный контакт, в то время как в рифленном желобе он линейный. Как было показано в работе [7], на рифленном блоке наружные проволоки под нагрузкой принимают кривизну рифления желоба, и дальнейший их прогиб прекращается, несмотря на возрастание нагрузки.

Как следует из работ [1—3, 5, 9], напряжения вторичного изгиба, как и расчетные схемы, различны для канатов типов ЛК (линейного касания) и ТК (точечного касания).

Для канатов ЛК каждая проволока, контактирующая с желобом, рассматривается как балка бесконечной длины на упругом винклеровском основании [1, 2, 5]. Напряжения вторичного изгиба  $\sigma_{II}$  для гладкого блока следует определять по уточненной формуле

$$\sigma_{II} = \frac{q}{4\lambda W} c_{II}, \quad (3)$$

где  $W$  — момент сопротивления наружной проволоки;

$c_{II}$  — поправочный коэффициент на контактное смятие поверхности желоба и проволоки.

С некоторым приближением поправочный коэффициент можно выразить как

$$c_{II} = 1 - \frac{\alpha_k}{y}, \quad (4)$$

где  $\alpha_k$  — контактное сближение проволоки и желоба;

$y$  — местный прогиб проволоки от вторичного изгиба.

Величина  $\alpha_k$  может быть найдена на основании [6] по формуле

$$\alpha_k = \frac{1}{2} n_a \sqrt[3]{\frac{9}{4} v^2 \Sigma K q^2}, \quad (5)$$

где  $n_a$  — коэффициент, значение которого дается в работе [6] в зависимости от геометрических параметров контактирующих тел и полных эллиптических интегралов первого и второго рода;

$v$  — упругая постоянная контактирующих тел;

$\Sigma K$  — сумма главных кривизн проволоки и желоба.

Величина  $y$  для канатов типа ЛК принимается равной [5]

$$y = \frac{q}{8\lambda^3 H}. \quad (6)$$

Вычисления коэффициента  $c_{II}$  показывают, что его надо учитывать при расчетах взаимодействия каната с гладким желобом.

Для рифленных блоков значения  $\sigma_{II}$  в основном зависят от разности кривизн проволоки и впадины рифления. Поэтому их величину можно определить на основании работы [2] по формуле

$$\sigma_{II} = \frac{X_0 H}{W}. \quad (7)$$

Коэффициент  $c_{\parallel}$  в этом случае не учитывается, так как контактное сближение тел принимается равным нулю.

После преобразования формул (3) и (7), где жесткость проволоки  $H$ , момент сопротивления  $W$  и коэффициент  $\lambda$  выражены через диаметр проволоки, получим следующие формулы для определения вторичного изгиба в канатах ЛК:

для гладкого блока

$$\sigma_{\parallel} = 1,7c_{\parallel} \sqrt[4]{\frac{E}{k_0} \frac{q}{\delta^2}}; \quad (8)$$

для рифленого блока

$$\sigma_{\parallel} = \frac{1}{2} EX_0 \delta, \quad (9)$$

где  $\delta$  — диаметр проволоки.

Рассмотрим напряжения вторичного изгиба в канатах ТК. Для рифленых блоков формулы (7) и (9) остаются в силе, ибо, как в предыдущем случае, эти напряжения зависят от разности кривизн проволоки и поверхности рифленого желоба по линии контакта. На блоках с гладким желобом, применительно к которым исследовали напряжения вторичного изгиба в канатах ТК, наружную проволоку обычно рассматривают как однопролетную балку на жестких опорах с сосредоточенной силой, действующей посередине пролета [3, 9]. Нашими исследованиями [7] установлено, что канаты двойной свивки на гладких блоках подвергаются значительным поперечным упругим деформациям, учет которых важен для повышения точности расчета. В этом случае наружную проволоку следует принимать за многопролетную балку на упруго-сдвигающихся опорах с длиной пролета между опорами проволоки, равной [4]

$$l = \frac{2\pi}{n_b} \frac{h_0 r}{(h \pm h_b) \sin \alpha}, \quad (10)$$

где  $h_b$ ,  $n_b$  — шаг и число проволок во внутреннем слое пряди;  
 $h$  — шаг свивки рассматриваемой внешней проволоки;  
 $r$  — радиус наружного слоя проволоки;  
 $\alpha$  — угол свивки наружного слоя проволоки.

Знаки плюс и минус в формуле принимают соответственно для переменного и одностороннего направления свивки проволок по слоям. Тогда напряжения  $\sigma_{\parallel}$  могут быть найдены по величине изгибающего момента в проволоке в наиболее опасном сечении.

Схемы и характер нагрузок многопролетной балки для обоих случаев свивки проволок в пряди определяются из следующих соображений. Основанием балки служат нижележащие слои проволок пряди, свитые под некоторым углом к наружным проволокам. Внешняя нагрузка приложена со стороны желоба по дуге, равной величине контакта (отпечатка) в желобе. Длина этой дуги на гладком желобе, определенная экспериментально, равна  $(2 \div 3)\delta$  при эксплуатационных и максимальных нагрузках в канате.

Переменному направлению свивки проволок по слоям соответствует схема четырехпролетной балки с распределенной нагрузкой в двух средних пролетах (рис. 1, а). Для одностороннего направления свивки проволок принимают схему трехпролетной балки с сосредоточенной силой в центре среднего пролета. Выбор числа пролетов в расчетных схемах определяется тем, что влияние внутренних нагрузок в последую-

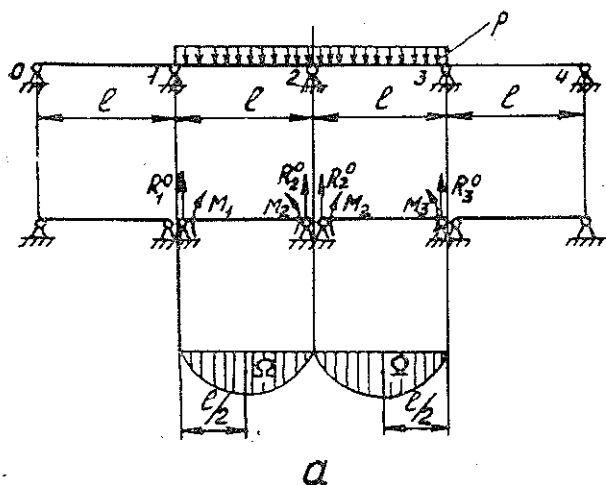
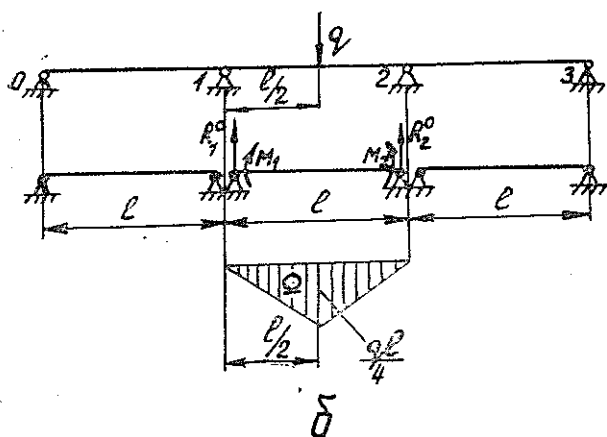


Рис. 1. Схемы нагружения наружной проволоки канатов типа ТК.

*a* — для переменного направления свивки проволок по слоям пряди; *b* — для одностороннего направления свивки проволок по слоям пряди.



щих пролетах незначительно и ими можно пренебречь, а характер нагрузки (распределенной — в двух пролетах или сосредоточенной — в одном) принят в зависимости от соотношений длины пролета и площадки контакта, через которую передается давление от желоба.

Для решения задачи воспользуемся уравнением пяти моментов для многопролетной балки с равной длиной пролетов [8]:

$$M_{n-2}\alpha + M_{n-1}(1-4\alpha) + M_n(4+6\alpha) + M_{n+1}(1-4\alpha) + M_{n+2}\alpha = -6 \left( \frac{\Omega_n a_n}{l^2} + \frac{\Omega_{n+1} a_{n+1}}{l^2} \right) - \alpha l (R_{n-1}^0 - 2R_n^0 + R_{n+1}^0), \quad (11)$$

где  $M_{n-2}, M_{n-1}, \dots, M_{n+2}$  — опорные моменты;

$l$  — длина пролета;

$\Omega_n, \Omega_{n+1}$  — площади эпюры моментов простой балки;

$R_{n-1}^0, R_n^0, R_{n+1}^0$  — опорные давления на  $(n-1)$ -й,  $n$ -й,  $(n+1)$ -й опорах, которые определены в предположении, что балка разрезана на опорах;

$a_n, a_{n+1}$  — расстояние от центра тяжести площади эпюры моментов до соответствующей опоры.

Коэффициент  $\alpha$  определяется по формуле

$$\alpha = \frac{6H}{l^3} c,$$

где  $c$  — коэффициент упругой податливости опоры, равной ее прогибу от единичной силы, приложенной к опоре (находится экспериментальным путем).

Максимальный изгибающий момент через опорные моменты выражается формулой

$$M_{max} = M_a^0 + M_{n-1} + \frac{M_n - M_{n-1}}{l} \alpha'_n, \quad (12)$$

где  $M_a^0$  — максимальный момент от внешней нагрузки, рассчитанный в предположении, что балка разрезана на опорах;

$\alpha'_n$  — расстояние от опоры до сечения балки с максимальным моментом.

Из рис. 1, *a* видно, что  $M_0 = M_4 = 0$ ;  $M_1 = M_3$ , поэтому запишем уравнения пяти моментов для опор 1 и 2:

$$\left. \begin{aligned} M_1(4 + 7\alpha) + M_2(1 - 4\alpha) &= -\frac{pl^2}{4}; \\ M_1(1 - 4\alpha) + M_2(2 + 3\alpha) &= -\frac{pl^2}{4}(1 - \alpha). \end{aligned} \right\} \quad (13)$$

Решение их дает следующие значения опорных моментов:

$$M_1 = M_3 = -\frac{pl^2}{4} A_1; \quad (14)$$

$$M_2 = -\frac{pl^2}{4} A_2, \quad (14a)$$

где  $p$  — распределенная нагрузка на проволоку со стороны желоба;  $A_1, A_2$  — коэффициенты, значения которых определяются следующими выражениями:

$$A_1 = \frac{(7 + 34\alpha + 5\alpha^2) - (1 - 4\alpha)(2 + 7\alpha - 7\alpha^2)}{(4 + 7\alpha)(7 + 34\alpha + 5\alpha^2)};$$

$$A_2 = \frac{3 + 7\alpha - 7\alpha^2}{7 + 34\alpha + 5\alpha^2}.$$

Максимальный изгибающий момент будет в середине двух центральных пролетов. Подставив значения опорных моментов (14) и (14a) в формулу (12), после преобразований получим

$$M_{max} = \frac{pl^2}{4} \left( 1 - \frac{A_1 + A_2}{2} \right). \quad (15)$$

Обозначая выражение в скобках через  $A_3$ , максимальный изгибающий момент в проволоке выразим в виде

$$M_{max} = \frac{pl^2}{4} A_3, \quad (15a)$$

где

$$A_3 = \frac{(7 + 14\alpha)(7 + 34\alpha + 5\alpha^2) - (3 + 11\alpha)(3 + 7\alpha - 7\alpha^2)}{2(4 + 7\alpha)(7 + 34\alpha + 5\alpha^2)}.$$

Напряжение вторичного изгиба

$$\sigma_{II} = c_{II} \frac{M_{max}}{W} \quad (16)$$

или

$$\sigma_{\parallel} = 2,5c_{\parallel} \frac{pl^2}{8^3} A_3, \quad (16a)$$

Прогиб центральной опоры равен суммарной реакции опоры, умноженной на коэффициент податливости, т. е.

$$y = c \frac{pl}{2} [1 - 2(A_1 - A_2)]. \quad (17)$$

Для одностороннего направления свивки (рис. 1, б) опорные моменты

$$M_1 = M_2 = -\frac{ql}{8} \frac{3-4\alpha}{5+2\alpha}. \quad (18)$$

Максимальный изгибающий момент в этом случае

$$M_{max} = \frac{ql}{4} A_4, \quad (19)$$

где

$$A_4 = \frac{2+6\alpha}{5+2\alpha}.$$

Напряжение вторичного изгиба в наружных проволоках каната

$$\sigma_{\parallel} = 2,5c_{\parallel} \frac{ql}{8^3} A_4. \quad (20)$$

Прогибы проволоки под опорой и посередине пролета в месте приложения нагрузки равны:  
под опорой

$$y_0 = c \frac{q}{8} \frac{23+4\alpha}{5+2\alpha}; \quad (21)$$

посередине пролета

$$y = c \frac{q}{8} \frac{23+4\alpha}{5+2\alpha} + \frac{ql^3}{48H}. \quad (22)$$

Значения коэффициентов  $A_1$ ,  $A_2$ ,  $A_3$  и  $A_4$  в зависимости от  $\alpha$  приведены на рис. 2.

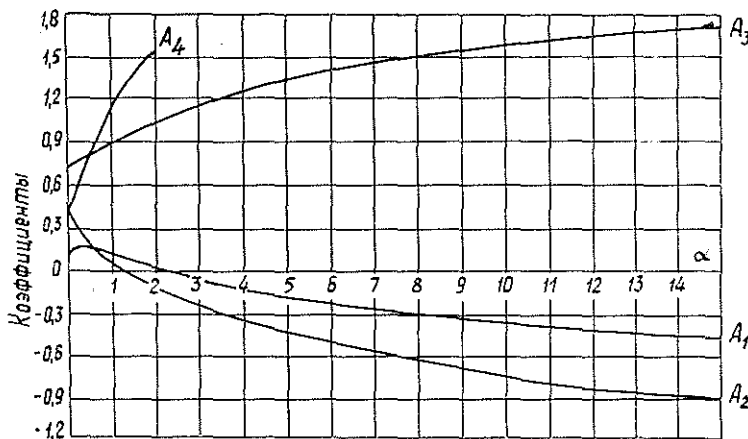
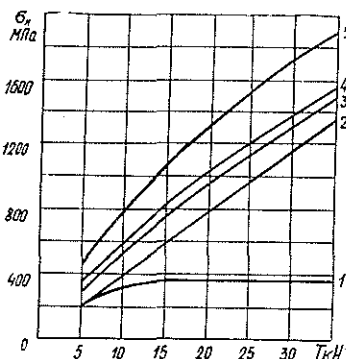


Рис. 2. Значения коэффициентов  $A_1$ ,  $A_2$ ,  $A_3$ ,  $A_4$  от величины  $\alpha$ .

Рис. 3. Зависимость напряжений вторичного изгиба от усилия растяжения каната.

1, 2 — для каната типа ЛК ( $d_k = 15$  мм ГОСТ 2688—69) соответственно на рифленном и гладком блоках; 3, 4 — для каната типа ТК ( $d_k = 16$  мм ГОСТ 3070—74) на гладком блоке соответственно с переменным и односторонним направлением свивки проволок по слоям; 5 — для каната типа ТК с односторонним направлением свивки проволок по слоям ( $d_k = 16$  мм ГОСТ 3070—74) на гладком блоке при расчете напряжений по формуле Висса.



Величины напряжений вторичного изгиба в проволоках каната, вычисленные по полученным формулам для конкретных конструкций канатов, показаны на рис. 3. Там же приводятся и напряжения, вычисленные по формуле Висса [9] для канатов типа ТК.

### Выводы

Проведенные теоретические исследования позволили получить расчетные зависимости для определения напряжений вторичного изгиба для канатов типов ЛК и ТК при работе на блоках с гладкой и рифленной поверхностью желоба. На блоках с гладким желобом эти напряжения значительны, одного порядка с контактными, в то время как на рифленных блоках они меньше в 2—4 раза. Напряжения вторичного изгиба в канатах ТК при работе на гладких блоках следует рассчитывать по схеме многопролетных неразрезных балок, при этом точность расчета повышается на 25—30% по сравнению с методом Висса.

### ЛИТЕРАТУРА

- [1]. Ветров А. П. Вторичный изгиб канатов двойной свивки линейного касания. — В сб.: Стальные канаты. Вып. 1. Киев, «Техника», 1964. [2]. Ветров А. П. Напряжения вторичного изгиба в спиральных канатах линейного касания на шкивах. В сб.: Вопросы рудничного транспорта. Вып. 8. М., «Недра», 1965. [3]. Глушко М. Ф., Волоконский В. Ф. Изгиб проволок каната при контакте его со шкивом. — ИВУЗ, «Горный журнал», 1962, № 10. [4]. Глушко М. Ф. Исследование напряжений в стальных проволочных канатах. — В сб.: Расчеты на прочность. № 7, Машгыз, 1971. [5]. Нестеров П. П., Ветров А. П. Влияние параметров свивки стальных канатов на их долговечность. — ИВУЗ, «Горный журнал», 1964, № 7. [6]. Рудицын М. Н. и др. Справочник пособие по сопротивлению материалов. Минск, «Высшая школа», 1970. [7]. Цвирко М. А., Мартынихин В. Д. Исследование поперечной упругости стальных канатов на блоках с гладкой и рифленной поверхностью желоба. — В сб.: Механизация лесоразработок и транспорт леса. Вып. 6. Минск, «Высшая школа», 1975. [8]. Энциклопедический справочник. Машиностроение. Т. 2. 1949. [9]. Wyss Th. Stahdrohtseil der Transport und Förderanlagen, insbesondere der stahdseil und Schwebenbahnen Schweizer Druck und Verlagshaus A. 6. Zürich, 1956.

Поступила 21 ноября 1977 г.

УДК 625.572 : 620.174

**ИССЛЕДОВАНИЕ НАПРЯЖЕНИЙ ИЗГИБА В НЕСУЩЕМ КАНАТЕ ПРИ ДВИЖЕНИИ ПО НЕМУ ЛЕГКОГО ГРУЗА**

*И. И. СЛЕПКО*

Хмельницкий технологический институт

Исследуются величины и характер напряжений изгиба в несущих канатах при движении по ним легкого груза. Получены дифференциальное уравнение поперечных колебаний несущего каната как жесткой нити при шарнирном закреплении его концов, выражения для определения критической скорости движения груза и траектории его движения, динамических коэффициентов по прогибам и по изгибающему моменту, а также динамической и статической линии влияния изгибающего момента.

В данной статье исследуются величины и характер напряжений изгиба в несущих канатах как жестких нитях при движении по ним легкого груза (массой которого, по сравнению с массой каната, можно пренебречь).

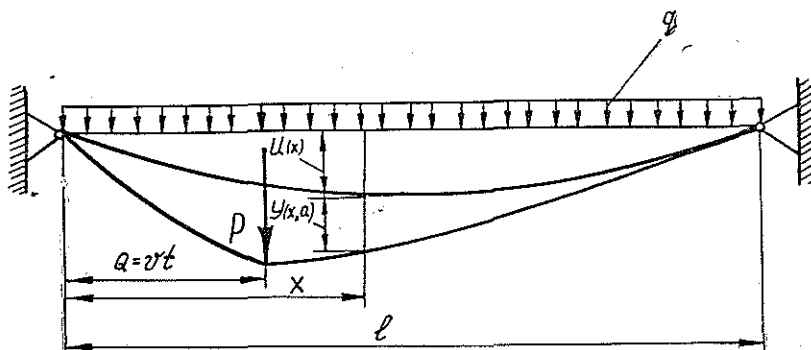


Рис. 1.

Рассмотрим жесткую нить с постоянным натяжением  $T$ , собственным весом  $q$ , не вызывающим напряжений изгиба, имеющую монтажный прогиб  $u = u(x)$  — рис. 1. Согласно [1],

$$u(x) = \frac{qx}{T} \left( \frac{l}{2} - x \right), \tag{1}$$

где  $l$  — длина пролета несущего каната.

При движении груза  $P$  по несущему канату с постоянной линейной скоростью  $v$ , канат совершает вынужденные поперечные колебания. Уравнение свободных колебаний несущего каната как жесткой нити имеет вид

$$B \frac{\partial^4 y}{\partial x^4} + m \frac{\partial^2 y}{\partial t^2} - H \frac{\partial^2 y}{\partial x^2} = 0, \tag{2}$$

где  $B$  — изгибная жесткость каната [2];



$H$  — горизонтальная составляющая натяжения несущего каната; при расположении опор на одном уровне  $H \approx T$  [4];

$m$  — масса единицы длины каната.

Дифференциальное уравнение главных форм колебаний несущего каната как жесткой нити имеет вид

$$By_k^{IV}(x) - Hy_k''(x) - m\omega_k^2 y_k(x) = 0, \quad (3)$$

где  $\omega_k$  —  $k$ -тая частота собственных колебаний

$$\omega_k = \frac{k\pi}{l} \sqrt{\frac{H}{m} \sqrt{1 + \left(\frac{k\pi}{l}\right)^2 \frac{B}{H}}}. \quad (3a)$$

В случае шарнирного закрепления концов несущего каната главная форма его свободных колебаний выражается уравнением

$$y_k(x) = \sin \frac{k\pi x}{l}. \quad (4)$$

Разложим движущийся груз  $P$  при координате  $x = a$  по главным формам. Согласно [5], имеем

$$g(x, t) = \frac{2P}{l} \sum_{k=1}^{\infty} \sin k\pi \frac{a}{l} \sin k\pi \frac{x}{l}. \quad (5)$$

На основании выражений (2) и (5) получим дифференциальное уравнение поперечных колебаний несущего каната как жесткой нити без учета сил сопротивления

$$By^{IV} + m\ddot{y} - Hy'' = \frac{2P}{l} \sum_{k=1}^{\infty} \sin \frac{k\pi a}{l} \sin \frac{k\pi x}{l}. \quad (6)$$

Учитывая, что при движении груза координата  $a = vt$  и вводя обозначение  $\Theta_k = \frac{k\pi v}{l}$ , уравнение (6) напомним в виде

$$By^{IV} + m\ddot{y} - Hy'' = \frac{2P}{l} \sum_{k=1}^{\infty} \sin \Theta_k t \sin \frac{k\pi x}{l}. \quad (7)$$

Решаем уравнение (7)

$$y(x, t) = \sum_{k=1}^{\infty} F_k(t) y_k(x) = \sum_{k=1}^{\infty} F_k(t) \sin \frac{k\pi x}{l}, \quad (8)$$

где  $F(t)$  — неизвестная функция времени.

На основании выражений (7) и (8)

$$\ddot{F}_k(t) + \omega_k^2 F_k(t) = \frac{2P}{ml} \sin \Theta_k(t), \quad (9)$$

где  $\omega_k$  —  $k$ -тая частота колебаний при движении груза; соответствует частоте свободных колебаний груза.

Интеграл уравнения (9)

$$F_k(t) = A_k \sin \omega_k t + B_k \cos \omega_k t + \frac{2P}{ml\omega_k^2} \frac{\sin \Theta_k t}{1 - \beta_k^2}, \quad (10)$$

где

$$\beta_k = \frac{\Theta_k}{\omega_k} = \frac{v}{\sqrt{\frac{H}{m} \left[ 1 + \left( \frac{k\pi}{l} \right)^2 \frac{B}{H} \right]}}. \quad (10a)$$

Полагая, что при  $t = 0$   $y_k(0) = 0$ ;  $\dot{y}_k(0) = 0$ , получим

$$B_k = 0; \quad A_k = -\frac{2P}{ml\omega_k^2} \frac{\beta_k}{1 - \beta_k^2}.$$

Тогда

$$F_k(t) = \frac{2P}{ml\omega_k^2(1 - \beta_k^2)} (\sin \Theta_k t - \beta_k \sin \omega_k t). \quad (11)$$

На основании выражений (8) и (11) имеем

$$y(x, t) = \sum_{k=1}^{\infty} \frac{2P}{ml\omega_k^2(1 - \beta_k^2)} (\sin \Theta_k t - \beta_k \sin \omega_k t) \sin \frac{k\pi x}{l}. \quad (12)$$

Частота свободных колебаний каната с ростом порядка  $k$  быстро возрастает и поэтому ряд (12) является быстро сходящимся. Если при некотором  $k = n$  значение  $\Theta_n \rightarrow \omega_n$ , то  $n$ -е слагаемое ряда (12) даст неопределенность вида  $\frac{0}{0}$ . Раскрывая ее, получим

$$y_n(x, t) = -\frac{P}{ml\omega_n^2} (\omega_n t \cos \omega_n t - \sin \omega_n t) \sin \frac{n\pi x}{l}. \quad (13)$$

Из выражения (13) следует, что с течением времени при  $\Theta_k = \omega_k$  перемещения каната неограниченно растут, т. е. имеет место резонанс. Исходя из этого, получим выражение для определения критической скорости движения груза

$$v_{k \text{ кр}} = \sqrt{\frac{H}{m} \left[ 1 + \left( \frac{k\pi}{l} \right)^2 \frac{B}{H} \right]}. \quad (14)$$

Наименьшая критическая скорость (при  $k = 1$ )

$$v_{\text{кр min}} = \sqrt{\frac{H}{m} \left[ 1 + \frac{\pi^2 B}{Hl^2} \right]}. \quad (15)$$

Для несущего каната 23,0 Н-160-В ГОСТ 3077-69 при исходных данных  $T = 17$  тс,  $l = 500$  м,  $q = 1,98$  кгс/м;  $B = EI = 1,60 \cdot 10^6$  кгс/см<sup>2</sup> получаем  $v_{\text{кр}} = 740$  м/с, что значительно превышает существующие скорости движения грузовых кареток. Полученное значение критической скорости хорошо согласуется с данными А. И. Дукельского [3].

Для определения ординат изогнутой оси каната при фиксированном положении груза положим в уравнение (12)  $vt = a$ , тогда

$$y(x, a) = \frac{2P}{ml} \sum_{k=1}^{\infty} \frac{\sin \frac{k\pi x}{l}}{\omega_k^2(1 - \beta_k^2)} \left( \sin \frac{k\pi a}{l} - \beta_k \sin \frac{k\pi a}{\beta_k l} \right), \quad (16)$$

где  $a$  — координата груза  $P$ ;

$x$  — координата сечения каната.

Поскольку при  $a = l$  слагаемое  $\beta_k \sin \frac{k\pi a}{\beta_k l} \neq 0$ , то из выражения (16) следует, что при  $a = l$ , т. е. когда груз будет на правой опоре, прогибы каната  $y \neq 0$ . После схода груза с несущего каната действие его проявляется в виде свободных колебаний каната, которые определяются начальными условиями движения.

Подставив в уравнение (16)  $x = a$ , получим уравнение траектории движения груза

$$y(a) = \frac{2P}{ml} \sum_{k=1}^{\infty} \frac{\sin \frac{k\pi a}{l}}{\omega_k^2 (1 - \beta_k^2)} \left( \sin \frac{k\pi a}{l} - \beta_k \sin \frac{k\pi a}{\beta_k l} \right). \quad (17)$$

Формулу для изгибающего момента получим из выражения (16), дифференцируя его по координате  $x$  и учитывая, что

$$M(x, a) = -B \frac{\partial^2 y(x, a)}{\partial x^2}; \quad (18)$$

$$M(x, a) = \frac{2PB}{Hl} \sum_{k=1}^{\infty} \frac{\sin \frac{k\pi x}{l}}{\left[ 1 + \left( \frac{k\pi}{l} \right)^2 \frac{B}{H} \right] (1 - \beta_k^2)} \left( \sin \frac{k\pi a}{l} - \beta_k \sin \frac{k\pi a}{\beta_k l} \right). \quad (19)$$

Из выражений (16) и (19), положив  $\beta_k \rightarrow 0$ , определим прогибы и изгибающие моменты при медленном перемещении груза  $P$  по несущему канату:

$$y_{ст}(x, a) = \frac{2P}{ml} \sum_{k=1}^{\infty} \frac{\sin \frac{k\pi x}{l}}{\omega_k^2} \sin \frac{k\pi a}{l}; \quad (20)$$

$$M_{ст}(x, a) = \frac{2PB}{Hl} \sum_{k=1}^{\infty} \frac{\sin \frac{k\pi x}{l}}{\left[ 1 + \left( \frac{k\pi}{l} \right)^2 \frac{B}{H} \right]} \sin \frac{k\pi a}{l}. \quad (21)$$

Динамический коэффициент по прогибам:

$$k_y = \frac{y(x, a)}{y_{ст}(x, a)} = \frac{\sum_{k=1}^{\infty} \frac{\sin \frac{k\pi x}{l}}{\omega_k^2 (1 - \beta_k^2)} \left( \sin \frac{k\pi a}{l} - \beta_k \sin \frac{k\pi a}{\beta_k l} \right)}{\sum_{k=1}^{\infty} \frac{\sin \frac{k\pi x}{l}}{\omega_k^2} \sin \frac{k\pi a}{l}}; \quad (22)$$

по изгибающему моменту

$$k_M = \frac{M(x, a)}{M_{ст}(x, a)} = \frac{\sum_{k=1}^{\infty} \frac{\sin \frac{k\pi x}{l}}{\left[ 1 + \left( \frac{k\pi}{l} \right)^2 \frac{B}{H} \right] (1 - \beta_k^2)} \left( \sin \frac{k\pi a}{l} - \beta_k \sin \frac{k\pi a}{\beta_k l} \right)}{\sum_{k=1}^{\infty} \frac{\sin \frac{k\pi x}{l}}{1 + \left( \frac{k\pi}{l} \right)^2 \frac{B}{H}} \sin \frac{k\pi a}{l}}. \quad (23)$$

Из выражений (22) и (23) следует, что значение динамического коэффициента зависит от положения груза и сечения, а также от изгибной жесткости каната и его натяжения. Положив в уравнениях (16), (19) и (20), (21)  $P = 1$ , получим соответственно уравнения динамических и статических линий влияния прогибов и изгибающих моментов.

Поскольку дифференциальное уравнение (7) линейное, то для определения деформаций и внутренних усилий применим принцип наложения. Исходя из этого, разложим динамическую линию влияния изгибающего момента, уравнение которой имеет вид

$$M(x, a) = \frac{2B}{Hl} \sum_{k=1}^{\infty} \frac{\sin \frac{k\pi x}{l}}{\left[1 + \left(\frac{k\pi}{l}\right)^2 \frac{B}{H}\right] (1 - \beta_k^2)} \left( \sin \frac{k\pi a}{l} - \beta_k \sin \frac{k\pi a}{\beta_k l} \right), \quad (24)$$

на статическую линию влияния

$$M_{ст}(x, a) = \frac{2B}{Hl} \sum_{k=1}^{\infty} \frac{\sin \frac{k\pi x}{l}}{1 + \left(\frac{k\pi}{l}\right)^2 \frac{B}{H}} \sin \frac{k\pi a}{l} \quad (25)$$

и динамическую добавку

$$\Delta M(x, a) = \frac{2B}{Hl} \sum_{k=1}^{\infty} \frac{\beta_k \sin \frac{k\pi x}{l}}{\left[1 + \left(\frac{k\pi}{l}\right)^2 \frac{B}{H}\right] (1 - \beta_k^2)} \left( \beta_k \sin \frac{k\pi a}{l} - \sin \frac{k\pi a}{\beta_k l} \right). \quad (26)$$

Для сечения посередине пролета, т. е. при  $x = \frac{l}{2}$ , для которого, как правило, записывается осциллограмма напряжений изгиба, что соответствует линии влияния изгибающего момента для заданного сечения в определенном масштабе, уравнения (24), (25) и (26) примут вид

$$M\left(\frac{l}{2}, t\right) = \frac{2B}{Hl} \sum_{k=1, 3, 5 \dots}^{\infty} \frac{-1^{\frac{k-1}{2}}}{\left[1 + \left(\frac{k\pi}{l}\right)^2 \frac{B}{H}\right] (1 - \beta_k^2)} \times \\ \times \left( \sin \Theta_k t - \beta_k \sin \frac{\Theta_k}{\beta_k} t \right); \quad (27)$$

$$M_{ст}\left(\frac{l}{2}, t\right) = \frac{2B}{Hl} \sum_{k=1, 3, 5 \dots}^{\infty} \frac{-1^{\frac{k-1}{2}}}{1 + \left(\frac{k\pi}{l}\right)^2 \frac{B}{H}} \sin \Theta_k t; \quad (28)$$

$$\Delta M\left(\frac{l}{2}, t\right) = \frac{2B}{Hl} \sum_{k=1, 3, 5 \dots}^{\infty} \frac{\beta_k (-1)^{\frac{k-1}{2}}}{\left[1 + \left(\frac{k\pi}{l}\right)^2 \frac{B}{H}\right] (1 - \beta_k^2)} \times \\ \times \left( \beta_k \sin \Theta_k t - \sin \frac{\Theta_k}{\beta_k} t \right). \quad (29)$$

Полученные выражения позволяют исследовать величину и характер напряжений изгиба, возникающих в несущем канате при движении по нему груза.

## ЛИТЕРАТУРА

[1]. Белая Н. М., Прохоренко А. Г. Канатные лесотранспортные установки. М., «Лесная промышленность», 1964. [2]. Глушко М. Ф. Стальные подъемные канаты. Киев, «Техника», 1966. [3]. Дукельский А. И. Подвесные канатные дороги и кабельные краны. М.—Л., «Машиностроение», 1966. [4]. Качурин В. К. Теория висячих систем. М.—Л., Госстройиздат, 1962. [5]. Киселев В. А. Строительная механика. М., Стройиздат, 1969.

Поступила 24 мая 1976 г.

УДК 556.535.3 : 532.1

## ПРИБЛИЖЕННЫЙ СПОСОБ ИЗМЕРЕНИЯ РАСХОДА ВОДЫ В РЕЧНОМ ПОТОКЕ

В. Е. СЕРГУТИН

Красноярский политехнический институт

Приводится теоретическое обоснование и натурное подтверждение приближенного способа измерения расхода воды в открытых (речных) потоках без предварительного определения площади живого сечения. В качестве исходных базовых величин при измерении расхода служат ширина потока поверху, максимальная глубина и небольшая поверхностная скорость. Произведение этих величин (фиктивный расход), скорректированное коэффициентом, составляет искомый расход.

Обработка обширных гидрометрических данных из фонда Гидрометслужбы СССР показала, что между фактическими расходами речных потоков и их фиктивными значениями (фиктивный расход — произведение ширины реки поверху на максимальную глубину и наибольшую поверхностную скорость) существует достаточно тесная и устойчивая связь, аппроксимация которой практически прямолинейна. Эта связь служит основой для приближенного определения расхода на лесосплавных и судходных реках без промежуточного определения площади живого сечения по наиболее доступным гидравлическим и геометрическим элементам потока, составляющим фиктивный расход. При этом налицо значительное снижение трудоемкости полевых измерений при определении расхода и резкое сокращение объема вычислений на камеральной обработке. Отмеченная связь рассматривается и как новая морфометрическая «постоянная» в случаях, пока поток не вышел за пределы своего основного русла и не разлился по пойме. Возможна и интер-экстраполяция расходов реки в данном створе без промежуточного определения площади сечения потока во всем возможном диапазоне изменения глубин в пределах бровки пойменного берега.

Теоретические основы способа. Современная литература по речной гидрологии (например [5]) рекомендует два метода по определению расхода воды в речных потоках. Первый — полный графоаналитический — основан на детальном измерении ряда параметров потока и русла во время экспедиционных исследований с применением гидрометрических вертушек и тяжелого сопутствующего оборудования; после полевых измерений следует большой объем камеральных (вычислительных) работ. Второй — приближенный — основан на принципе неразрывности струн, когда расход равен произведению средней скорости на площадь сечения. В работах [8, 9] на основе схематизации поперечного сечения открытого потока «приведенными» формами речного русла и степенного закона изменения скоростей в вертикальных и горизонтальных плоскостях получены формулы для определения расхода открытого потока при трехмерном (пространственном) движении в прямоугольных, параболических и треугольных руслах  $Q$  (рис. 1,  $dQ = ud\omega$ ,  $d\omega = dx dz$ ) в выбранных осях координат  $B(X)$  и  $H(Z)$ :

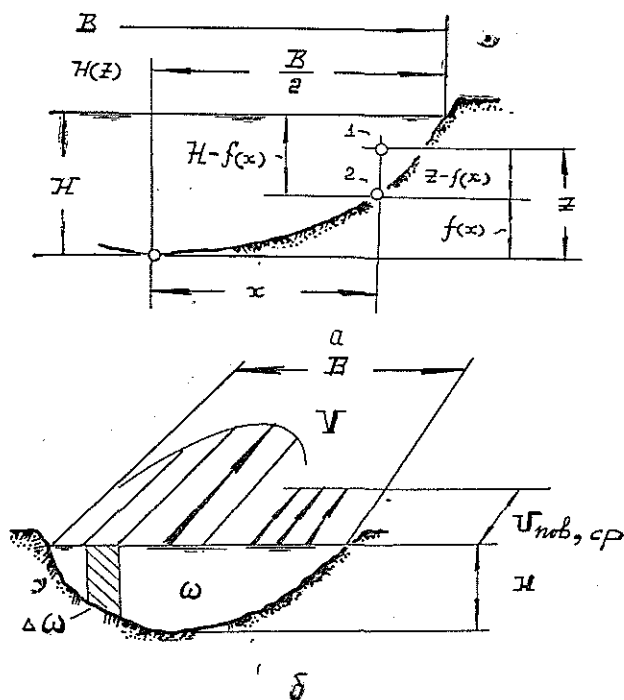


Рис. 1. Расчетная схема типизации профилей живых сечений (а) и основные морфометрические элементы открытого потока (б), используемые при приближенном измерении расхода.

Произвольные точки: 1 — потока ( $d\omega = dx dz$ ) с текущими координатами  $x$  и  $z$ ; 2 — русла с текущими координатами  $x$  и  $f(x)$ . Приближенный расход по Г. В. Железнякову

$$(\Sigma \Delta \omega = \omega) \quad Q = \omega \begin{cases} k_1 v_{\text{пов, ср}}, & k_1 \approx 0,85, \\ k_2 V, & k_2 \approx 0,65. \end{cases}$$

$$\frac{Q}{z} = \int_0^{\frac{B}{2}} dx \int_{f(x)}^H u dz, \quad (1)$$

что даст

$$Q = \left[ \frac{n}{n+1} - \Gamma(n, \varepsilon) \right] \left[ \left( \frac{m}{m+1} + \frac{V_d}{V - V_d} \right) (V - V_d) \right] BH, \quad (2)$$

а при нулевых донных скоростях

$$Q = \frac{m}{m+1} \left[ \frac{n}{n+1} - \Gamma(n, \varepsilon) \right] BHV, \quad (3)$$

где  $m$  и  $n$  — показатели степени в уравнениях, характеризующих скоростную структуру потока в вертикальных ( $m$ ) и горизонтальных ( $n$ ) плоскостях;

$\Gamma(n, \varepsilon)$  — гамма-функция, или Эйлеров интеграл второго рода, равный для открытых потоков

$$\Gamma(n, \varepsilon) = \frac{\Gamma\left(\frac{1}{n} + 1\right) \Gamma\left(\frac{1}{\varepsilon} + 1\right)}{\Gamma\left(\frac{1}{n} + \frac{1}{\varepsilon} + 2\right)}; \quad (4)$$

$\varepsilon$  — показатель степени в уравнении, описывающем профиль поперечного сечения потока [10—13],

$$f(x) = H \left(\frac{2x}{B}\right)^{1/\varepsilon}; \quad (5)$$

$$\varepsilon = \frac{H}{h} - 1; \quad (6)$$

$B$  и  $V$  — ширина русла поверху и максимальная поверхностная скорость;

$H$  и  $h$  — максимальная по фарватеру и средняя глубина, равная  $\omega/B$ ;

$\omega$  — площадь сечения.

Показатель  $\varepsilon$  является коэффициентом формы русла и равен соответственно 0; 0,50 и 1,0 для прямоугольного, параболического и треугольного сечений. Оценивая полноту формы сечения схематизированного русла, он позволяет несимметричные речные русла считать условно симметричными, а их неправильные формы «приводить» (термин акад. Н. Н. Павловского) к условно правильным.

Разделив правую и левую части уравнения (3) на произведение  $BHV$  (фиктивный расход), получим безразмерное отношение

$$\frac{m}{m+1} \left[ \frac{n}{n+1} - \Gamma(n, \varepsilon) \right] = \frac{Q}{BHV}, \quad (7)$$

которое позволяет выразить фактический расход  $Q$  через элементы его фиктивной модели:

$$Q = KBHV, \quad (8)$$

где  $K$  — коэффициент пропорциональности, меньший единицы.

С учетом уравнения неразрывности, записанного как

$$Q = [1/(\varepsilon + 1)] BHv,$$

и зависимости (6) для  $\varepsilon$ , этот коэффициент равен

$$\left. \begin{aligned} & \frac{m}{m+1} \left[ \frac{n}{n+1} - \Gamma(n, \varepsilon) \right] \\ & \frac{h}{H} \frac{v}{V} \\ & \frac{1}{\varepsilon + 1} \frac{v}{V} \end{aligned} \right\} = K. \quad (9)$$

Анализ натуральных данных, проведенный при обработке обширной гидрометрической информации из фондов Гидрометслужбы СССР [1, 6, 7], показывает, что между фактическими и фиктивными расходами, которые связывает между собой коэффициент  $K$ , существует достаточно устойчивая связь (рис. 2)

$$\frac{Q}{BHV} \approx \text{idem}; \quad (10)$$

с учетом выражений (9) для  $K$  она может быть развернута в виде приближенных равенств для отдельно взятого речного потока в каком-

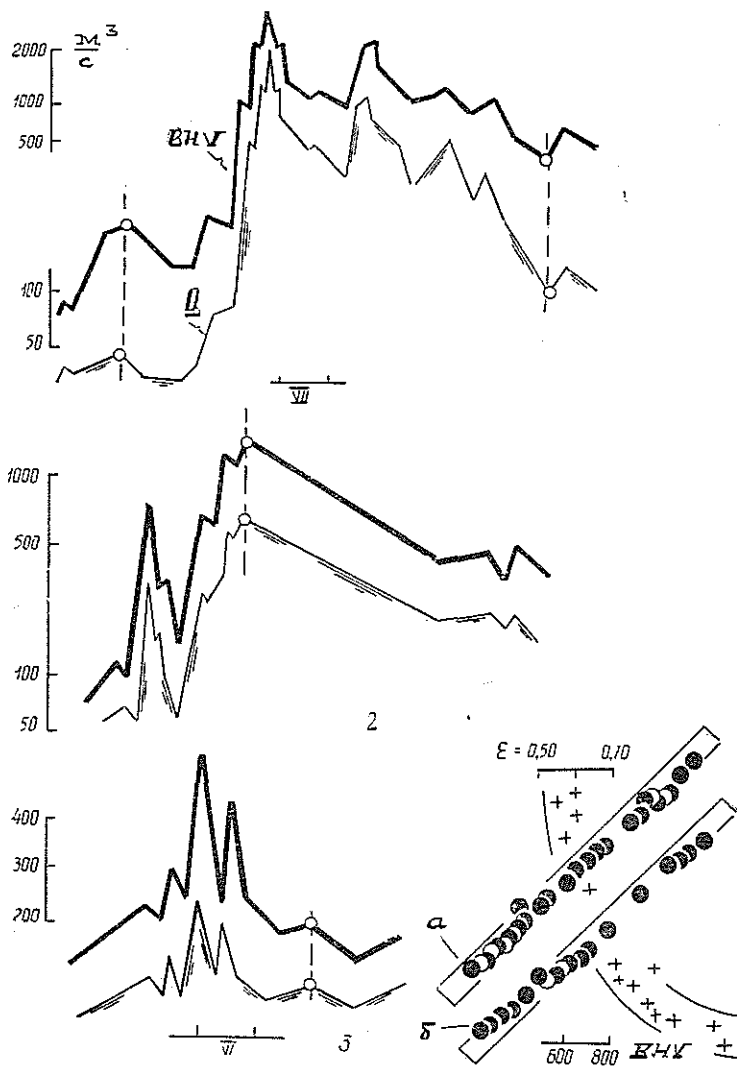


Рис. 2. Пропорциональность фактических и фиктивных расходов для потока Восточно-Сибирского региона (типовой пример).

Р. Кан — правобережный приток Енисея. Синхронность гидрографов фактических и фиктивных расходов по створам г. Канск (1), с. Ирбейское (2) и с. Улье (3) с площадями водосборов соответственно 23 000, 8710 и 3950 км<sup>2</sup> на расстоянии 230, 335 и 493 км от устья реки. Водности № 286, 284 и 282 в Кадастре-монографии ГУГМС СССР «Ресурсы поверхностных вод СССР. Т. 16. Вып. 1. Енисей» (Л., Гидрометеониздат, 1973, 724 с.). Для створа (3) в правом нижнем углу рисунка — связи фактических и фиктивных расходов в 1970 (а) и 1972 (б) гг., выраженные зависимостью (8) при  $K = 0.50$ ;  $\epsilon$  — коэффициент формы русла по (6) и его изменение (+) по расходу  $Q$ .

либо конкретном его створе. Для подтверждения свойства (10) вначале были изучены потоки в Восточной Сибири (Ангаро-Енисейский и Байкальский бассейны [11—13]), затем, для более широкого обобщения по территории и условиям протекания, исследование свойства (10) коснулось и рек в регионах, смежных справа и слева с Енисейским меридианом. Описание этих потоков сосредоточено в Гидрологических



ежегодниках Гидрометслужбы СССР — т. 4—9 за различные годы; это, например, реки Урал, Алма-Атинка, Иртыш, Обь, Чулым, Лена, Алдан, Витим, Таюра, Чара, Киренга, Индигирка, Вилюй, Амур, Зей, Бурей, Колыма, Магаданка и др. Отметим, что по существу в фиктивный расход, как и в фактический, входит величина площади живого сечения, равная прямоугольнику между урезами воды по берегам с высотой, равной максимальной глубине, поэтому с физической точки зрения связь между этими расходами вполне закономерна. А введение в эту связь корректирующего коэффициента пропорциональности  $K$  делает ее пригодной и для приближенного определения расхода. Известная в гидрологии способность открытого потока к саморегулированию, свойству вырабатывать себе русло, соотносясь с уклоном ложа, крупностью донных фракций и сопротивлением русловых макро- и микроформ, характерных для данной реки и ее бассейна, обосновывает синхронную (во времени) связь между фактическими и фиктивными расходами.

Свойство (10) позволяет с полным основанием считать безразмерное отношение фактических и фиктивных расходов новой морфометрической «постоянной», характерной для каждого конкретного створа каждой реки с довольно устойчивыми численными значениями в отношении стабильности при разных уровнях, пока поток не вышел из своего основного русла и не разлился по пойме. Поэтому представляет интерес сравнение (10) при разных наполнениях русла с другими морфометрическими критериями подобного типа, например с часто встречающимися в гидрологической литературе числами

$$M = \frac{h(gB)^{0,25}}{Q^{0,50}} \quad \text{и} \quad \Gamma = \frac{B^{0,50}}{h}$$

( $g$  — ускорение силы тяжести,  $9,81 \text{ м/с}^2$ ), введенными в [2—4].

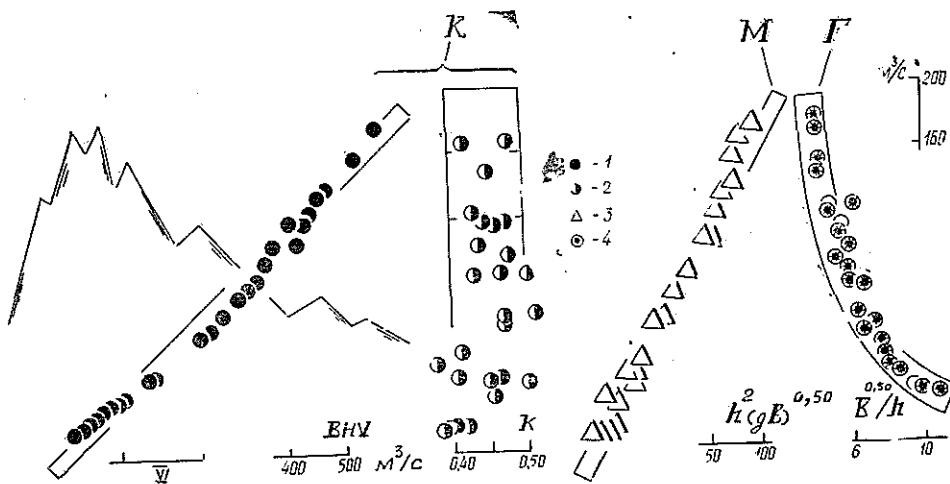


Рис. 3. Морфометрические «постоянные»  $K$ ,  $M$  и  $\Gamma$  для реки средней водности (типовой пример).

Р. Сыда — правобережный приток Енисея. Гидрологические характеристики потока и русла по створу с. Отрок на расстоянии 126 км от устья реки, площадь водосбора  $1480 \text{ км}^2$ . Водост № 238 в Кадастре-монографии ГУГМС СССР «Ресурсы поверхностных вод СССР. Т. 16. Вып. 1. Енисей». Л., Гидрометеонадат, 1973). Среднее многолетнее (1963—1970 гг.) значение наибольшего расхода  $213 \text{ м}^3/\text{с}$  с диапазоном минимальных и максимальных величин 150 и  $305 \text{ м}^3/\text{с}$ . Связи, совмещенные с гидрографом расхода в 1970 г.: 1 — пропорциональность между фактическими и фиктивными расходами; 2 — абсолютные значения коэффициента  $K$  при различных расходах; 3 — критерий  $K$ . В. Гришанина — Г. В. Железнякова; 4 — число В. Г. Глушкова.

В виде типового примера такое сравнение приведено на рис. 3, где критерий (число)  $M$  представлен в виде

$$Q = (1/M^2) \cdot h^2 (gB)^{0,50},$$

так как такая его запись позволяет судить о постоянстве аргумента  $M$  при разном наполнении русла. Графики на этом рисунке показывают, что связи  $K$  и  $M$  имеют при изменении расхода линейную аппроксимацию, вполне четко выраженную на межених, средних и выше средних горизонтах, включая пиковые уровни в весенне-летние паводки, пока поток не разлился по пойме.

В заключение отметим, что для предлагаемого приближенного способа измерения расхода необходимо знать значение корректирующего коэффициента  $K$ , характеризующего расход уменьшением его фиктивной величины до истинного (фактического) значения. Его определение элементарно ( $K = Q_{\text{факт}} / BHV$ ) и может быть легко выполнено для однотипных водных потоков на основании натуральных данных  $B$ ,  $H$  и  $V$ , содержащихся в виде стандартных измеренных величин в Гидрологических ежегодниках Гидрометслужбы СССР для конкретных рек данного географического региона или для потоков в близлежащих районах.

#### ЛИТЕРАТУРА

- [1]. Гидрологические ежегодники Главного управления гидрометслужбы при Совете Министров СССР. Т. 4—9. Бассейны рек от Каспийского моря до Тихого океана. 1960—1974. [2]. Глушков В. Г. Вопросы теории и практики гидрологических исследований. М., Изд-во АН СССР, 1961. 416 с. [3]. Гришанин К. В. Устойчивость русел рек и каналов. Л., Гидрометеониздат, 1974. 144 с. [4]. Железняков Г. В. Гидравлическое обоснование методов речной гидрометрии. М.—Л., Изд-во АН СССР, 1950. 164 с. [5]. Железняков Г. В. Теория гидрометрии. Л., Гидрометеониздат, 1976. 343 с. [6]. Основные гидрологические характеристики. Т. 12—17. ГУГМС при СМ СССР. Л., Гидрометеониздат, 1960—1974. [7]. Ресурсы поверхностных вод СССР. Т. 12—17. ГУГМС при СМ СССР. Л., Гидрометеониздат, 1960—1974. [8]. Сергутин В. Е. — ИВУЗ, «Лесной журнал», 1968, № 6, с. 62—67. [9]. Сергутин В. Е. — В сб.: Водный транспорт леса. Межвуз. сборн. научн. трудов. Вып. 1. Красноярск, 1973, с. 75—86 (СибТИ). [10]. Сергутин В. Е. — «Метеорология и гидрология», 1975, № 7, с. 76—80. [11]. Сергутин В. Е. — ИВУЗ, «Энергетика», 1976, № 6, с. 103—109. [12]. Сергутин В. Е. — ИВУЗ, «Энергетика», 1977, № 9, с. 94—101. [13]. Сергутин В. Е. — «Метеорология и гидрология», 1977, № 10, с. 93—95.

Поступила 30 декабря 1977 г.

УДК 634.0.378.5

## ИССЛЕДОВАНИЕ ПАРАМЕТРОВ СОТИРОВОЧНОГО УСТРОЙСТВА ДЛЯ БРЕВЕН

В. Я. ХАРИТОНОВ

Архангельский лесотехнический институт

Описывается устройство для сортировки бревен по размерам с поперечным перемещением их по наклонным направляющим при качении под действием собственного веса. Получены уравнения для определения скорости качения бревна по направляющим, скорости падения бревна в сортировочном отсеке и траектории движения его при падении. Даны рекомендации по определению ширины сортировочного отсека.

Для сортировки бревен по размерам на небольшое число сортовых групп может быть использовано автоматическое устройство, показанное на рис. 1.

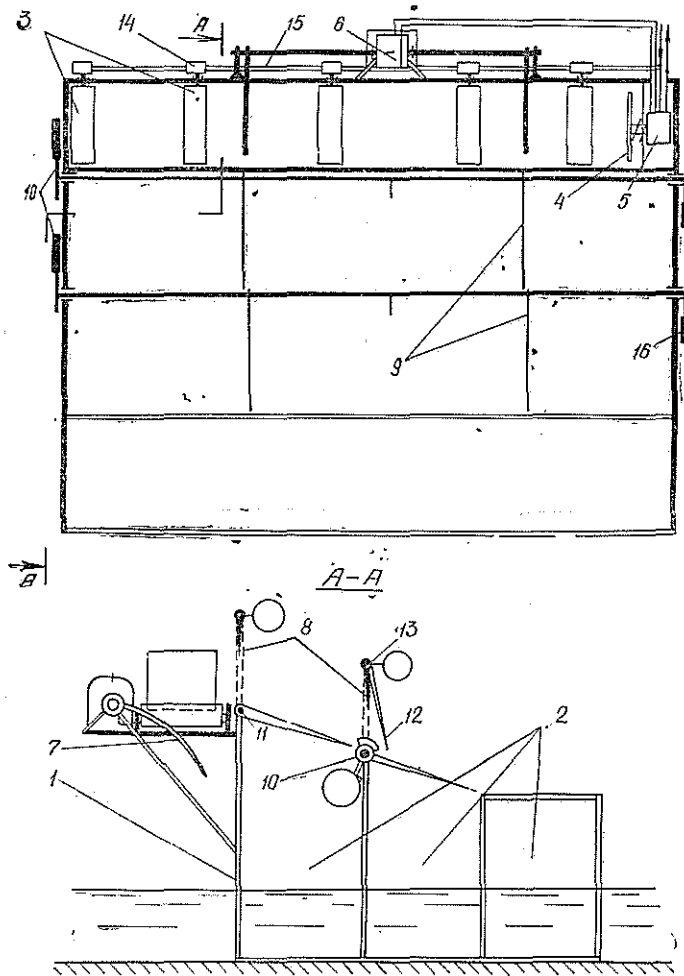


Рис. 1. Схема устройства для автоматической сортировки бревен по размерам.

Оно состоит из рамы 1, образующей сортировочные отсеки 2; подающего рольганга 3; сбрасывающего гидравлического механизма с управляющим торцовым щитом 4, распределителем 5, гидроцилиндром 6 и толкателями 7; механизма адресации 8 и шарнирно закрепленных направляющих 9 с замками.

Устройство устанавливают на суше или в бассейне после продольного транспортера. В этих случаях бревна подают на рольганг устройства в продольном направлении. Можно установить устройство в конце поперечного транспортера или рядом с продольным. Тогда обеспечивают поперечную подачу бревен.

Устройство работает следующим образом. Бревно, поступившее на подающий рольганг 3, перемещается им по направлению продольной оси до упора в щит 4, сдвигает его вместе с золотником распределителя 5, преодолевая сопротивление пружины, на величину хода золотника, при этом открывается доступ маслу от насоса к гидроцилиндру. Гидроцилиндр воздействует на толкатели, а последние — на бревно и скатывают его на направляющие 9.

На пути движения по направляющим бревно пересекает створы, на которых установлены флажки механизма адресации 8 таким образом, чтобы флажок приходился на середину бревна по длине, а вертикальное расстояние между нижним концом флажка и наклонной плоскостью верхних граней направляющих делают уменьшающимся от первого отсека к предпоследнему. Перед последним отсеком флажок и направляющие над отсеком не устанавливают.

Бревна группы наименьших диаметров из предназначенных для сортировки на данном устройстве катятся по направляющим, не задевая флажков, и попадают в последний по пути отсек. Бревна группы самых больших диаметров отклоняют первый флажок. Через систему рычагов флажок открывает замок  $10$ , удерживавший первую пару направляющих, которые под действием веса бревна отклоняются вниз, пропуская его в первый отсек. Направляющие и флажок возвращаются в исходное положение противовесами, причем направляющие автоматически закрываются на замок. Бревна промежуточных диаметров распределяются по отсекам настройкой флажков механизма адресации. Соответствующей настройкой флажков это же устройство может сортировать бревна на группы длин.

При работе устройства на воде упавшие бревна удаляются из отсеков потоком, струей потокообразователя, механическим толкателем или вручную под выгрузку, на распиловку, в сортировочный дворик. Если устройство работает на берегу, в отсеках могут формироваться накеты бревен для последующей погрузки краном или рассортированные бревна удаляют из отсеков на тележках, рольгангах, транспортерах.

Для обоснования параметров рассмотренного и аналогичных устройств необходимо знать зависимости для скоростей качения бревна по направляющим, расположенным под углом  $\alpha$  к горизонту (рис. 2), и падения его в отсеке, а также уравнение траектории падения. Скорость качения бревна получим из уравнений плоского движения [1]\*

$$m\ddot{x}_C = S - T; \quad (1)$$

$$m\rho^2\ddot{\varphi} = T\frac{d}{2} - Nf_k, \quad (2)$$

где  $m$  — масса бревна;

$\ddot{x}_C$  — ускорение центра масс бревна  $C$  по оси  $x$ ;

$S$  — проекция веса бревна  $G$  на направление движения,

$$S = G \sin \alpha; \quad (3)$$

$T$  — сила трения бревна о направляющие,

$$T = Nf; \quad (4)$$

$N$  — реакция направляющих,

$$N = G \cos \alpha; \quad (5)$$

$\rho$  — радиус инерции бревна относительно его продольной оси (полагая бревно по форме близким к круговому цилиндру,  $\rho^2 = \frac{d^2}{8}$ );

$d$  — средний диаметр бревна;

$\ddot{\varphi}$  — угловое ускорение;

$f$  и  $f_k$  — соответственно коэффициенты трения скольжения и трения качения.

Допуская отсутствие проскальзывания при качении, совместно решая уравнения (1) и (2), получим

$$m \frac{dV_C}{dt} = \frac{2}{3} \left( S - \frac{2f_k}{d} N \right), \quad (6)$$

где

$$\frac{dV_C}{dt} = \ddot{x}_C;$$

\* Здесь и далее сопротивление воздуха движению бревна не учитывается.

$V_C$  — скорость движения центра масс бревна в направлении оси  $x$ .

Решая уравнения (6), с учетом начальных условий ( $V_C = V_0$  при  $t = 0$ ), а также полагая, что

$$G = \frac{\pi d^2}{4} l \gamma, \quad (7)$$

получим

$$V_C = V_0 + \frac{2}{3} g t \left( \sin \alpha - \frac{2f_k}{d} \cos \alpha \right). \quad (8)$$

В формулах (7) и (8)  $V_0$  — скорость, приобретенная бревном в конце столкновения с рольганга;

$g$  — ускорение силы тяжести;

$t$  — текущее время с момента начала качения по направляющим;

$l$  и  $\gamma$  — длина и объемный вес бревна.

Зависимость скорости качения от пути получим используя теорему об изменении кинетической энергии

$$\frac{d}{dt} \left( \frac{mV_C^2}{2} \right) + \frac{d}{dt} \left( \frac{I_C \dot{\varphi}^2}{2} \right) = S \frac{dx}{dt} - N f_k \frac{d\varphi}{dt}, \quad (9)$$

где  $I_C$  — центральный момент инерции бревна,  $I_C = \frac{md^2}{8}$ ;

$$\dot{\varphi} = \frac{2V_C}{d}; \quad d\varphi = \frac{2dx}{d}.$$

После преобразований и интегрирования уравнения (9) с учетом начальных условий ( $V_C = V_0$ , при  $x = 0$ ) получим

$$V_C = \sqrt{V_0^2 + \frac{4}{3} g \left( \sin \alpha - \frac{2f_k}{d} \cos \alpha \right) x}. \quad (10)$$

В случае качения из состояния покоя только под действием силы тяжести ( $V_0 = 0$ )

$$V_C = \sqrt{\frac{4}{3} g \left( \sin \alpha - \frac{2f_k}{d} \cos \alpha \right) x}; \quad (11)$$

$$V_C = \frac{2}{3} g t \left( \sin \alpha - \frac{2f_k}{d} \cos \alpha \right). \quad (12)$$

Решая совместно уравнения (11) и (12), найдем зависимость пути от времени при качении:

$$x = \frac{gt^2}{3} \left( \sin \alpha - \frac{2f_k}{d} \cos \alpha \right). \quad (13)$$

Чтобы определить скорость падения в сортировочном отсеке, рассмотрим случай, когда бревно отрывается от направляющих в точке  $O$  (рис. 2) и они не мешают его дальнейшему движению под действием сил инерции и тяжести с начальной скоростью  $V_C$  под углом  $\alpha$  к горизонту.

Без учета вращения бревна дифференциальные уравнения движения будут иметь вид

$$m\ddot{x}_C = 0; \quad (14)$$

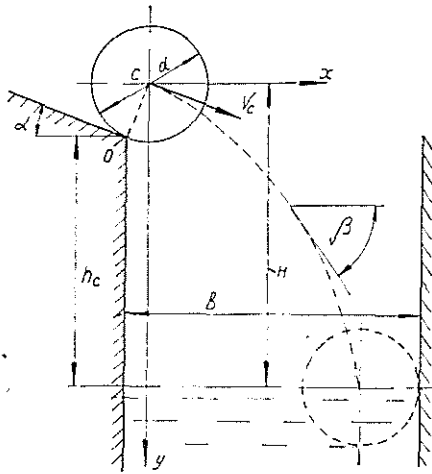


Рис. 2.

$$m\ddot{y}_C = mg. \quad (15)$$

Решая эти уравнения, получим

$$V_x = V_C \cos \alpha; \quad (16)$$

$$V_y = V_C \sin \alpha + gt. \quad (17)$$

Поскольку  $gt = \sqrt{2gy}$ , то

$$V_y = V_C \sin \alpha + \sqrt{2gy}. \quad (18)$$

Полная скорость падения

$$V = \sqrt{V_C^2 + 2gtV_C \sin \alpha + g^2 t^2} \quad (19)$$

или

$$V = \sqrt{V_C^2 + 2\sqrt{2gy} V_C \sin \alpha + 2gy}. \quad (20)$$

Угол вектора скорости с горизонтом определится из формул

$$\operatorname{tg} \beta = \operatorname{tg} \alpha + \frac{gt}{V_C \cos \alpha} \quad (21)$$

или

$$\operatorname{tg} \beta = \operatorname{tg} \alpha + \frac{\sqrt{2gy}}{V_C \cos \alpha}. \quad (22)$$

Интегрируя уравнения (16) и (17) и исключая  $t$ , получим уравнение траектории падения бревна

$$y_C = x_C \operatorname{tg} \alpha + \frac{gx_C^2}{2V_C^2 \cos^2 \alpha}. \quad (23)$$

Найденные зависимости дают возможность определить ряд кинематических и геометрических параметров, а по ним динамические и технологические расчетные величины.

Например, если конструкцией не предусмотрен удар бревна о стенку при падении, ширина сортировочного отсека должна удовлетворять условию (рис. 2):

$$b \geq x_C + \frac{d}{2} (1 + \sin \alpha), \quad (24)$$

причем  $x_C$  в случае падения на воду определяется при

$$y_C = h_C + d \cos \alpha = H, \quad (25)$$

а в случае падения на твердую поверхность — при

$$y_C = h_C - \frac{d}{2} (1 - \cos \alpha) \quad (26)$$

по формуле (23), из которой

$$x_C = \frac{V_C^2 \cos^2 \alpha}{g} \left( \sqrt{\operatorname{tg}^2 \alpha + \frac{2gy_C}{V_C^2 \cos^2 \alpha}} - \operatorname{tg} \alpha \right). \quad (27)$$

Численные значения  $\frac{2f_R}{d}$  зависят от ряда факторов. В предварительных расчетах можно использовать данные ЦНИИМЭ для неокоренных бревен перед качением их по стали насухо [2]: березы — 0,121; ели — 0,131; сосны — 0,125; осины — 0,195.

Для окоренных бревен и в движении эти величины, очевидно, меньше.

Как показывает анализ, производительность сортировочных устройств с поперечным перемещением бревен зависит, главным образом, от интенсивности подачи бревен на сортировку. Исследование работы сортировочного устройства на модели (схема на рис. 1) в масштабе 1:10 показало его надежную работоспособность.

#### ЛИТЕРАТУРА

[1]. Бать М. И., Джанелидзе Г. Ю., Кельзон А. С. Теоретическая механика в примерах и задачах. Т. 2. М., «Наука», 1972. 624 с. [2]. Грубов С. И. Коэффициенты сопротивления покоя перед скольжением и перед качением неокоренной древесины по различным материалам, — «Труды ЦНИИМЭ», Химки, 1965, № 65, с. 178—195.

Поступила 18 апреля 1977 г.

МЕХАНИЧЕСКАЯ ОБРАБОТКА ДРЕВЕСИНЫ  
И ДРЕВЕСИНОВЕДЕНИЕ

УДК 674.023

ИЗУЧЕНИЕ ПОПЕРЕЧНОГО ПИЛЕНИЯ ДРЕВЕСИНЫ  
С ОБРАЗОВАНИЕМ ЩЕПЫ ВМЕСТО ОПИЛОК

П. М. МАЗУРКИН, Г. В. КОРНИЛОВ

Марийский политехнический институт

Описаны результаты лабораторных опытов по резанию древесины поперек волокон с образованием технологической щепы вместо опилок.

Цель исследования — определить касательное и нормальное усилия резания, возникающие на одном зубе пилы при поперечной распиловке древесины со стружкообразованием. Мы изучали процесс образования стружки при взаимодействии зуба, например круглой пилы большого диаметра, с заготовкой; стружку можно использовать в качестве сырья для производства различных видов древесных плит.

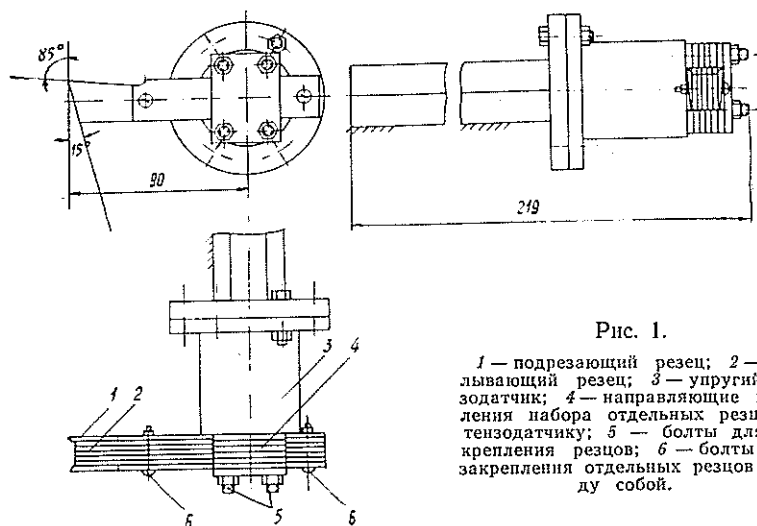


Рис. 1.

1 — подрезающий резец; 2 — скальвающий резец; 3 — упругий тензодатчик; 4 — направляющие крепления набора отдельных резцов к тензодатчику; 5 — болты для крепления резцов; 6 — болты для крепления отдельных резцов между собой.

Опыты проводили на токарно-винторезном станке модели 1624. Расчетная схема резания описана в работе [4]. Схема конструкции составного резца, выполненного в виде зуба инструмента [5], показана на рис. 1.

Резцы-зубья изготовляли из полотна плоской круглой пилы толщиной 2,5 мм с одинаковыми угловыми параметрами. В опытах использовали два подрезающих и до пяти скальвающих резцов, составленных совместно. Изменяя количество скальвающих резцов, получали ширину зуба от 7,5 до 17,5 мм. Во всех наблюдениях подача на зуб равна 0,1 мм.

Для опытов заготавливали чураки из свежесрубленной березы влажностью 50—60%, длиной 25—30 см, обточенные до диаметра 320 мм.

Усилие резания регистрировали с помощью тензометрической аппаратуры [4]. Опыты проводили по методике рационального планирования экспериментов при использовании латинского квадрата, включающего при пяти уровнях четыре факто-



ра [3]: 1) превышение подрезающих резцов над скалывающими  $a$ —0; 0,5; 1,0; 1,5; 2,0 мм; 2) скорость инструмента  $v$ —2,6; 5,4; 7,6; 10,6; 15,1 м/с; 3) ширина пропила  $b$ —7,5; 10,0; 12,5; 15,0; 17,5 мм; 4) угол заострения подрезающего резца  $\varphi$ —75; 65; 55; 45; 35°.

Повторность наблюдений равнялась 7—10 для обеспечения точности экспериментов до 5%. Результаты статистического и дисперсионного анализов показали достоверность проведенных экспериментов. Для касательного усилия коэффициент вариации изменялся в пределах 4,2—12,5%, показатель точности—1,1—4,2%; для нормального усилия соответственно—1,8—11,6% и 0,8—3,3%.

Результаты приведены на рис. 2 в виде графиков, по которым на основе корреляционного анализа с помощью ЭВМ «М-22» получены уравнения связи. Коэффициенты регрессии были определены на основе метода наименьших квадратов. Для аппроксимации результатов по средним арифметическим значениям общее регрессионное уравнение с четырьмя факторами было принято как произведение частных уравнений для отдельных факторов [1].

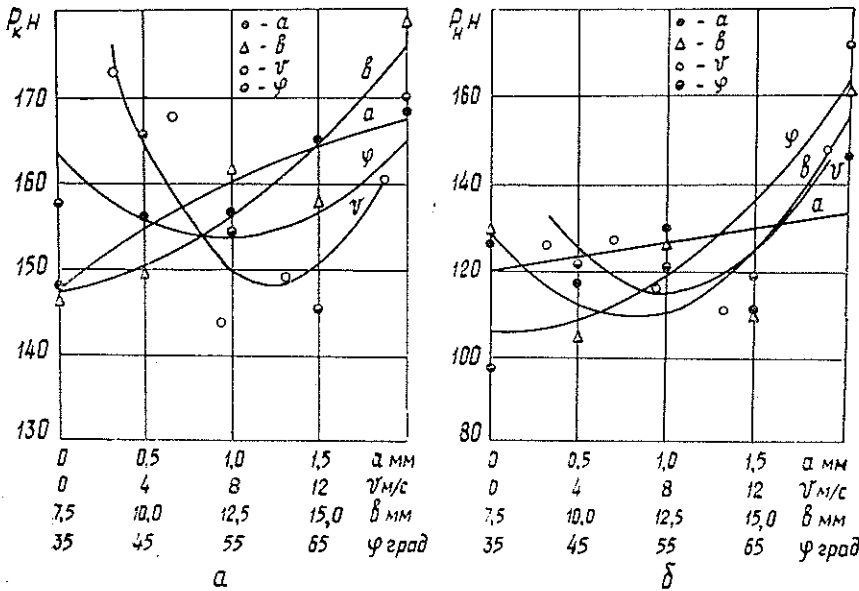


Рис. 2. Графики изменения касательного (а) и нормального (б) усилий резания в зависимости от четырех факторов.

Касательное усилие  $P_k$ , Н, определяется уравнением

$$P_k = (1 + a)^{0,11403} b^{0,285} (1,246 - 0,0618v + 0,00305v^2) \times (76,32 - 0,36\varphi + 0,00434\varphi^2); \quad (1)$$

средняя ошибка расхождения  $\Delta = 2,1\%$ . Составляющие  $P_k$  выражаются формулами (рис. 2, а)

$$P_{k_1} = 147,78(1 + a)^{0,11403}; \quad \Delta_1 = 0,82\%; \quad (2)$$

$$P_{k_2} = 197,85 - 9,815v + 0,4843v^2; \quad \Delta_2 = 2,57\%; \quad (3)$$

$$P_{k_3} = 76,886b^{0,285}; \quad \Delta_3 = 2,38\%; \quad (4)$$

$$P_{\kappa_1} = 227,6 - 2,7286\varphi + 0,0252\varphi^2; \quad \Delta_4 = 4,14\%. \quad (5)$$

Нормальное усилие  $P_n$ , Н, определяют из выражения

$$P_n = (6,9a + 119,5)(1,198 - 0,0722v + 0,00458v^2) \times \\ \times (2,183 - 0,2323b + 0,0102b^2)(1,266 - 0,0233\varphi + 0,000315\varphi^2); \quad (6)$$

средняя ошибка расхождения  $\Delta = 4,2\%$ . Составляющие  $P_n$  определяются по уравнениям (рис. 2, б)

$$P_{n_1} = 6,9a + 119,5; \quad \Delta_1 = 7,65\%; \quad (7)$$

$$P_{n_2} = 151,5 - 9,131v + 0,5793v^2; \quad \Delta_2 = 4,62\%; \quad (8)$$

$$P_{n_3} = 275,9 - 29,365b + 1,289b^2; \quad \Delta_3 = 7,32\%; \quad (9)$$

$$P_{n_4} = 160,0 - 2,948\varphi + 0,03986\varphi^2; \quad \Delta_4 = 8,12\%. \quad (10)$$

Мы получили расчетные уравнения усилия резания  $P$ , Н, и угла наклона между касательной силой и усилием резания,  $\lambda$ , град, для заданных интервалов изменения исследуемых факторов

$$P = (0,959 - 0,0377a + 0,0522a^2)(246,9 - 13,21v + 0,7518v^2)(1,249 - \\ - 0,0702b + 0,00372b^2)(1,179 - 0,0134\varphi + 0,0173\varphi^2); \quad (11)$$

$$\lambda = (1,074 - 0,235a + 0,108a^2)e^{0,006734\varphi}(26,23 - 0,374v + \\ + 0,0348v^2)(2,34 - 0,23b + 0,00912b^2). \quad (12)$$

Анализ полученных зависимостей показывает, что с увеличением  $a$  касательное усилие возрастает. Повышается также и нормальное усилие, имея минимум при  $a = 0,5 \div 1,5$  мм. В итоге общее усилие резания возрастает. При этом угол  $\lambda$  вначале уменьшается до  $a = 1,5$  мм, а затем резко увеличивается.

С повышением скорости инструмента  $v$  касательное усилие вначале уменьшается, а затем возрастает. Нормальное усилие изменяется по такой же закономерности. Параметры  $P$  и  $\lambda$  имеют аналогичную тенденцию изменения. Оптимальное значение  $v$  для принятого интервала изменения составляет 8—10 м/с. Эта величина согласуется с рекомендациями по дроблению древесины.

С увеличением ширины пропила  $b$  касательное усилие возрастает, а нормальное имеет минимум при  $b = 10 \div 15$  мм. Для получения высококачественной дробленки желательно уменьшить толщину подрезающего резца. Кромки щепы при этом слабо деформируются.

При изменении появляются два минимума: при 35 и 55°. Аналогичная закономерность ранее была выявлена при бесстружечном резании древесины [4]. При  $\varphi = 65^\circ$  наблюдается более глубокий минимум усилия резания.

В итоге для исследованных интервалов и принятой конструкции мы получили следующие оптимальные значения параметров:  $a = 1,0 \div 1,5$  мм;  $v = 8 \div 10$  м/с;  $b = 15$  мм;  $\varphi = 55-65^\circ$ .

С учетом известной зависимости [2] для определения удельной работы резания нами выведено следующее уравнение:

$$K = 0,707 \cdot 10^7 b^{-0,715} c^{-0,15} (1,246 - 0,0618v + \\ + 0,00305v^2)(76,32 - 0,36\varphi + 0,00434\varphi^2) \text{ Дж/м}^3. \quad (13)$$

Выражение (13) пригодно для расчета энергосиловых параметров режима раскряжевки круглыми пилами, имеющими комбинированные зубья [5], при скоростях инструмента от 2 до 15 м/с.

Для изучения качественного образования стружки мы изготовили цельный комбинированный резец, имеющий следующие параметры: задний угол —  $25^\circ$ ; угол резания подрезающих элементов —  $82^\circ$ ; угол резания скальвающей части —  $70^\circ$ ; ширина резца по вершинам подрезающих элементов — 30 мм, превышение подрезающих элементов над скальвающей частью резца — 1,5 мм; угол поднутрения вдоль резца —  $5^\circ$  и поперек резца —  $8^\circ$ ; угол заострения подрезающих элементов —  $18^\circ$ ; длина режущей части — 40 мм; радиус вращения резца — 155 мм. Резец закрепляли на шпинделе горизонтального фрезерного станка модели 6Н81Г [3], заготовку прямоугольного сечения  $230 \times 230$  мм древесины ели влажностью 50—60% — на суппорте станка. Угол встречи скоростей подачи и инструмента —  $90^\circ$ .

Мощность на резание регистрировали ваттметром типа Н-348. При подаче на зуб  $s = 0,6$  мм получены следующие значения удельной работы резания в зависимости от скорости движения инструмента:

$v$ м/с	1,3	1,6	6,1	7,9	9,5	15,2	19,7	24,2	29,0
$K \times 10^7$ Дж/м <sup>3</sup>	6,3	4,8	4,0	3,3	2,9	2,6	2,3	2,9	3,4

Результаты поискового эксперимента показали, что при  $s = \text{const}$  оптимальное значение скорости инструмента для исследованного интервала находится в пределах 15—20 м/с. Такое значение соответствует циклическому резанию, более отвечающему реальному процессу поперечной распиловки. Оптимальные значения  $v = 8 \div 10$  м/с, полученные на токарном станке, соответствуют непрерывному процессу резания.

При постоянной скорости инструмента  $v = 6,1$  м/с проведен эксперимент по изучению влияния подачи на зуб. Получены следующие значения удельной работы:

$s$ мм	0,12	0,15	0,32	0,61	0,78	0,95	1,13	1,57	1,92	2,36
$K \times 10^7$ Дж/м <sup>3</sup>	6,7	6,2	4,0	3,7	3,6	3,3	3,5	3,9	4,0	4,8

Вначале величина  $K$  с увеличением подачи на зуб уменьшается до  $s \approx 1,0$  мм, а затем возрастает. В последнем случае все большее влияние оказывает скальвающий элемент резца. Эксперимент показал, что для комбинированного зуба имеется оптимальное значение подачи на зуб (при  $a = 1,5$  мм  $s \approx 1$  мм), превышение которого ведет к изменению условий стружкообразования и повышению энергозатрат.

### Выводы

1. Исследования показали возможность совмещения технологических процессов раскряжевки и дробления при скоростях инструмента 1—30 м/с круглыми пилами, имеющими комбинированные зубья толщиной 7,5—30 мм.

2. Оптимальные значения скорости инструмента для непрерывного поперечного резания находятся в пределах 8—10 м/с, а для прерывистого резания — в пределах 15—20 м/с.

3. Оптимальное значение угла заострения подрезающих элементов зуба находится в интервале  $50$ — $65^\circ$  по условию энергозатрат. Качество технологической щепы улучшается с уменьшением этого угла.

4. Для комбинированного зуба и принятых интервалов изменения исследуемых параметров наилучшее значение превышения подрезающих элементов над скальвающим равно 1,0 мм.

## ЛИТЕРАТУРА

- [1]. Гильмсон С. Д. Резец к пиле по дереву. Авт. свид. № 222652. — Бюл. «Открытия, изобретения, промышленные образцы, товарные знаки», 1968, № 23.  
 [2]. Грудачев В. Г., Мазуркин П. М. Алгоритм поиска эмпирической зависимости удельной работы резания древесины. — В кн.: Материалы конференции по итогам научно-исследовательских работ за 1974 год. Технические науки. Йошкар-Ола, 1975, с. 23—25. [3]. Залегаллер Б. Г. Расчет пыльных механизмов раскривочных установок. Л., Изд-во Ленингр. ун-та, 1974. 180 с. [4]. Мазуркин П. М., Грудачев В. Г., Печенкин В. Е. К изучению продольного бесстружечного резания древесины. — ИВУЗ, «Лесной журнал», 1974, № 5, с. 93—96. [5]. Мазуркин П. М. Исследование усилий при продольном бесстружечном резании древесины. — ИВУЗ, «Лесной журнал», 1975, № 5, с. 86—89.

Поступила 30 мая 1977 г.

УДК 634.0.812

## ИЗМЕНЕНИЕ ПЛОТНОСТИ ДРЕВЕСИНЫ В ПРОЦЕССЕ ПРЕССОВАНИЯ И СУШКИ

*В. В. РЕШЕТНЯК, Л. С. ЛОЗОВАЯ*

Воронежский лесотехнический институт

Приведена номограмма, дающая возможность определить плотность спрессованной древесины березы при наиболее распространенном режиме прессования.

Физико-механические свойства прессованной древесины зависят от ее плотности, которая в свою очередь зависит от режимов прессования.

Плотность прессованной  $\rho$  и натуральной  $\rho_0$  древесины при одинаковой влажности связана известным соотношением

$$\rho = \rho_0 (1 + i_0). \quad (1)$$

В процессе сушки влажность прессованной древесины уменьшается, изменяются ее плотность и размеры. При сушке влажность на поверхности материала быстро становится ниже точки насыщения волокон и поверхностные слои быстро начинают усыхать. Во внутренней зоне материала усушка начинается значительно позднее. Неравномерное распространение влажности по толщине материала — основная причина развития напряженного состояния в древесине, упруго-пластические характеристики которой зависят от температуры и влажности.

Изменение размеров и плотности прессованной древесины при сушке в среде нагретого воздуха (паровоздушная смесь) в значительной степени зависит от характера распределения и изменения влажности по сечению материала.

При отсутствии ограничений для свободного деформирования относительная влажностная деформация прессованной древесины равна произведению коэффициента усушки на изменение гигроскопической влажности. Б. И. Огарков [1] показал, что при наличии связей, например, слоев сортимента, изменяющих свою влажность на различные величины, влажностная деформация слоя материала (усадка) равна разности между свободной влажностной деформацией слоя и задержанной деформацией, обусловленной наличием связей данного слоя с другими слоями. Следовательно,

$$\epsilon_{ус} = \epsilon_{св} - \epsilon_з, \quad (2)$$

где  $\epsilon_{ус}$  — деформация усушки;  
 $\epsilon_{св}$  — свободная деформация;  
 $\epsilon_3$  — задержанная деформация.

В прессованной древесине наряду с усушкой, которая начинается с влажности ниже предела гигроскопичности  $W_{пр}$ , происходит упругая деформация (распрессовка). Влажность древесины, при которой упругая деформация и деформация усушки равны, называется критической.

Усадка в прессованной древесине начинается лишь после снижения влажности ниже критической. В начальной стадии процесса сушки при достижении поверхностными слоями материала критической влажности начинается их усадка. В этот период взаимодействие внутренних и наружных слоев прессованной древесины отличается от взаимодействия слоев натуральной древесины тем, что вместо деформаций сжатия внутренней зоны здесь происходит некоторое увеличение номинальных размеров. В дальнейшем при достижении внутренними слоями критической влажности начинается усадка образца.

При выводе формулы определения плотности прессованной древесины мы вместо действительной критической приняли условную среднюю критическую влажность  $W_{кр}$ , начиная с которой усадка образца прямо пропорциональна коэффициенту усушки прессованной древесины, взятому из таблиц [2].

Конечная влажность прессованной древесины  $W_k$  — также средняя по сечению образца. В этом случае усадка древесины

$$\epsilon_{ус} = k (W_{кр} - W_k). \quad (3)$$

Упрощенно изменение плотности древесины в процессе уплотнения и последующей сушки можно представить в следующем виде.

1. Материал с начальной влажностью  $W_n$  уплотняется на степень  $i_0$ ; при этом влажность предполагается неизменной, а плотность увеличивается с возрастанием степени уплотнения.

2. Спрессованная древесина подвергается сушке. При изменении влажности материала в диапазоне от начальной до критической плотность древесины уменьшается в прямой зависимости от количества удаленной влаги. В этот период упругая деформация превышает деформацию усушки.

3. При высушивании материала ниже критической влажности происходит его усадка и плотность изменяется в соответствии с величиной коэффициента объемной усушки древесины и количества удаленной влаги.

На основании вышеизложенного нами аналитически выведена зависимость между плотностью прессованной и натуральной древесины и степенью ее уплотнения. Уравнения для начальной  $W_{нач}$  и критической  $W_{кр}$  влажности древесины имеют вид

$$W_{нач} = \frac{P_{нач} - P_0}{P_0} \cdot 100\%; \quad (4)$$

$$W_{кр} = \frac{P_{кр} - P_0}{P_0} \cdot 100\%, \quad (5)$$

где  $P_{нач}$  — начальный вес древесины, г;  
 $P_0$  — вес в абс. сухом состоянии, г;  
 $P_{кр}$  — вес при влажности  $W_{кр}$ , г.

$$W_{\text{нач}} - W_{\text{кр}} = \frac{P_{\text{нач}} - P_{\text{кр}}}{P_0} \cdot 100, \quad (6)$$

$$\text{где } P_0 = \frac{P_{\text{нач}} \cdot 100}{100 + W_{\text{нач}}}, \quad (7)$$

тогда

$$W_{\text{нач}} - W_{\text{кр}} = \frac{(P_{\text{нач}} - P_{\text{кр}})(100 + W_{\text{нач}})}{P_{\text{нач}}}; \quad (8)$$

$$P_{\text{нач}} - P_{\text{кр}} = \frac{(W_{\text{нач}} - W_{\text{кр}}) P_{\text{нач}}}{100 + W_{\text{нач}}}; \quad (9)$$

$$P_{\text{кр}} = P_{\text{нач}} \left( 1 - \frac{W_{\text{нач}} - W_{\text{кр}}}{100 + W_{\text{нач}}} \right). \quad (10)$$

Последнее равенство можно выразить через плотность, так как объем древесины при изменении влажности от начальной до критической не изменяется, т. е. при  $P \leq P_{\text{кр}} \quad v = \text{const}$

$$\rho_{\text{кр}} = \rho_{\text{нач}} \left( 1 - \frac{W_{\text{нач}} - W_{\text{кр}}}{100 + W_{\text{нач}}} \right), \quad (11)$$

здесь  $\rho_{\text{кр}}$  — критическая плотность древесины при влажности  $W_{\text{кр}}$ , кг/м<sup>3</sup>;

$\rho_{\text{нач}}$  — начальная плотность древесины при влажности  $W_{\text{нач}}$ , кг/м<sup>3</sup>.

Вес древесины, высушенной до конечной влажности  $W_{\text{к}}$ , связан с весом, при котором начинается усадка, следующей зависимостью

$$P_{\text{нач}} = P_{\text{кр}} \left( 1 - \frac{W_{\text{кр}} - W_{\text{к}}}{100 + W_{\text{к}}} \right) \quad (12)$$

или

$$\rho_{\text{к}} v_{\text{к}} = \rho_{\text{кр}} v_{\text{кр}} \left( 1 - \frac{W_{\text{кр}} - W_{\text{к}}}{100 + W_{\text{кр}}} \right), \quad (13)$$

где  $W_{\text{к}}$  — конечная влажность, %;

$\rho_{\text{к}}$  — конечная плотность при  $W_{\text{к}}$ , кг/м<sup>3</sup>;

$v_{\text{к}}$  — объем при  $W_{\text{к}}$ , м<sup>3</sup>;

$v_{\text{кр}}$  — объем при влажности  $W_{\text{кр}}$ , м<sup>3</sup>.

Коэффициент объемной усушки  $k_{\text{об}}$  при изменении влажности в пределах от  $W_{\text{кр}}$  до  $W_{\text{к}}$

$$k_{\text{об}} = \frac{(v_{\text{кр}} - v_{\text{к}}) \cdot 100}{v_{\text{к}} (W_{\text{кр}} - W_{\text{к}})}; \quad (14)$$

$$v_{\text{кр}} = v_{\text{к}} [1 + 0,01 k_{\text{об}} (W_{\text{кр}} - W_{\text{к}})]; \quad (15)$$

подставляя выражение (15) в равенство (13) и упрощая, получим

$$\rho_{\text{к}} = \frac{\rho_{\text{кр}} [1 + 0,01 k_{\text{об}} (W_{\text{кр}} - W_{\text{к}})] \cdot (100 + W_{\text{к}})}{100 + W_{\text{кр}}}; \quad (16)$$

подставляя значение  $\rho_{\text{кр}}$  из уравнения (11) в равенство (16), имеем

$$\rho_K = \rho_{\text{нач}} \frac{(100 + W_K) [1 + 0,01 k_{\text{об}} (W_{\text{кр}} - W_K)]}{100 + W_{\text{нач}}}; \quad (17)$$

с учетом степени уплотнения  $i_0$  окончательно получим

$$\rho_K = \rho_{\text{нач}} \frac{(100 + W_K) [1 + 0,01 k_{\text{об}} W_{\text{кр}} - W_K] (1 + i_0)}{100 + W_{\text{нач}}}. \quad (18)$$

Для вычисления плотности прессованной древесины по формуле (18) необходимо знать коэффициент объемной усушки и критическую влажность. Коэффициент объемной усушки прессованной древесины берут из таблиц, составленных Т. В. Огарковой [2]. Критическая влажность зависит от степени влагостойкости (стабильности) полученной прессованной древесины и, следовательно, от режимов прессования. С увеличением температуры термообработки (сушки) прессованной древесины, ее плотности и продолжительности термообработки повышаются влагостойкость и критическая влажность. Последнюю определяют по экспериментальным данным, используя уравнение (18).

На рис. 1 приведены значения критической влажности в зависимости от начальной плотности древесины березы при толщине загото-

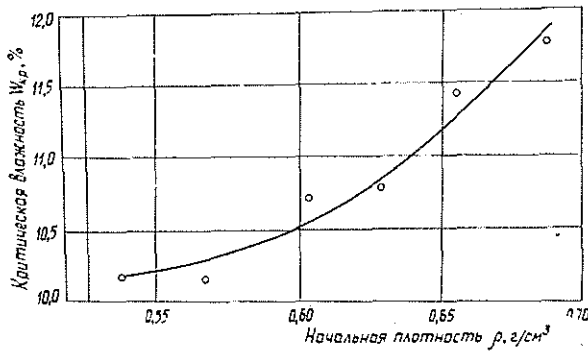


Рис. 1.

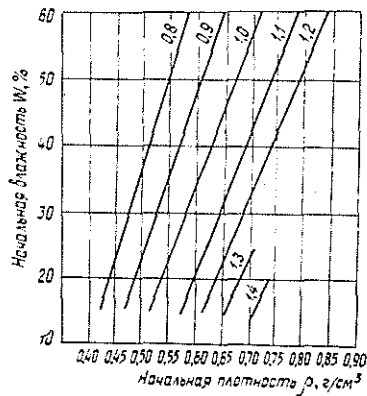


Рис. 2.

вок 100—120 мм, степени уплотнения  $i_0 = 1,0$  и температуре сушки 120—130°C.

На рис. 2 дана номограмма для определения плотности прессованной древесины в зависимости от начальной влажности при конечной влажности  $W_k = 6\%$ , степени уплотнения  $i_0 = 1,0$  для заготовок березы толщиной 100—120 мм, высушиваемых при температуре 120—130°C.

#### ЛИТЕРАТУРА

[1]. Огарков Б. И. Влияние ползучести и релаксации напряжений на влажностные напряжения при сушке прессованной древесины. — Сушка древесины. Труды Всесоюзной юбилейной научно-технической конференции. Архангельск, 1968. [2]. Огаркова Т. В. Влияние влаги на коэффициент усушки древесины. — Сушка древесины. Труды Всесоюзной юбилейной научно-технической конференции. Архангельск, 1968.

Поступила 29 декабря 1977 г.

УДК 674.812 : 621.822

## ИСПОЛЬЗОВАНИЕ НЕДЕЛОВОЙ ДРЕВЕСИНЫ ДЛЯ ПРОИЗВОДСТВА ПОДШИПНИКОВ СКОЛЬЖЕНИЯ

В. А. ШАМАЕВ

Воронежский лесотехнический институт

Дана подробная характеристика физико-механических свойств модифицированной древесины осины, березы и сосны трех плотностей. Показано, что модификация древесины мочевиной позволяет использовать для контурного прессования древесину кольцесосудистых пород.

При изготовлении подшипников скольжения используют преимущественно технологию контурного прессования с предварительным пропариванием [3]. Однако материал, получаемый этим способом, имеет ряд недостатков, в первую очередь, низкую формоустойчивость в среде с переменной влажностью и температурой; кроме того, прессованию с пропариванием поддается преимущественно древесина лиственных пород.

В Проблемной научно-исследовательской лаборатории прессованной древесины ВЛТИ разработана технология получения модифицированной мочевиной древесины применительно к изготовлению подшипников скольжения [1, 2, 4].

Для модифицирования используют древесину мягких лиственных пород (осина, ольха, береза) и хвойных (сосна). В качестве модификатора применяют дешевый и нетоксичный реагент — мочевины техническую по ГОСТу 2084—63. Поскольку получение прессованной древесины из мягких лиственных пород отработано, основное внимание было уделено уплотнению сосновой древесины в виде жердей.

До сих пор сосновую древесину для контурного прессования использовать не удавалось, поскольку сосна в виде жердей имеет плотность 350—400 кг/м<sup>3</sup>, а для получения плотности материала не ниже 1150 кг/м<sup>3</sup> необходима степень уплотнения 65—70%. Спрессовать древесину на такую степень практически очень трудно. Кроме того, при уплотнении сосновой древесины вследствие большого различия в плотности ранней и поздней зон происходит расслоение по годичным слоям.

Пропиткой древесины сосны растворами мочевины удается получить материал, пригодный для прессования. Мочевина в древесине располагается в ранней зоне годичных слоев, в результате чего разница в плотности ранних и поздних зон уменьшается, древесина становится более изотропным материалом и не расслаивается по годичным слоям при прессовании. После пропитки плотность древесины повышается



до 500—550 кг/м<sup>3</sup>, а для уплотнения до плотности 1150 кг/м<sup>3</sup> необходима степень прессования 53—57%, что практически вполне осуществимо.

В табл. 1 приведены основные физико-механические свойства модифицированной мочевиной древесины осины, березы и сосны для различных плотностей. Испытания проводили по ГОСТу 9629—74. Как видно из данных табл. 1, модифицированная древесина обладает высокими прочностными свойствами и небольшой формоизменяемостью.

Таблица 1

Показатели	Численные значения показателей для древесины								
	березы			осины			сосны		
	при плотности, кг/м <sup>3</sup> ,								
	800	1000	1200	800	1000	1200	800	1000	1200
Влажность, %	5,2	5,0	4,8	5,4	5,2	5,0	4,9	9,4	4,2
Предел прочности при сжатии вдоль волокон, МПа	110	130	160	100	120	150	100	120	150
Предел прочности при статическом изгибе, МПа	170	220	270	150	200	250	140	190	240
Твердость, МПа, торцовая поперек волокон	95	102	166	90	98	150	90	190	160
	81	86	110	73	80	100	72	79	100
Модуль упругости при сжатии вдоль волокон, ГПа	20,0	29,6	37,0	24,9	34,1	42,6	18,2	23,5	30,1
Предел прочности при скалывании вдоль волокон, МПа	11,2	14,7	16,5	10,4	13,2	15,1	10,0	13,0	15,1
Водопоглощение, % за 2 ч	13,1	6,0	3,8	13,4	6,3	4,2	12,2	5,3	3,0
	68	52,2	45	72	53,1	46	60,0	48,0	41,3
Влагопоглощение, % за 1 сут	6,0	4,0	2,1	6,2	4,1	2,3	5,0	3,7	1,8
	18,8	17,6	14,9	19,2	18,0	15,4	18,0	17,0	14,5
Разбухание в направлении прессования, % при водопоглощении за 2 ч	3,2	2,1	1,4	3,2	2,1	1,4	3,0	1,8	1,2
	28,1	33,4	35,6	28,1	33,4	35,6	26,0	31,2	33,8
при влагопоглощении за 1 сут	3,0	1,7	0,5	3,2	1,8	0,6	2,0	1,5	0,4
	15,9	17,1	18,3	16,8	17,4	18,8	15,0	16,3	18,0
Силы разбухания в направлении прессования, МПа	3,5	4,2	5,5	4,0	4,6	6,0	2,5	3,2	4,3
Ударная вязкость × 10 <sup>4</sup> , Дж/м <sup>2</sup>	7	9	11	6,5	8,5	10,5	5,5	7,5	9,5
Истираемость, %	18,0	12,0	8,3	19,5	14,0	11,5	17,5	8,8	7,4

Исследования показали, что стабилизация формы достигается в результате термической обработки модифицированной древесины, в процессе которой происходит химическое взаимодействие мочевины с компонентами древесины с образованием гидрофобных продуктов. Наиболее стабильна из исследуемых пород древесина сосны. Поэтому с

целью рационального использования неделовой древесины в качестве основного сырья для выпуска втулок из модифицированной древесины рекомендованы сосновые жерди наряду с осиновыми и ольховыми.

Производственная технология изготовления втулок из модифицированной древесины включает в себя следующие последовательные операции.

1. Изготовление заготовок из жердей. Черновые заготовки получают путем раскроя жердей диаметром 6—13 см на отрезки длиной 200 мм на станке ЦП-2 с обязательным удалением мутовочных зон. Затем на сверлильном станке типа 2135 заготовки обрабатывают по наружному и внутреннему диаметрам.

2. Пропитка заготовок. Заготовки из свежесрубленной древесины имеют влажность 70—80%. С этой влажностью они поступают в пропиточные ванны, вначале горячую, затем холодную. Горячая ванна оборудована нагревателями и предназначена для проварки заготовок в растворе мочевины при температуре 90—95°C в течение 2 ч. Концентрация раствора мочевины в горячей ванне равна 30%, в холодной — 25%. Заготовки в металлическом контейнере загружают в горячую ванну, а затем в холодную. Пропитка в холодной ванне длится 20—24 ч при температуре 17—19°C.

3. Сушка пропитанных заготовок. После пропитки заготовки имеют влажность 90—110%. Их высушивают до влажности 15—20% в аэродинамической сушильной камере типа ПАП. Общее время сушки — 30 ч.

4. Прессование пропиточных заготовок. Заготовки прессуются на гидравлическом прессе П457А. Перед прессованием их прогревают в сушильной камере до 120—125°C в течение 20 мин для придания им наибольшей пластичности. Прогретые заготовки смазывают внутри и снаружи смесью масла с графитом и запрессовывают через переходной конус в цилиндрические приемники, после чего внутри заготовки запрессовывают пуансон.

5. Сушка прессованных заготовок. Прессованные заготовки влажностью 10—12% поступают в сушильную камеру, где их высушивают до влажности 3—5% при температуре 120—125°C в течение 3 ч.

6. Выпрессовка заготовок из прессформы. Вынутые из сушильной камеры заготовки охлаждают до 90—95°C, после чего их выпрессовывают на выпрессовочном станке специальной конструкции.

7. Обработка в размер. После выпрессовки заготовки имеют температуру 90°C, поэтому их охлаждают до комнатной температуры и затем растачивают под размер.

8. Покрытие втулок петролатумом. Для предохранения втулок от изменения их размеров в процессе транспортировки потребителю и лучшей приработки в начальный период эксплуатации применяют поверхностное покрытие втулок петролатумом. Для этого контейнер с готовыми втулками погружают на 10—15 мин в ванну с расплавленным петролатумом.

Разработанная технология внедрена в цехе прессования древесины Павловского мехлесхоза Воронежской обл. Из 1 м<sup>3</sup> сосновых жердей получают 200 шт. втулок размером 75×44×90 мм стоимостью 80 к. за штуку. Стоимость сосновых жердей по прейскуранту 07—03 равна 15 р. за 1 м<sup>3</sup>. Коэффициент переработки жердей на втулки из модифицированной древесины

$$K_{эф} = \frac{210 \cdot 0,80}{15} \approx 10.$$

Применение новой технологии в условиях лесхоза позволило выпустить продукцию, стоимость которой в 10 раз превышает стоимость исходного сырья, что является одним из путей рационального и комплексного использования неделовой древесины мягких лиственных и хвойных пород.

## ЛИТЕРАТУРА

[1]. Ельков Л. В., Шамаев В. А. Рациональное использование мелкотоварной древесины для производства втулок и паркета. — Материалы конференции «Рациональное и комплексное использование древесины в деревообрабатывающей промышленности», 1974, с. 234—236. [2]. Ельков Л. В., Шамаев В. А., Хатуцев Д. И., Бочаров В. И. Подшипники скольжения из модифицированной древесины. Воронеж, 1976. 4 с. (ЦНТИ. Информ. листок. № 291). [3]. Прессованная древесина в народном хозяйстве. Под ред. П. Н. Хухрянского. М., ГосИНТИ, 1964. 248 с. [4]. Шамаев В. А., Шамаев А. А. Эффективное использование мелкотоварной древесины мягколиственных и хвойных пород. Воронеж, 1977. 4 с. (ЦНТИ. Информ. листок. № 152).

Поступила 29 марта 1977 г.

УДК 674.812

## ТЕОРЕТИЧЕСКОЕ ОПРЕДЕЛЕНИЕ НАПРЯЖЕНИЙ И ОПАСНЫХ ТОЧЕК В ОБРАЗЦЕ ИЗ КЛЕЕНОЙ ПРЕССОВАННОЙ ДРЕВЕСИНЫ

Л. В. БОРЦОВА

Воронежский лесотехнический институт

Определены напряжения и опасные точки в плоскости склеивания образца на скалывание вдоль волокон (из прессованной древесины марки ДПО) при действии на него статической нагрузки. Определено также изменение состояния части образца («стержня») в зависимости от различных сочетаний напряжений.

Образец в приспособлении во время испытаний показан на рис. 1. Для расчетов приняты следующие допущения: по плоскостям  $ab$  и  $ee$  нагрузки  $P$  (кгс/см<sup>2</sup>) распределены равномерно; из-за применения роликовых вкладышей силы трения по плоскости  $bb$  равны нулю; усилие прижима образца по плоскости  $ef$  незначительно (равно нулю); образец прямослойный, уступ в точке  $c$  образца (1,5 мм) равен нулю; толщина образца  $d = 1$ . Расчетная схема приведена на рис. 2.

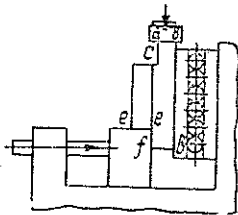


Рис. 1.

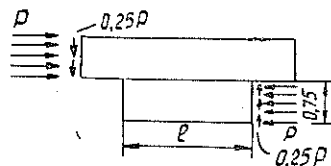


Рис. 2.

Чтобы определить напряжения в шве образца — усилия в связях сдвига и в поперечных связях составного стержня [5] (для клеевых

соединений древесины это упругие связи [2, 3]), необходимо решить систему из двух дифференциальных уравнений

$$\begin{cases} \frac{T''}{\varepsilon} = gT + g_0; \\ -\frac{m^{IV}}{\eta} = km + k_0, \end{cases} \quad (1)$$

где  $m$  — момент в стержнях от усилий (т. е. от  $s$ ) в поперечных связях, отнесенных к единице длины стержня;

$\varepsilon$  — коэффициент жесткости связей сдвига, кгс/см<sup>2</sup>;

$\eta$  — коэффициент жесткости поперечных связей, кгс/см<sup>2</sup>;

$g$  — приращение сдвига от единичной сдвигающей силы в шве;

$g_0$  — приращение сдвига от внешней нагрузки;

$k$  — разность кривизны в шве от единичных моментов;

$k_0$  — разность кривизны в шве от внешней нагрузки;

$T$  — суммарное сдвигающее усилие в шве.

$$T = \int_0^l \tau dx,$$

здесь  $\tau$  — усилие в связи сдвига, отнесенное к единице длины шва.

При решении системы (1) определяют усилия в связях сдвига  $\tau = T'$  и в поперечных связях  $s = -m''$

$$\tau = A\lambda e^{\lambda x} + B\lambda e^{-\lambda x} + C; \quad (2)$$

$$s = -de^{\alpha x} \sin \alpha x + fe^{\alpha x} \cos \alpha x - ke^{-\alpha x} \sin \alpha x + me^{-\alpha x} \cos \alpha x, \quad (3)$$

где  $A, B, C, d, f, k, m$  — постоянные коэффициенты;

$\lambda, \alpha$  — корни и абсцисса комплексных корней характеристических уравнений.

На рис. 3 приведены эпюры усилий для ДПО из березы плотностью 1,12 г/см<sup>3</sup> и степенью прессования 50% при следующих краевых условиях:  $x = 0, T = 0, m = 0, m' = 0$  и  $x = l, T = 0,75 P, m = 0, m' = 0,25 \cdot 0,75 P$ .

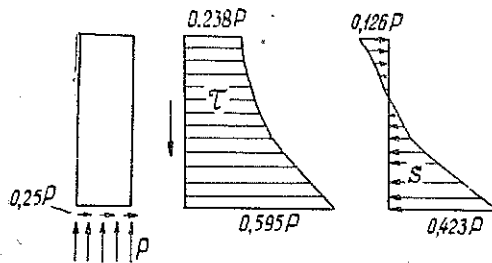


Рис. 3.

При определении опасных точек плоскости склеивания и изменения состояния стержня при различных сочетаниях напряжений были использованы уравнения (2), (3) и выражение для напряжений  $\sigma_x$ , полученное нами для малой части образца, именуемой в дальнейшем «стержень».

Формулы были выведены методами сопротивления материалов, так как методы теории упругости приводят к слишком сложным выражениям напряжений.

Рассматривая стержень под действием нагрузок от приспособления и отброшенной большей части образца (рис. 3), мы получили следующие формулы:

$$\begin{aligned} \sigma_x = & \left( -\frac{1}{h} + \frac{6y}{h^2} \right) (Ae^{\lambda x} - Be^{-\lambda x} + Cx + D) + \\ & + \frac{6xy}{h^3 \alpha} (-d - f - k + m) + \frac{6y}{h^3 \alpha^2} (de^{\alpha x} \cos \alpha x + fe^{\alpha x} \sin \alpha x - \\ & - ke^{-\alpha x} \cos \alpha x - me^{-\alpha x} \sin \alpha x - d + k); \\ \tau_{xy} = & \left( \frac{1}{4} + \frac{y}{h} - \frac{3y^2}{h^2} \right) (A\lambda e^{\lambda x} + B\lambda e^{-\lambda x} - C) + \\ & + \frac{3}{h^3 \alpha} \left( \frac{h^2}{4} - y^2 \right) [-d - f - k + m + de^{\alpha x} (\cos \alpha x - \sin \alpha x) + \\ & + fe^{\alpha x} (\sin \alpha x + \cos \alpha x) + ke^{-\alpha x} (\cos \alpha x + \sin \alpha x) + \\ & + me^{-\alpha x} (\sin \alpha x - \cos \alpha x)]. \end{aligned}$$

Напряжения  $\sigma_y$  определены из уравнения  $\frac{\partial \tau_{xy}}{\partial x} + \frac{\partial \sigma_y}{\partial y} = 0$  и граничных условий: при  $y = \frac{h}{2}$   $\sigma_y = 0$ , при  $y = -\frac{h}{2}$   $\sigma_y = s$ . Тогда

$$\begin{aligned} \sigma_y = & \lambda^2 \left( -\frac{y}{4} + \frac{y^2}{2h} + \frac{y^3}{h^2} + \frac{h}{8} \right) (Ae^{\lambda x} - Be^{-\lambda x}) + \\ & + \left[ -\frac{6}{h^3} \left( \frac{h^2}{4} y - \frac{y^3}{3} \right) + \frac{1}{2} \right] (-de^{\alpha x} \sin \alpha x + fe^{\alpha x} \cos \alpha x - \\ & - ke^{-\alpha x} \sin \alpha x + me^{-\alpha x} \cos \alpha x). \end{aligned}$$

Опасные точки плоскости склеивания определили, исходя из полиномиального условия прочности анизотропных материалов [1]; при этом условие опасного состояния мы преобразовали следующим образом:

$$\frac{\sigma_x^2 + \sigma_y^2 + e \sigma_x \sigma_y + d \tau_{xy}^2}{\sqrt{\sigma_x^2 + \sigma_y^2 + \sigma_x \sigma_y + \tau_{xy}^2}} = 2,67. \quad (4)$$

Если вычисленные значения левой части формулы (4) (именуемые в дальнейшем «коэффициент  $n$ ») в разных точках стержня сравним с предельным значением 2,67, то увидим, что к моменту достижения предела прочности образца зона разрушения поперечных связей и связей сдвига распространяется на правую часть плоскости склеивания длиной  $\frac{l}{2}$ . Значения напряжений в остальной части плоскости склеивания в этот момент определяли путем решения уравнений (1), но при  $\tau$  и  $s$ , действующих на части стержня длиной  $\frac{l}{2}$  и при следующих граничных условиях: если  $x = 0$ , то  $m = 0$ ,  $m' = 0$ ,  $T = 0$ ; при  $x = \frac{l}{2}$   $m = 0$ ,  $m' = 0,25 \cdot 0,75P$ ,  $T = 0,75P$ . Значения  $n$  при найденных напряжениях в этой части плоскости значительно превосходят свое предельное значение, и разрушение по плоскости склеивания стремительно заканчивается, что и наблюдалось при испытаниях образцов.

Обнаружено изменение знака (и тем самым направления) касательных напряжений по высоте сечений стержня. Были определены следующие точки:  $\tau_{xy} = 0$ ;  $\tau_{xy} = \max$  и  $\sigma_x = 0$ . В этих точках вы-

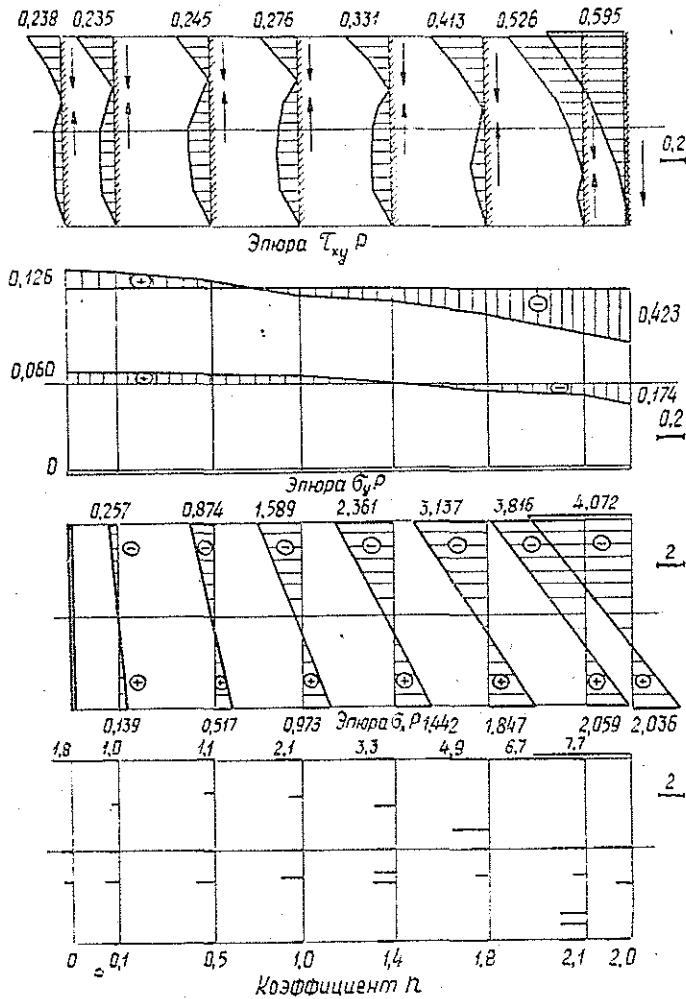


Рис. 4.

числены остальные напряжения. Эпюры напряжений и коэффициента  $n$  даны на рис. 4.

Анализ показал, что если из трех напряжений наиболее значительно одно, то изменение именно этого напряжения влечет за собой соответствующее изменение  $n$ ; имеет значение соответствие знаков напряжений  $\sigma_x$  и  $\sigma_y$ : при совпадении знаков и довольно значительной величине  $\sigma_y$  с увеличением  $\sigma_x$  и  $\sigma_y$ , значение  $n$  возрастает, а касательное напряжение может быть при этом постоянным; даже в случае малого значения  $\sigma_y$ , но меняющего знак с плюса на минус при растущем  $\sigma_x$  и постоянном  $\tau_{xy}$  величина  $n$  увеличивается; но если  $\sigma_y$  мало, то оно может иметь знак, не совпадающий со знаком  $\sigma_x$ , и при этом величина  $n$  зависит от остальных напряжений.

Пользуясь этими выводами и имея эпюры или значения напряжений в разных точках стержня, можно довольно быстро определить

сравнительно более опасные точки. Становится понятным, почему наиболее опасные точки появляются в правой части плоскости склеивания: здесь все напряжения имеют более значительную величину и к тому же знаки  $\sigma_x$  и  $\sigma_y$  совпадают.

Следовательно, для снижения опасного состояния материала необходимо, чтобы были меньшие напряжения, особенно  $\sigma_x$  и  $\sigma_y$ , имеющие одинаковый знак. Этого можно добиться, снижая коэффициент трения по плоскостям передачи нагрузки  $P$  и изменяя на противоположное направление сил трения по этим плоскостям. Последнее может быть достигнуто, если образец по плоскости  $ef$  прижать неопорным элементом приспособления и плоскость  $ee$  имеет малый уклон вверх. Так, при уменьшении коэффициента трения в четыре раза (до 0,06) и изменении направления сил трения напряжение  $\tau_{xy}$  в крайней точке плоскости склеивания снижается на 10%,  $\sigma_y$  — на 79,  $\sigma_x$  — на 3,  $n$  — на 33%.

#### ЛИТЕРАТУРА

- [1]. Ашкенази Е. К., Ганов Э. В. Анизотропия конструкционных материалов. Справочник. Л., «Машиностроение», 1972. [2]. Быковский В. Н., Соколовский Б. С. Деревянные клееные конструкции. Машстройиздат, 1949. [3]. Губенко А. Б. Клееные деревянные конструкции в строительстве. М., Госстройиздат, 1957. [4]. Лехницкий С. Г. Анизотропные пластинки. М., Гостехиздат, 1957. [5]. Ржаницын А. Р. Теория составных стержней строительных конструкций. М., Госстройиздат, 1948.

Поступила 4 августа 1977 г.

УДК 621.923/924 : 678.5/6

### ТЕОРЕТИЧЕСКОЕ ОПРЕДЕЛЕНИЕ ВЫСОТЫ НЕРОВНОСТЕЙ ПРИ ШЛИФОВАНИИ ПЛАСТМАСС

В. Г. ЛЮБИМОВ

Львовский лесотехнический институт

На основе анализа процесса стружкообразования установлен характер образования шероховатости обработанной поверхности при шлифовании пластмасс абразивными кругами.

Высоту неровностей шлифованной поверхности определяют размерами остаточных шероховатостей, которые образуются при резании материала большим числом абразивных зерен, расположенных на рабочей поверхности шлифовального круга.

При шлифовании пластмасс, так же как и при шлифовании металлов, следует различать продольную (в направлении главного рабочего движения) и поперечную шероховатость. Поперечная шероховатость в несколько раз больше продольной, и качество шлифованных поверхностей определяется поперечной шероховатостью. Поэтому рассмотрим процесс ее образования и выведем теоретические формулы для ее расчета при плоском шлифовании пластмасс кругами с абразивными зернами из стекла [2].

Как показали наши исследования, абразивные зерна рабочей поверхности круга располагаются на разных высотах относительно оси их вращения, что влияет на толщину среза и обуславливает шероховатость обработанной поверхности. В зависимости от способа и режима правки разновысотность зерен колеблется от нескольких микро-

до десятков и сотен. Для большего приближения к действительности следует считать, что при шлифовании абразивные зерна врезаются не в гладкую, а в шероховатую поверхность. В этом случае зерна, лежащие во внутренних слоях шлифовального круга, срезают гребешки, наиболее выступающие на обрабатываемой поверхности. Анализ микростереофотографий показал, что во многих случаях зерна, расположенные в более низких областях круга, также принимают участие в резании (имеют место износные площадки режущих кромок, отколы от зерен отдельных частиц, в некоторых случаях зерна вырываются из связки).

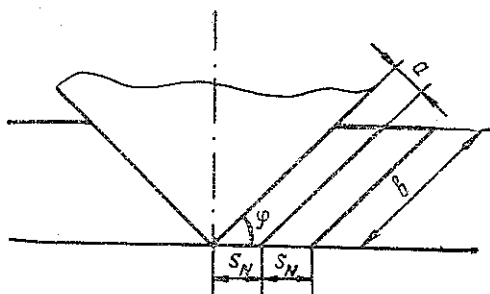


Рис. 1. Схематичное изображение поперечного среза.

$a$  — толщина;  $b$  — ширина  $S_N$  — поперечный шаг.

Абразивное зерно — многогранник неправильной формы, имеющий несколько режущих кромок. Согласно схеме, изложенной в нашей работе [1], за один проход абразивные зерна срезают большие слои материала, так как срезание происходит как боковыми режущими кромками (рис. 1), так и вершинами. В связи с различным расстоянием между зёрнами и произвольным их расположением на поверхности круга большая часть срезов накладывается в боковом направлении на предыдущие. Эти срезы образуются боковыми режущими кромками зерен, они наиболее характерны при шлифовании пластмасс с большими глубинами резания. Исследование износа зерен с помощью стереофотографирования при шлифовании органического стекла (выбор этого материала обусловлен тем, что поры круга мало забиваются стружкой) показало, что поперечные кромки и вершина зерна в направлениях, перпендикулярных направлениям резания, изнашиваются примерно в одинаковой степени; зерно, уменьшаясь в размерах, сохраняет свою конфигурацию. Это возможно при условии, что режущие кромки нагружены в равной степени. Отсюда следует, что  $2/3$  объема материала срезается боковыми режущими кромками и  $1/3$  вершинами. При обработке органического стекла указанная закономерность сохраняется на всем периоде работы круга. Однако при шлифовании терморезактивных пластмасс (древеснослоистого пластика, текстолита, гетинакса и др.) поры круга с течением времени забиваются стружкой, в результате чего боковые кромки в меньшей мере принимают участие в резании, увеличивается нагрузка на режущие вершины зерен, что приводит к более интенсивному их износу, снижению стойкости кругов и повышению шероховатости обработанной поверхности.

Линию наиболее высоких вершин неровностей обозначим через  $O_1O_2$ , линию наиболее глубоких впадин неровностей на обрабатываемой поверхности — через  $O_3O_4$  (рис. 2). В этом случае зерно 1 прорежет наиболее глубокую канавку, а следующее зерно 2, произвольно



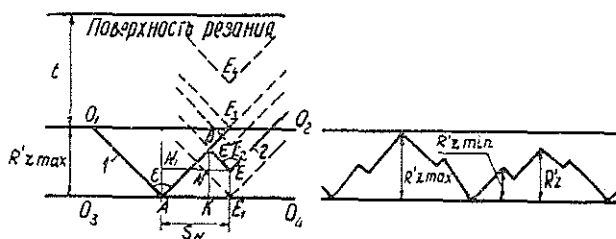


Рис. 2. Схема образования поперечных шероховатостей.

$R'_{z \max}$  — максимальная расчетная высота неровностей;

$R'_{z \min}$  — минимальная;  $R'_z$  — средняя.

расположенное на рабочей поверхности круга, может занять любое из указанных положений  $E_1, E_2, E_3, E_4$ , но принять участие в образовании цепочки поперечных шероховатостей зерно 2 может только в пределах участка  $E_1E_3$ . Высота участка характеризует максимальную расчетную высоту неровностей  $R'_{z \max}$ , образованную зернами, наиболее выступающими и наиболее низко расположенными во внутренних областях шлифовального круга, но принимающими участие в образовании шероховатости. На участке  $E_3E_4$  зерно срезает слой материала на поверхности резания, причем длина среза меньше длины дуги контакта круга с изделием.

Рассмотрим произвольное расположение зерна 2 по отношению к зерну 1. Средние величины углов при вершине зерен обозначим через  $\epsilon$ , средний поперечный шаг срезов, образующих гребешки неровностей, — через  $S_N$  и примем  $BK = z$  и  $EE_1 = h_z$ .

Из рис. 2 следует

$$S_N = AK + KE_1,$$

но

$$AK = z \operatorname{tg} \frac{\epsilon}{2}; \quad KE_1 = NE = (z - h_z) \operatorname{tg} \frac{\epsilon}{2},$$

тогда

$$S_N = z \operatorname{tg} \frac{\epsilon}{2} + (z - h_z) \operatorname{tg} \frac{\epsilon}{2}$$

или

$$S_N = (2z - h_z) \operatorname{tg} \frac{\epsilon}{2}. \quad (1)$$

При  $h_z = R'_{z \max}$  высота неровностей принимает максимальное значение

$$R'_{z \max} = S_N \operatorname{ctg} \frac{\epsilon}{2}; \quad (2)$$

при  $h_z = 0$  высота неровностей имеет минимальное значение

$$R_{z \min} = \frac{S_N}{2} \operatorname{ctg} \frac{\epsilon}{2}. \quad (3)$$

Из выражения (1) находим

$$z = \frac{1}{2} \left( h_z + S_N \operatorname{ctg} \frac{\epsilon}{2} \right).$$

Средняя высота неровностей

$$R'_z = \bar{z} = \frac{\frac{R'_{z \max}}{2} \int_0^{R'_{z \max}} \left( h_z + S_N \operatorname{ctg} \frac{\varepsilon}{2} \right) dh_z}{\int_0^{R'_{z \max}} dh_z} =$$

$$= \frac{1}{2} \frac{\left( \frac{h_z}{2} + h_z S_N \operatorname{ctg} \frac{\varepsilon}{2} \right) \Big|_0^{R'_{z \max}}}{R'_{z \max}} = \frac{1}{2} \frac{\frac{R'_{z \max}}{2} + R'_{z \max} + S_N \operatorname{ctg} \frac{\varepsilon}{2}}{R'_{z \max}}$$

или

$$R'_z = \frac{R'_{z \max}}{4} + \frac{S_N}{2} \operatorname{ctg} \frac{\varepsilon}{2}. \quad (4)$$

Подставив в выражение (3) значение  $R'_{z \max}$  из формулы (2) получим

$$R'_z = \frac{3}{4} S_N. \quad (5)$$

Из рис. 1 видно, что средний шаг поперечных срезов  $S_N$  связан с толщиной среза соотношением

$$S_N = \frac{a}{\sin \varphi}. \quad (6)$$

Подставив значение  $S_N$  в уравнения (2), (3) и (5) находим

$$R'_{z \max} = \frac{a}{\sin \varphi} \operatorname{ctg} \frac{\varepsilon}{2}; \quad R'_{z \min} = \frac{a}{2 \sin \varphi} \operatorname{ctg} \frac{\varepsilon}{2}; \quad R'_z = \frac{3}{4} \frac{a}{\sin \varphi} \operatorname{ctg} \frac{\varepsilon}{2}.$$

Среднее значение угла при вершине зерен  $\varepsilon$  принимаем равным  $90^\circ$  ( $\varphi = 45^\circ$ ), тогда

$$R'_{z \max} = 1,41a; \quad (7)$$

$$R'_{z \min} = 0,71a; \quad (8)$$

$$R'_z = 1,06a \approx a. \quad (9)$$

Следовательно, высота неровностей без учета упругих и пластических деформаций может быть приближенно определена через среднюю толщину среза, снимаемую отдельным зерном шлифовального круга.

Средняя толщина среза

$$a \approx 75 \sqrt{\frac{u s_n}{v c B}} \left( \frac{t}{D} \right)^{0,25} \text{ мкм}, \quad (10)$$

где  $u$  — скорость подачи изделия, м/мин.;  
 $s_n$  — поперечная подача, мм/ход;  
 $v$  — скорость резания, м/с;  
 $c$  — количество режущих абразивных зерен на  $1 \text{ мм}^2$  поверхности круга;  
 $B$  — высота круга, мм;  
 $t$  — глубина шлифования, мм;  
 $D$  — диаметр круга, мм.

При шлифовании без поперечной подачи  $\frac{s_n}{B} = 1$ . Количество режущих зерен указано в работе [1].

Средние величины срезов, а также расчетные и экспериментальные значения  $R'_z$  и  $R_z$  при шлифовании различных пластмасс при-

ведены в табл. 1 для следующих условий:  $v = 30$  м/с;  $u = 5$  м/мин;  $t = 0,1$  мм; зернистость круга 50; диаметр круга  $D = 196$  мм; высота круга  $B = 22$  мм.

Таблица 1

Обрабатываемый материал	Толщина среза $a$ , мкм	Расчетные значения высоты неровностей $R_z'$ , мкм (1,06a)	Экспериментальные значения высоты неровностей $R_z$ , мкм, для поверхностей	
			торцевых	боковых
Текстолит	8,4	8,9	7,5	9,3
	2,7	2,86	2,3	2,7
Гетинакс	8,4	8,9 <sup>*</sup>	7,2	9
	2,7	2,86	2,3	2,9
Древеснослойный пластик (ДСП-В)	8,4	8,9	15,2	10,9
	2,7	2,86	4,2	3,0
Оргстекло	8,4	8,9	11,2	11,2
	2,7	2,86	3,2	3,2
Полиэтилен	8,4	8,9	11,6	11,6
	2,7	2,86	3,4	3,4
Капрон	8,4	8,9	11,8	11,8
	2,7	2,86	3,5	3,5

Примечание. В числителе данные при шлифовании без поперечной подачи; в знаменателе — при шлифовании с поперечной подачей  $S_n = 1$  мм/ход.

Из данных табл. 1 видно, что в большинстве случаев высота неровностей  $R_z$  при шлифовании пластмасс близка по величине к средней толщине среза, снимаемого отдельным зерном шлифовального круга. Заметное расхождение этих величин наблюдается при шлифовании торцевых поверхностей древеснослойного пластика. Зерна круга срезают слои шпона вдоль волокон и перпендикулярно к ним; в последнем случае имеет место скалывание частиц древесины. Это приводит к увеличению шероховатости и образованию стружек надлома, толщина которых больше, чем у стружек, образующихся при шлифовании боковых поверхностей ДСП-В. Высота неровностей  $R_z$  по сравнению с теоретической возрастает в 1,7 раза, что следует учитывать при расчетах.

Для термопластичных пластмасс (оргстекло, полиэтилен, капрон и др.) характерна малая жесткость, модуль упругости их значительно ниже, чем терморезистивных пластмасс. Нами установлено, что в момент стружкообразования, в результате сжатия упругой системы, гребешки шероховатости перемещаются в вертикальной плоскости на 1—1,6 мкм (при шлифовании без поперечной подачи) и на 0,27—0,4 мкм (при шлифовании с поперечной подачей) и после восстановления упругой системы увеличиваются на эти же величины. В связи с этим у термопластов фактическая высота неровностей становится несколько больше расчетной.

Из приведенного анализа можно заключить, что для получения низкой шероховатости, необходимой при чистовом шлифовании, нужно срезать тонкие стружки (малые толщины срезов). При этом, согласно формуле (10), следует уменьшать элементы режима резания  $u$ ,  $s_n$  и  $t$ , увеличивать скорость резания  $v$  и параметры круга  $s$ ,  $B$  и  $D$ .

## ЛИТЕРАТУРА

[1]. Любимов В. Г. О стружкообразовании при шлифовании пластмасс. — ИВУЗ, «Лесной журнал», 1976, № 2. [2]. Яцюк А. И. Новый способ механической обработки древесины. Львов, «Вища школа», 1975.

Поступила 29 ноября 1977 г.

УДК 674.821

## ИЗМЕРЕНИЕ С ПОВЫШЕННОЙ ТОЧНОСТЬЮ ВЛАЖНОСТИ ДРЕВЕСНОЙ СТРУЖКИ

Ж. И. ПОРТНИК, И. А. БОЕВСКАЯ

Воронежский лесотехнический институт

Изложен метод измерения влажности древесной стружки с повышенной точностью путем введения автоматической поправки на плотность. Рассмотренный метод может быть использован при конструировании влагомеров непрерывного действия, основанных на диэлькометрическом принципе.

В случае непрерывного измерения влажности древесной стружки диэлькометрическим методом (при этом измеряют комплексное сопротивление конденсаторного датчика в поле высокой частоты как функцию влажности) на результаты влияет ряд факторов, что значительно снижает точность измерения. Наибольшие помехи вызывает колебание плотности стружки в датчике.

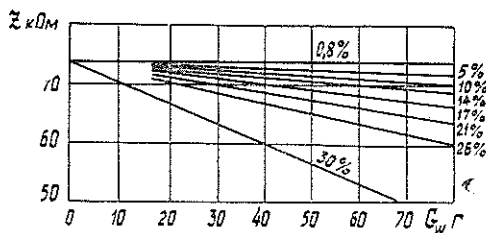


Рис. 1.

Мы предлагаем в результаты измерения автоматически ввести поправку на плотность. При этом одновременно измеряют комплексное сопротивление и вес стружки в датчике. Для датчика проточного типа, описанного в работе [2], сняты зависимости комплексного сопротивления  $z$  от веса стружки  $G_w$  при различных значениях влажности  $W$  (рис. 1). Эти зависимости близки к прямым, которые сходятся в точке, соответствующей сопротивлению пустого датчика, и при скомпенсированных сопротивлениях и весе пустого датчика могут быть описаны уравнением

$$z = kG_w. \quad (1)$$

Коэффициент  $k = \frac{z}{G_w}$  зависит от влажности стружки  $W$  (рис. 2) и с достаточной достоверностью определяется выражением

$$k = 0,01e^{0,135W}. \quad (2)$$

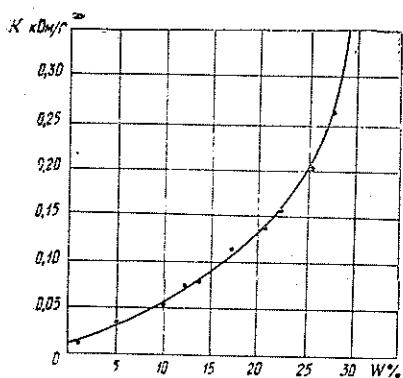


Рис. 2.

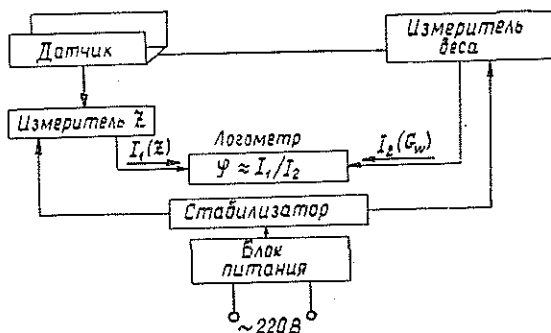


Рис. 3.

Уравнение (2) показывает зависимость влажности стружки от сопротивления и веса стружки в датчике.

На рис. 3 представлена схема устройства для одновременного измерения комплексного сопротивления и веса датчика со стружкой. В диэлькометрическом влагомере изменение сопротивления  $z$  преобразуется в изменение тока  $I_1$ . Зависимость  $I_1(z)$  описывается выражением

$$I_1 = 0,45z^{0,96}. \quad (3)$$

Так как показатель степени при  $z$  близок к единице (0,96), то зависимость  $I_1(z)$  близка к линейной.

Вес стружки в датчике определяют с помощью тензодатчиков, измеряющих изгиб консоли, на которой закреплен конденсаторный датчик проточного типа, заполняемый стружкой. Тензодатчики включают в схему четырехплечного моста, причем датчики противоположных плеч моста наклеивают на поверхности с одним знаком деформации, а прилежащих плеч — на поверхности с разным знаком деформации. Из теории мостовых схем [1] известно, что при условии равенства сопротивлений всех четырех тензодатчиков в недеформированном состоянии значение тока в выходной диагонали моста определяют уравнением

$$I_2 = A\Delta R, \quad (4)$$

где  $\Delta R$  — изменение сопротивления тензодатчика в результате деформации (деформация тензодатчика, т. е. консоли с конденсаторным датчиком определяется весом стружки в конденсаторном датчике).

$$\Delta R = BG_W \quad (5)$$

и, следовательно,

$$I_2 = DG_W, \quad (6)$$

здесь  $A$ ,  $B$ ,  $D$  — постоянные коэффициенты.

Токи  $I_1$  и  $I_2$  подаются на логаметр, угол отклонения  $\varphi$  стрелки которого определяется отношением этих токов, т. е.  $\frac{z}{G_W}$

$$\varphi = F \frac{I_1}{I_2} \approx H \frac{z}{G_W}, \quad (7)$$

где  $F$  и  $H$  — постоянные коэффициенты.

Шкалу логометра градуируют согласно зависимости рис. 2. Градуировку уточняют опытным путем.

Благодаря одновременному измерению комплексного сопротивления и веса стружки в датчике устраняется одна из основных погрешностей измерения и значительно повышается точность.

#### ЛИТЕРАТУРА

[1]. Нейман Л. Р., Калантаров П. Л. Теоретические основы электротехники. М., ГЭИ, 1954. [2]. Портник Ж. И., Боевская И. А. Конденсаторный датчик с параллельным полем для измерения влажности древесной стружки. — «Деревообрабатывающая промышленность», 1975, № 2.

---

Поступила 27 июня 1977 г.

## ХИМИЧЕСКАЯ ПЕРЕРАБОТКА ДРЕВЕСИНЫ

УДК 676.1.023.2

ИЗУЧЕНИЕ ПРОЦЕССА ПРОМЫВКИ  
ЦЕЛЛЮЛОЗНОГО ВОЛОКНА

*М. И. КРАВЧЕНКО, В. М. КРЮКОВ, В. И. ТОМП,  
Т. В. ЕФРЕМОВА, В. Н. БЛЕСТКИНА, А. И. КИПРИАНОВ*

Ленинградская лесотехническая академия, НПОбумпром

Приведены результаты исследований по изучению процесса промывки целлюлозы. Результаты представляют научный интерес в плане раскрытия механизма процесса промывки и практический интерес для создания эффективного оборудования для промывки целлюлозного волокна.

Промывка целлюлозного волокна — основная операция в технологии целлюлозного производства.

Теоретическое объяснение процессов, происходящих при промывке различных осадков, приведено в ряде работ [1—4, 7, 9]. Одни ученые рассматривают промывку как гидродинамический процесс, при котором в слое осадка происходит замещение фильтрата промывной жидкостью [1, 2]. Другие считают промывку осадков массообменным процессом, в котором фильтрат замещается промывной жидкостью в соответствии с законами конвективной и молекулярной диффузии [9].

В одной из работ [1] отмечено, что теория промывки, основанная на гидродинамических закономерностях, более правильна, чем теория, основанная на диффузии растворенного вещества из фильтрата в промывную жидкость. Математическим анализом [2] и обработкой опытных данных выведены уравнения промывки.

Весь процесс промывки осадка рассмотрен как процесс, идущий в три стадии; для каждой стадии выведены уравнения. Согласно работе [2], уравнение промывки имеет общий вид

$$\frac{G_i}{G_0} = f\left(\frac{V_{пж}}{V_0}\right). \quad (1)$$

Для первой стадии

$$\frac{G_i}{G_0} = a \frac{V_{пж}}{V_0}; \quad (2)$$

для второй

$$\frac{G_i}{G_0} = b + c \frac{V_{пж}}{V_0} + d \left(\frac{V_{пж}}{V_0}\right)^2; \quad (3)$$

для третьей

$$\frac{G_i}{G_0} = 1 - \frac{e}{(V_{пж}/V_0)}. \quad (4)$$

В этих выражениях обозначено:

$a, b, c, d, e$  — эмпирические постоянные;

$V_0$  — объем пор осадка, м<sup>3</sup>;

$V_{пж}$  — объем промывной жидкости, м<sup>3</sup>;

$G_0$  — количество щелочи в маточном растворе, кг;  
 $G_i$  — количество щелочи, содержащейся в объеме промывной жидкости, кг.

Уравнение (1) представляет интерес как для теории, так и для практики процесса промывки целлюлозных материалов.

В опытах использовали сульфатную небеленую целлюлозу Светогорского ЦБК марки НС-2 и производственный черный сульфатный щелок. Лабораторная установка для промывки состояла из стеклянной колонки диаметром 40 мм с фильтровальной перегородкой, на которую помещена металлическая сетка. Колонка снизу соединена с вакуум-приемниками для отбора фильтрата. Такая конструкция лабораторной установки [5] позволяет моделировать процесс промывки полуфабрикатов целлюлозного производства на вакуумных фильтрах и фильтрах давления.

На лабораторной установке подобной конструкции мы и изучали процесс промывки целлюлозосодержащего материала. Условия проведения опытов представлены в табл. 1.

Таблица 1

Номер опыта	Скорость потока промывной жидкости, м/ч	Температура, при которой вели промывку, °С	Пористость осадка, %	Высота слоя целлюлозной папки, см
1	0,10	19	93,5	9,0
2	0,56	19	94,6	19,0
3	1,08	21	93,6	9,5
4	1,17	14	93,6	9,0
5	1,62	21	92,4	8,0
6	1,52	17	93,5	9,2
7	1,50	21	93,0	8,5
8	1,50	19	93,0	8,5
9	2,40	21	93,6	9,5
10	0,08	18	89,5	6,0
11	0,16	18	90,0	6,2
12	0,25	22	89,0	6,0
13	0,35	22	92,0	7,5
14	0,23	19	89,0	7,5
15	13,40	21	93,0	2,4
16	2,34	54	94,5	3,2
17	4,62	22	94,2	2,8
18	0,80	22	94,2	2,8
19	16,00	22	95,0	3,3
20	2,26	41	95,5	3,7
21	36,00	52	94,5	3,2

Навеску исходной целлюлозы обрабатывали в течение суток при комнатной температуре раствором NaOH концентрацией 18—21 г/л, далее суспензию интенсивно перемешивали и заливали в промывную колонку. Скорость течения промывной воды через целлюлозную папку изменяли от 0,1 до 2,4 м/ч. Через определенные промежутки времени в мерные цилиндры отбирали пробы промывной воды, которую анализировали на содержание щелочи, затем рассчитывали количество щелочи  $G_i$ , удаленное с начала промывки.

На рис. 1 представлены экспериментальные данные, характеризующие кинетику отмывки щелочи от целлюлозного волокна. Экспериментальные точки удовлетворительно укладываются на одной кривой, то есть вид функции (1) в пределах указанных скоростей промывной воды от этой скорости практически не зависит.

Кинетические кривые промывки целлюлозной папки, представленные на рис. 2, практически подобны, следовательно, могут быть описаны единым уравнением промывки.



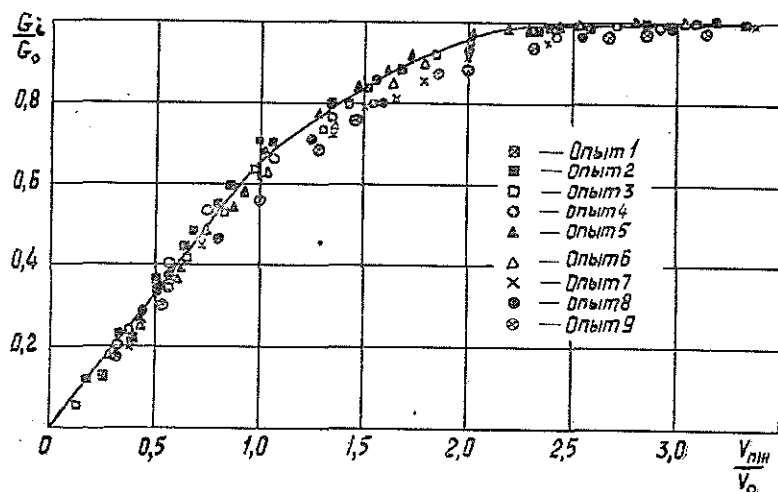


Рис. 1. Зависимость доли отмытого компонента щелочи от относительного расхода промывной жидкости при промывке целлюлозы от чистой щелочи.

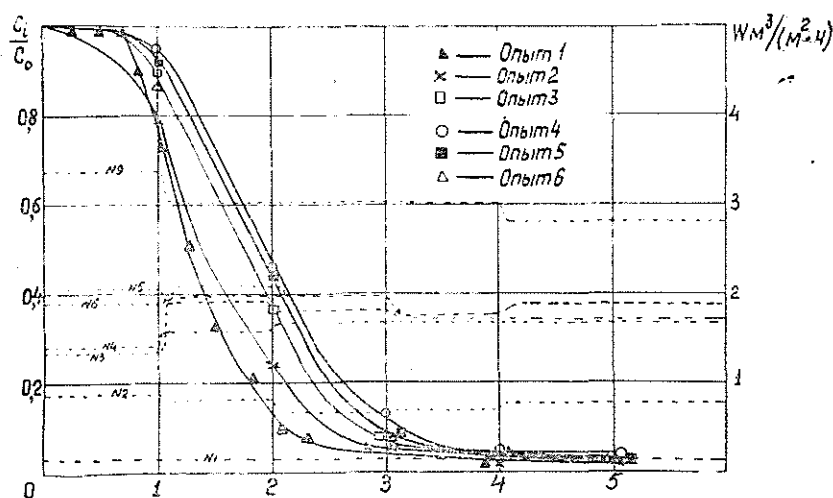


Рис. 2. Кинетические кривые отмытки NaOH из целлюлозной папки и характер изменения скорости течения промывной жидкости.

Полученные результаты (рис. 1, 2) по отмытке NaOH из целлюлозной папки позволяют считать, что вид функции (1) в пределах изученных скоростей течения промывной жидкости практически не изменяется, поэтому для описания процесса промывки можно использовать уравнения (2)—(4).

Ряд исследователей [7, 8] рассматривает промывку (рис. 2) как процесс, состоящий из двух этапов. На первом этапе происходит удаление фильтрата в поршневом режиме, на втором — имеет место молекулярная диффузия отмываемого компонента.

Из рис. 2 видно, что при малых скоростях течения промывной жидкости экспериментально подтверждается поршневой режим вытес-

нения жидкостью фильтрата из целлюлозной папки. Рис. 1 показывает, что уже при двукратной смене маточной жидкости на промывную извлечение по щелочи из целлюлозной папки составляет свыше 90%, т. е. количество извлеченной щелочи полностью зависит от расхода промывной жидкости и не требует какого-то дополнительного времени для процесса молекулярной диффузии.

Применимость полученных закономерностей при промывке целлюлозного волокна от щелочи проверена и для процесса промывки целлюлозы от черного сульфатного щелока. Обработка экспериментальных данных произведена по вышеописанной методике. Общую щелочность определяли потенциометрическим титрованием [6] и пламенной фотометрией.

На рис. 3 представлены экспериментальные данные, из которых можно заключить, что для процесса промывки целлюлозного волокна от черного сульфатного щелока вид функции (1) практически не меняется при изменении скорости течения промывной жидкости от 0,25 до 16 м/ч при температуре промывки 18—22°C. Как только расход промывной жидкости достигает двукратной смены маточной жидкости, дальнейшее повышение расхода жидкости практически бесполезно, так как выход по извлекаемому веществу не превышает 85%, кривая промывки переходит в прямую линию, параллельную оси абсцисс. Следовательно, 85% щелока из целлюлозного волокна удаляется гидродинамическим путем, а 15%, очевидно, должно извлекаться за счет процесса диффузии.

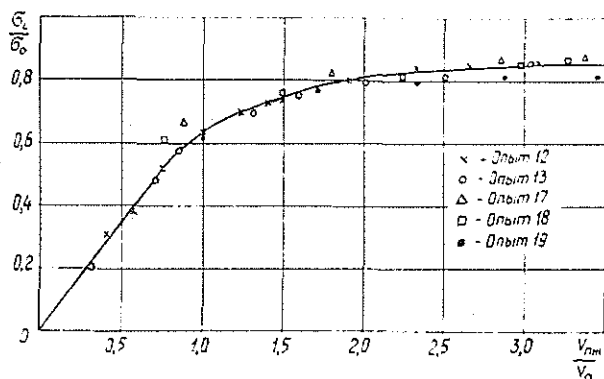


Рис. 3. Зависимость доли отмываемых ионов натрия от относительного расхода промывной жидкости при промывке целлюлозы от черного сульфатного щелока при температуре промывки 18—22°C.

Известно [4], что повышение температуры при промывке улучшает процесс извлечения веществ из целлюлозы; оптимальной температурой при этом считают 54—60°C.

На рис. 4 представлены результаты по промывке целлюлозного волокна, пропитанного сульфатным черным щелоком, при температуре промывки 18—54°C. На этом же рисунке для сравнения дана кривая, полученная при промывке целлюлозы при 18—22°C. Сравнивая эти кривые, видим, что повышение температуры процесса от 18 до 54°C значительно уменьшает диффузионное сопротивление извлечению растворенного вещества из целлюлозы, обеспечивая извлечение по растворен-

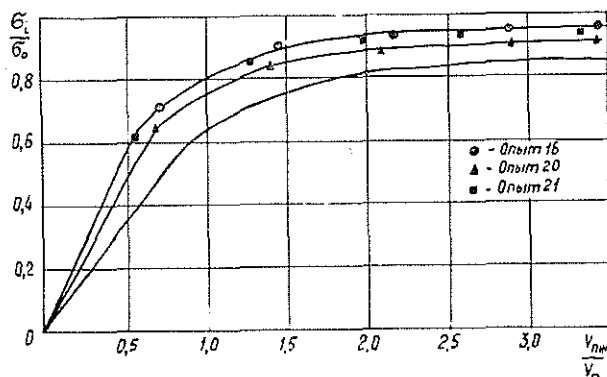


Рис. 4. Зависимость доли отмываемых ионов натрия от относительного расхода промывной жидкости при промывке целлюлозы от черного сульфатного щелока при температуре промывки 41—52°C.

ному веществу около 95% при  $\frac{V_{пж}}{V_0} = 2$ . Из рис. 4 видно, что изменение скорости течения промывной жидкости от 2,34 до 36 м/ч при 52—54°C не влияет на вид функции (1), поэтому для описания процесса промывки целлюлозы от черного сульфатного щелока можно применять уравнения (2) — (4).

Проведение промывки при повышенных температурах позволяет практически полностью снять диффузионное сопротивление, и промывку в этих условиях можно рассматривать как чисто гидродинамический процесс, который описывается функциональной зависимостью (1).

Очевидно, для промывки целлюлозного волокна, которое достаточно хорошо диспергировано или прошло горячий размол, требуется создавать такое оборудование, в котором оптимально можно было бы использовать гидродинамический принцип вытеснения маточной жидкости промывной жидкостью. Работы в этом направлении ведутся в СССР и за рубежом.

#### ЛИТЕРАТУРА

- [1]. Жужиков В. А. Фильтрация. М., «Химия», 1971, 411 с. [2]. Комаровский А. А. Исследование процесса промывки на фильтрах. (Теоретическая часть). — «Труды Новочеркасского политех. ин-та». Химическая часть, 1950, с. 3—10. [3]. Малиновская Т. А. Разделение суспензий в промышленности органического синтеза. М., «Химия», 1971, 318 с. [4]. Непенин Ю. Н. Технология целлюлозы. Т. II. М., Гослесбумиздат, 1963, 936 с. [5]. Серякова К. С., Шевченко М. А. Лабораторная установка для многоступенчатой промывки целлюлозы. — «Бумажная промышленность», 1975, № 11, с. 26—27. [6]. Справочник бумажника. Т. I. М., «Лесная промышленность», 1964, 842 с. [7]. Chang Dae Han. Washing theory of the porous structure of aggregated materials. — «Chemical Engineering Science», 1967, 22, N 6, s. 837—846. [8]. Fasoli Ugo. Washing by filtration in a bed of particulate solids. — «La Ricerca Scientifica», 1969, 39, No. 10—12, s. 789—794. [9]. Rhodes F. H. Washing in filtration. — «Industrial and Engineering Chemistry», 1934, 26, No. 12, s. 1331—1333.

Поступила 14 февраля 1977 г.

УДК 621.891(088.8)

## ВЗАИМОДЕЙСТВИЕ ТАЛЛОВОГО МАСЛА С ОКСИЬЮ ПРОПИЛЕНА

*Н. В. ТЕРЕГЕРЯ, Ф. А. МЕДНИКОВ, В. И. ЗОЛотов,  
А. Ф. МОКЕНЧЕВ, А. С. КУЗЬМИН*

Владимирский политехнический институт  
Ленинградская лесотехническая академия  
Кировский завод по обработке цветных металлов

Приведены данные о влиянии природы и количества катализатора на процесс оксипропилирования таллового масла.

Неионогенные поверхностно-активные вещества нашли широкое применение в ряде отраслей современной индустрии (машиностроительной, горнодобывающей, металлообрабатывающей и др.).

Наиболее важными при получении ПАВ являются реакции  $\alpha$ -окси-алкиленов с жирными кислотами, алкилфенолами, аминами, спиртами и талловым маслом. Особое значение приобретает последняя реакция в связи с возможностью изменения кислотного состава таллового масла [4], его доступностью и низкой стоимостью.

В процессе оксиалкилирования протекает ряд последовательно-параллельных реакций, в результате которых образуются моно-, диэфиры и свободные полигликоли. Для многих отраслей промышленности целевыми продуктами являются моноэфиры с узким фракционным составом. Состав продуктов реакции и свойства во многом зависят от технологических параметров процесса и используемого катализатора [5, 6].

В настоящее время хорошо изучена реакция окиси этилена с гидроксилсодержащими, в том числе и талловым маслом [3]. Нами проведены исследования некоторых факторов на процесс взаимодействия таллового масла с окисью пропилена.

Реакцию таллового масла с окисью пропилена изучали на приборе, представленном на рис. 1. Во всех опытах скорости газового потока окиси пропилена и перемешивания поддерживали постоянными. После загрузки катализатора талловое масло нагревали в атмосфере азота до температуры реакции и затем, после продувки азотом всей системы в течение 45 мин, подавали газообразную окись пропилена.

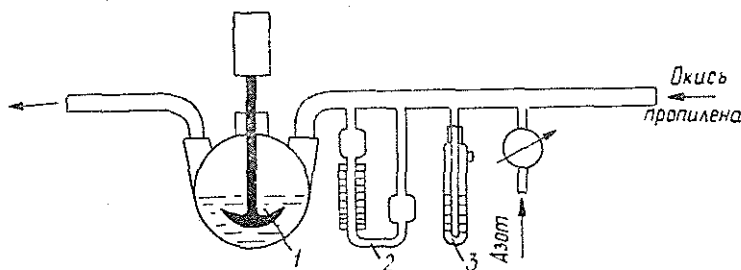


Рис. 1. Аппарат для оксипропилирования таллового масла.

1 — реакционная колба; 2 — ротаметр; 3 — гидрозатвор.

Для проведения реакции использовали талловое масло (Котласского ЦБК) следующего состава (%): жирные кислоты 55,20; смоляные кислоты 38,40; оксикислоты 1,88; неомыляемые 4,37; влага — следы. Показатели таллового масла: йодное число 150,62; кислотное число 141,00.

Окись пропилена предварительно кипятили в течение 5 ч на водяной бане в колбе с обратным холодильником над твердым едким кали. Затем столько же времени досушивали над гидридом кальция с последующей перегонкой.

Химический состав продуктов реакции определяли по методам Сиггея и др. [7], Вригли и др. [8], содержание оксипропильных групп — по методу Цейзеля [1].

Мы исследовали каталитическое действие металлического натрия, кали едкого, триэтиламина (ТЭА) и хлорной кислоты (табл. 1). Во всех опытах концентрация катализатора составляла 0,2% (весовых), продолжительность реакции 4 ч, температура 90°C.

В каждом случае получаемые продукты характеризовались степенью оксипропилирования *m*, то есть средним количеством молей окиси пропилена, вступивших в реакцию с молем таллового масла, без учета того, на образование какого соединения израсходована окись, и степенью прививки *n*, т. е. количеством молей окиси пропилена, связанных с молем таллового масла.

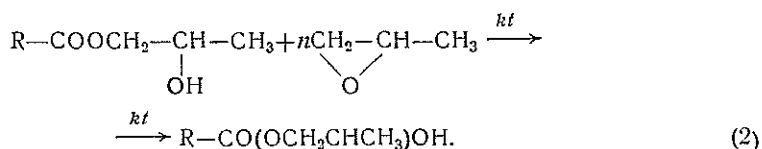
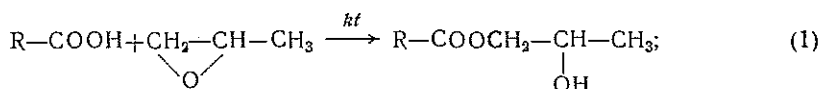
В продуктах оксипропилирования определяли весовое количество прореагировавших кислот таллового масла (ВПК), весовое содержание свободных гликолей (ПГ) и молярное соотношение моно- и диэфиров (М/Д).

Таблица 1  
Влияние природы катализатора на взаимодействие таллового масла с окисью пропилена

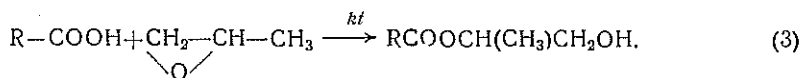
Катализатор	<i>m</i>	<i>n</i>	ВПК, %	ПГ, %	М/Д
КОН	1,030	0,875	44,9	2,05	66,60
КОН*	1,280	1,160	87,2	2,68	2,38
Na	0,875	0,772	43,7	1,54	60,20
Na*	1,100	0,890	96,8	3,02	2,12
ТЭА	0,770	0,700	55,2	1,30	50,00
HClO <sub>4</sub>	1,540	1,470	34,8	0,87	—

Примечание. Звездочкой обозначены опыты при температуре 160°C.

Схема реакций окиси пропилена, протекающих с кислотами таллового масла с образованием моноэфира, имеет вид



Здесь имеет место образование изомерных форм (табл. 2), то есть присоединение окиси пропилена сопровождается получением моноэфира «аномального» строения — с первичной гидроксильной группой в оксипропиленгликолевой цепочке



При определении количества изомерных форм использовали кинетический метод ацетилирования, предложенный Э. Л. Гершановой [2].

Таблица 2

Влияние природы катализатора  
на соотношение изомерных форм  
оксипропиленгликолевого эфира  
таллового масла

Катализатор	Количество изомера, %		Соотношение нормального и аномального изомеров
	нормаль- ного	аномаль- ного	
КОН	97,1	2,9	33,4
Na	73,3	26,7	2,7
ТЭА	86,4	13,6	6,3
НСЮ <sub>4</sub>	53,1	46,9	1,1

Примечание. Условия реакции те же,  
что и ранее.

В условиях кислотного катализа (табл. 1) наблюдаются наиболее высокие степени оксипропилирования и прививки. Однако небольшое количество прореагировавших кислот позволяет судить о низкой степени селективности процесса, то есть протекают параллельно реакции (1), (2) и окись пропилена взаимодействует как с кислотами таллового масла, так и с вновь образовавшимися гидроксильными группами. Такое каталитическое действие приводит к образованию продукта со сложным и неоднородным фракционным составом и тем самым затрудняет получение оксипропилированного таллового масла со строго определенными свойствами. Аналогичный вывод можно сделать о влиянии хлорной кислоты на выход изомерных форм оксипропиленгликолевого эфира таллового масла. С другой стороны, при основном катализе на первоначальном этапе преимущественно образуются моноэфиры и их максимальный выход наблюдается в присутствии едкого кали; в присутствии едкого кали образуются, в основном, только эфиры нормального строения.

Поэтому для дальнейших исследований мы использовали едкое кали. Опыты проводили при температуре 160°C и 4-часовой продолжительности.

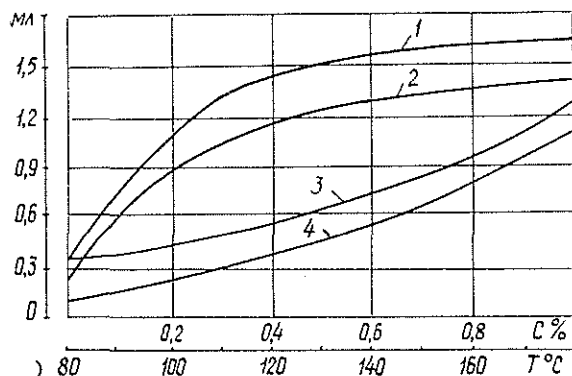
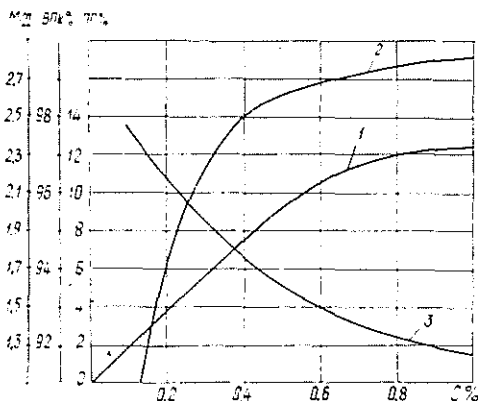


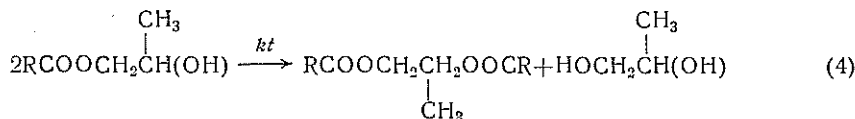
Рис. 2. Зависимость степени оксипропилирования (1, 3) и степени прививки (2, 4) от количества катализатора (1, 2) и температуры процесса оксипропилирования (3, 4).

Рис. 3. Зависимость выхода полигликолей (1), прореагировавшей кислотной фракции таллового масла (2), молярного соотношения моно- и диэфиров (3) от количества катализатора.

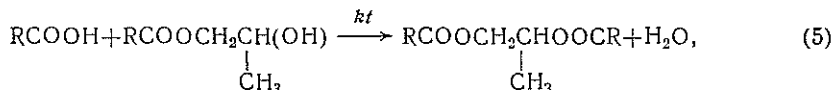


Увеличение количества катализатора свыше 0,3% (весовых) не оказывает существенного влияния на степень прививки окиси пропилена, но способствует возрастанию степени оксипропилирования (рис. 2), выходу свободных полигликолей и диэфиров (рис. 3).

Повышение содержания диэфиров сопровождается соответствующим увеличением прореагировавшей кислотной фракции таллового масла (рис. 3). Очевидно, это связано с возрастанием скорости реакций эфирного обмена



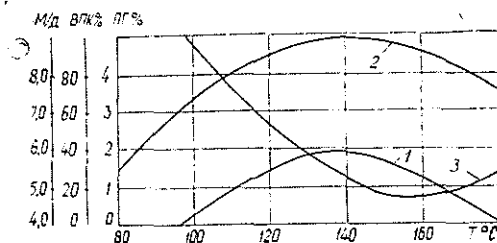
и прямой этерификации



в результате которых увеличивается содержание диэфиров и полигликолей. Подтверждением служит уменьшение свободных кислот при относительно небольшом изменении степени оксипропилирования. Следовательно, с целью увеличения выхода моноэфира на первой стадии реакции в условиях основного катализа следует избегать больших количеств катализатора.

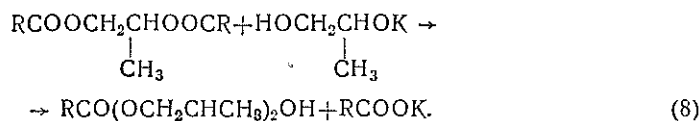
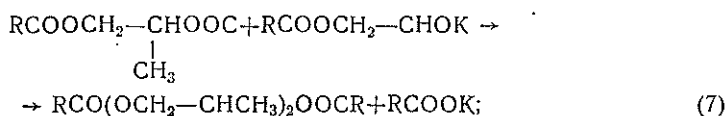
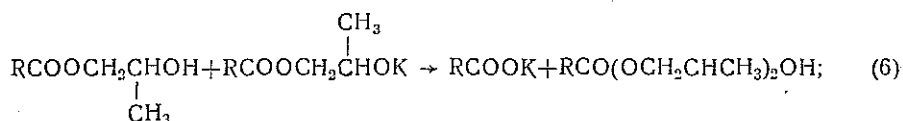
Результаты исследований показали, что с повышением температуры возрастает как степень оксипропилирования, так и степень прививки (рис. 3).

Рис. 4. Зависимость содержания полигликолей (1), количества прореагировавшей кислотной фракции таллового масла (2) и молярного соотношения моно- и диэфиров (3) от температуры процесса.



После 4-часового оксипропилирования в присутствии 0,2% (весовых) едкого кали при температуре 140°C наблюдается наибольший выход полигликолей и наибольшее количество кислот таллового масла, вступивших в реакцию, 98,9% (рис. 4).

Уменьшение выхода свободных полигликолей и увеличение кислотности при температуре выше 140°C связано с возрастанием скоростей реакций алкоголиза моно-диэфиров, так как при степенях оксипропилирования, близких к единице, катализатор переходит в форму алкоголята



Во всех случаях реакции сопровождаются выходом солевой формы катализатора, а реакция (8) — расходом пропиленгликоля и диэфира на образование полимоноэфира. Вероятно, именно с этим связано увеличение выхода моноэфира при температуре 160°C.

Как показано на рис. 4, с уменьшением температуры выход моноэфиров увеличивается. Суммарный выход диэфиров — функция скоростей реакций (4)—(7). Увеличение температуры выше 180°C нецелесообразно ввиду осмоления таллового масла.

Исследованиями химического состава оксипропилированного таллового масла (рис. 5) установлено, что основным продуктом является моноэфир, которому сопутствуют гликоли и диэфиры уже на ранних этапах процесса.

Таким образом, взаимодействие таллового масла с окисью пропилена — сложный процесс, сопровождающийся образованием моно-, диэфиров и свободных полигликолей. Их соотношение зависит от природы катализатора, его количества и температуры реакции.

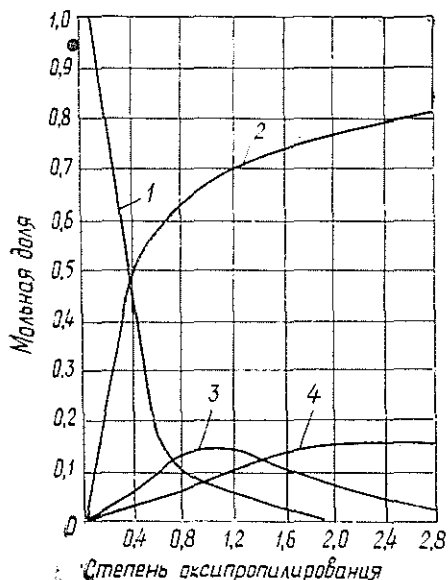


Рис. 5. Зависимость химического состава оксипропилированного таллового масла от степени оксипропилирования.

1 — талловое масло; 2 — моноэфиры; 3 — диэфиры; 4 — полигликоли.



С целью увеличения выхода моноэфира процесс необходимо вести при невысоких температурах и небольших количествах катализатора. При получении оксипропиленгликолевого моноэфира с узким фракционным составом необходимо использовать катализатор основного характера.

При оптимальных условиях можно достичь почти 100%-ного расхода кислотной фракции таллового масла на образование оксипропиленгликолевых эфиров.

#### ЛИТЕРАТУРА

- [1]. Аналитическая химия полимеров. Л., ИЛ, 1963, т. 1. [2]. Гершанова Э. Л. (Хинчина). Синтез линейных полиэфиров из моноэпоксидных соединений и дикарбоновых кислот. Дис. на соиск. учен. степени канд. хим. наук. М., МХТИ им. Менделеева, 1965. [3]. Канадский патент 500346. [4]. Сумароков В. П., Ваньян М. Л., Аскинази А. И. Талловое масло. М., «Лесная промышленность», 1965. [5]. Швец В. Ф., Трушин А. М., Лебедев Н. Н. — «Прикладная химия», 1972, т. 45, вып. 4, с. 829. [6]. L. Shecter, L. Wynstra. Ind. and Eng. Chem., 1 jan. 1959, v. 48. [7]. Siggia S., Starke A., Caris, Stathe C. — Anal. Chem., 1 jan. 1958, No. 30. [8]. Wrigley A. N., Smith E., Stirton A. — J. of Am. oil Chem. Soc., jan. 1959, 36.

Поступила 24 сентября 1975 г.

УДК 634.0.813.11

### ИССЛЕДОВАНИЕ ОСТАТОЧНЫХ ЛИГНИНОВ, ВЫДЕЛЕННЫХ ИЗ ЦЕЛЛЮЛОЗНЫХ МАСС ПОСЛЕ ЩЕЛОЧНЫХ ВАРОВ

Б. Д. БОГОМОЛОВ, О. Ф. ГОРБУНОВА, О. М. СОКОЛОВ

Архангельский лесотехнический институт

Представлены результаты исследования остаточных лигнинов, выделенных из целлюлозных масс и из древесины в виде тиогликолевокислотных производных. Показано влияние условий делигнификации на изменение физико-химической характеристики остаточных лигнинов.

В процессе щелочной делигнификации природный лигнин постепенно превращается в щелочной и растворяется в щелоке. В начальных стадиях варок при низких температурах большая часть лигнина остается в древесной массе, хотя и подвергается определенным изменениям. Для полного понимания процесса делигнификации наряду с изучением растворившихся лигнинов необходимо исследовать лигнины, оставшиеся в древесном комплексе.

Цель настоящей работы — изучить изменения химических и физико-химических свойств остаточных лигнинов, извлеченных из целлюлозных масс после сульфатных и натронных варок для получения информации о превращениях лигнина в твердой фазе.

Для извлечения лигнина из целлюлозных масс применен тиогликолевокислотный метод [6], позволяющий почти полностью провести делигнификацию растительного материала [2, 5, 7]. В качестве образцов использовали массы после натронных и сульфатных варок древесины сосны при температурах 100—180°C и исходную древесину — для сравнения.

Из данных табл. 1 следует, что при щелочных варках выход тиогликолевокислотных лигнинов (ТГЛ) из масс по сравнению с их выходом из исходной древесины снижается и при сульфатных варках в большей степени, чем при натронных. Доля лигнина, который не пе-

Таблица 1

Влияние условий щелочной обработки  
на выход тиогликолевокислотных лигнинов

Исходный материал	Температура варок, °С	Содержание лигнина, %	Выход после тиогликолевокислотной обработки, %		
			нерастворимых продуктов	нерастворимого лигнина, от содержащегося в исходном материале	растворимого лигнина после очистки, от содержащегося в исходном материале
Сульфатные массы	100	28,7	62,6	5,7	60,0
	120	27,2	61,8	12,0	63,0
	140	13,5	57,8	13,7	...
	160	8,0	77,8	45,5	63,5
	180	3,0	79,8	76,5	24,0
Натронные массы	100	30,6	67,2	7,6	58,0
	120	29,9	65,3	8,0	60,0
	140	27,7	64,2	8,0	58,6
	180	5,7	82,7	22,1	58,4
Древесина	—	26,6	52,4	4,2	67,0

реходит в раствор после тиогликолевокислотной обработки, растет от 4,2% для исходной древесины до 22,1 и 76% соответственно для масс от натронных и сульфатных варок с повышением температуры до 180°C.

Таблица 2

Содержание серы, фенольных гидроксидов и выход ванилина  
при нитробензольном окислении лигнинов

Лигнин	Температура варки, °С	Содержание в лигнинах			Выход ванилина, %		
		серы в ТГЛ, %	фенольных гидроксидов, мг-экв/г,		от навески в ТГЛ	с учетом SCH <sub>3</sub> COOH в ТГЛ	из лигнинов щелока
			в ТГЛ	из щелока			
Сульфатный	100	6,30	2,27	2,89	8,6	10,5	9,0
	120	6,25	2,20	2,40	8,5	10,4	11,0
	140	5,40	2,60	2,80	10,5	12,6	9,5
	160	5,00	3,40	3,45	7,7	9,3	5,0
	180	4,50	3,50	3,50	6,5	7,4	3,5
Натронный	100	6,45	1,83	2,60	11,1	13,6	7,5
	120	6,63	2,40	2,40	10,0	12,0	12,2
	140	5,35	2,50	2,50	11,0	12,3	10,0
	180	3,50	4,00	3,60	6,0	7,6	6,0
Из исходной древесины	—	7,30	2,10	...	19,2	22,3	...

Определение содержания серы в ТГЛ из целлюлозных масс показало, что после щелочных обработок, как в присутствии сульфида натрия, так и без него, снижается количество активных центров (табл. 2), способных к присоединению тиогликолевокислотных групп (ТГГ). По данным функционального анализа, растворившиеся сульфатные лигнины по сравнению с остаточными имеют несколько более высокое содержание фенольных гидроксидов. Повышение количества фенольных гидроксидов в остаточных лигнинах по сравнению с лигнинами, выделенными из исходной древесины, свидетельствует о том, что расщепление эфирных связей начинается еще в твердой фазе.

Таблица 3

Элементный и функциональный состав единиц лигнина (C<sub>9</sub>)

ТГЛ	Температура варки, °С	Н	О	ОСН <sub>3</sub>	СО	ОН <sub>фен</sub>	СООН	SCH <sub>3</sub> COOH
Из исходной древесины		8,60	1,80	0,90	0,17	0,46	0,08	0,53
Из сульфатной массы	100	8,45	1,66	1,00	0,19	0,40	0,09	0,45
	120	8,55	1,60	1,00	0,18	0,45	0,09	0,40
	140	8,50	1,60	0,98	0,22	0,51	0,09	0,37
	160	8,60	1,40	0,97	0,21	0,59	0,11	0,37
	180	8,60	2,78*	0,91	...	...	...	0,23
Из натронной массы	100	7,50	1,86	1,11	...	0,37	0,05	0,46
	120	7,70	1,80	1,08	...	0,45	0,08	0,40
	140	7,80	1,83	1,03	...	0,48	0,18	0,34
	180	8,00	2,05	0,90	...	0,80	0,19	0,21

\* Без учета СО, СООН, ОН<sub>фен</sub>.

На основании данных элементного анализа и функционального состава рассчитан состав элементарного звена (C<sub>9</sub>). Как видно из данных табл. 3, для остаточных лигнинов температура варок влияет наиболее заметно на содержание ТГЛ и фенольных гидроксидов. С повышением температуры от 100 до 180°C количество ТГЛ снижается в 2,0—2,5 раза, что свидетельствует об уменьшении реакционной способности бензильного положения лигнина. Можно полагать, что определенная часть лигнина полностью теряет способность к присоединению вышеуказанных группировок.

Из соотношения ТГЛ и фенольных гидроксидов, содержащихся в препаратах лигнинов, выделенных из масс и древесины (табл. 3), следует, что в результате варок уже при температуре 100°C снижается количество α-арилэфирных связей в остаточных лигнинах. Можно полагать, что отщепившиеся фрагменты лигнина с более высоким содержанием фенольных гидроксидов переходят в раствор щелока. Заметное возрастание их в остаточных лигнинах при температуре варки 140°C происходит, по-видимому, за счет расщепления β-эфирных связей.

Таблица 4

Молекулярные массы  
и молекулярно-массовое распределение ТГЛ

Лигнин	Температура варки, °С	Массовая доля лигнина, %, с ММ			СММ (M <sub>w</sub> ) лигнина	
		выше 10 000	от 5000 до 10 000	до 5000	глюко-левоглюко-литорного	выделенного из черного щелока
Из сульфатной массы	100	56,3	8,8	35,9	23500	12000
	120	54,6	11,0	32,4	21400	18000
	140	67,3	12,1	20,6	28700	10000
	160	65,5	14,6	19,9	29700	7000
	180	26,2	17,3	56,5	10800	4300
Из натронной массы	100	79,0	9,0	12,0	26900	12000
	120	68,6	13,2	19,2	25700	15000
	140	64,0	15,0	21,0	21800	20000
	180	50,0	26,6	23,2	12500	7000
Из исходной древесины	—	57,0	23,5	19,5	18000	—

Исследование молекулярных масс (ММ) тиогликолевокислотных лигнинов методом гель-фильтрации показало, что для большинства препаратов фракция с ММ > 10 000 — наиболее характерная (табл. 4). Количество этой фракции значительно влияет на величину среднемассовой молекулярной массы (СММ) образцов. Из данных табл. 4 следует, что все остаточные лигнины после щелочных варок в интервале температур 100—160°C имели более высокие ММ по сравнению с лигнинами исходной древесины, за исключением лигнинов от варок при 180°C. Для растворившихся в щелоке натронных лигнинов свойственны несколько более высокие величины СММ по сравнению с растворившимися сульфатными лигнинами.

Сопоставление СММ лигнинов, выделенных из целлюлозных масс после щелочных варок (21 000—29 000) и перешедших в раствор щелока (18 000—20 000), позволяет предположить, что максимальная среднемассовая молекулярная масса, при которой лигнин может растворяться в щелоке, равна 20 000.

Сравнение выходов ванилина при нитробензольном окислении лигнинов, выделенных из масс и черных щелоков, с выходами ванилина из лигнина, выделенного из исходной древесины, показало (табл. 2), что остаточные лигнины сильно изменены по сравнению с лигнинами из древесины и дают значительно более низкий выход ванилина даже из щелочных масс от варок при низких температурах. Следует отметить, что выходы ванилина из лигнинов масс от варок при температурах, не превышающих 140°C, и из лигнинов щелока довольно близки. По-видимому, интенсивное расщепление эфирных связей, приводящее к снижению ММ остаточных лигнинов, происходит при температурах выше 140°.

Следовательно, щелочная варка древесины значительно влияет на характеристику остаточных лигнинов (значения ММ, выход ванилина) уже при низких температурах. В раствор щелока переходит лигнин с более низкой ММ, чем остаточный. Расщепление эфирных связей с образованием новых фенольных гидроксильных групп характерно как для сульфатных, так и для натронных лигнинов, и начинается этот процесс еще в твердой фазе, то есть в остаточных лигнинах. Снижение реакционной способности остаточных лигнинов отражается на количестве присоединившихся ТГГ.

### Методика эксперимента

Варки проводили по однотипным графикам [1] с сульфатными и натронными щелоками с содержанием активной щелочи 50 г/л в расчете на едкий натр при модуле 6. Сульфидность сульфатных щелоков 30%. Температура варок 100—180°C с интервалом в 20°. Из черных щелоков лигнины были выделены при подкислении соляной кислотой и затем промыты водой. Из целлюлозных масс после варок и из древесины лигнины выделяли по методике Холмберга: обработкой водным раствором тиогликолевой кислоты (концентрацией около 150 г/л), содержащим 1 н. соляную кислоту в качестве катализатора, на кипящей водной бане в течение 2,5 ч. Далее массы промывали водой до нейтральной реакции и экстрагировали раствором 2 н. едкого натра при температуре 90—95°C в течение 0,5 ч. Из щелочных растворов тиогликолевокислотные лигнины были выделены подкислением 1 н. соляной кислотой. После промывки водой и высушивания ТГГ очищали переосаждением из диоксиана в эфир.

Выход ванилина определяли при нитробензольном окислении лигнинов в 2 н. растворе щелочи при температуре 180°C в течение 2 ч в автоклавах-ампулах из нержавеющей стали емкостью 5 мл (20 мг лигнина, 2 мл 2 н. едкого натра и 0,6 мл нитробензола). Выделение ванилина из продуктов проводили методом восходящей, бумажной хроматографии в течение 20 ч с использованием бутанола, насыщенного водой, в качестве растворителя. Пятна ванилина экстрагировали спиртом и ванилин определяли количественно на электрофотокolorиметре (ФЭК-М) по реакции с 2,4-динитрофенилгидразином.

Функциональные группы определяли по методам, приведенным в литературе ([3], с. 16, 63), серу — сожженным в колбе, наполненной кислородом. Молекулярные массы находили методом гель-фильтрации на сефадексе G-75 с диметилсульфоксидом в качестве элюента. Рассчитывали ММ с помощью ЭВМ при использовании зависимости  $K_d^{1/3} = 1,0646 - 0,48193 \cdot 10^{-2} M^{1/2}$  [4].

Итак, увеличение содержания фенольных гидроксидов и снижение выхода ванилина при нитробензольном окислении остаточных лигнинов после щелочных варок свидетельствуют о том, что процессы деструкции и конденсации протекают в твердой фазе. Заметная деградация остаточных лигнинов идет при температурах выше 160°C. Остаточные лигнины от варок при температурах 100—160°C имеют величину СММ в пределах 20 000—30 000.

#### ЛИТЕРАТУРА

[1]. Богомолов Б. Д. Последние достижения в области химии щелочной варки. — В кн.: Химия древесины. Рига, «Зинатне», 1968, с. 157—178. [2]. Браунс Ф. Э., Браунс Д. А. Химия лигнина. М., «Лесная промышленность», 1964, 864 с. [3]. Закис Г. Ф., Можейко Л. Н., Тельшева Г. М. Методы определения функциональных групп. Рига, «Зинатне», 1975, 173 с. [4]. Соколов О. М., Богомолов Б. Д., Бабилова Н. Д., Кочергина Г. Г. Методика пересчета кривых гель-хроматографии в истинные кривые МВР. Соколов О. М., Богомолов Б. Д., Бабилова Н. Д., Кочергина Г. Г., Фесенко А. В. Установление зависимости между молекулярной массой и коэффициентом распределения гель-хроматографии с учетом полидисперсности эталонных образцов. — В кн.: Хроматографический анализ в химии древесины. Рига, «Зинатне», 1975, с. 68—78. [5]. Шорыгина Н. Н., Резников В. М., Елкин В. В. Реакционная способность лигнина. М., «Наука», 1976, 367 с. [6]. Graessle F. E. The Chemistry of Lignin. N.-Y., 1952. [7]. Noghah I., Glasser W. G. The structure of Lignin in pulps. A new isolation method with thioglycolic acid. — *Tappi*, 1976, No. 10, p. 110—113.

Поступила 29 сентября 1977 г.

УДК 678.029.42

### ИССЛЕДОВАНИЕ СКЛЕИВАНИЯ ДРЕВЕСИНЫ КЛЕЯМИ НА ОСНОВЕ МОЧЕВИНО-ФОРМАЛЬДЕГИДНЫХ СМОЛ, МОДИФИЦИРОВАННЫХ ИЗОЦИАНАТАМИ

А. Д. КОЛЕШНЯ, Н. А. МИХАЙЛОВ, Л. Н. СТАДНИК,  
Н. И. ПОПОВА

Воронежский лесотехнический институт

Изучено модифицирующее влияние различных диизоцианатов на карбамидные смолы, используемые при склеивании древесины.

Для склеивания древесных материалов наиболее часто применяют клеи на основе мочевино-формальдегидных смол. Значительному улучшению свойств промышленных синтетических смол в большой степени способствует их модификация различными реагентами. В частности, известны модификации мочевино-формальдегидной смолы бутиловыми и фуриловыми спиртами [6], поливинил-ацетатной дисперсией [3], амидохлоргидрином [1], аминоэпоксидом [5]. В последнее время появились работы по использованию изоцианатов в качестве связующих [7, 8], а также активных добавок в феноло-формальдегидные смолы. При этом значительно увеличиваются прочность склеивания, стойкость к воздействию воды, кислот, щелочей, к действию разрушающего древесину грибка, уменьшаются продолжительность прессования и влажность готовых изделий.

Цель настоящей работы — изучить влияние различных диизоцианатов в качестве модифицирующих добавок к мочевино-формальдегидным смолам на клеящие свойства смол при склеивании древесины.

Для модификации были использованы мочевино-формальдегидные смолы марок УКС и КС-68. Модификаторами взяты: ароматический 2,4-толуиленидиизоцианат (2,4 ТДИ); алифатический 1,6-гексаметилендиизоцианат (1,6 ГМДИ); олигомер на основе 2,4 ТДИ и полиурита с концевыми изоцианатными группами (СКУ-ПФЛ). Модификатор добавляли в количестве 0,25; 0,5; 0,75; 1; 2; 3; 5% от массы смолы. Композицию приготавливали при комнатной температуре (20°C) и перемешивании в течение 5 мин и наносили на березовый шпон размером 120 × 20 мм. Расход клея составил 120 г/м<sup>2</sup>. Изготавливали трехслойные образцы при температуре прессования 140°C и продолжительности выдержки под давлением в течение 3 мин. Образцы испытывали на сдвиг на машине МРС-50 через сутки после изготовления.

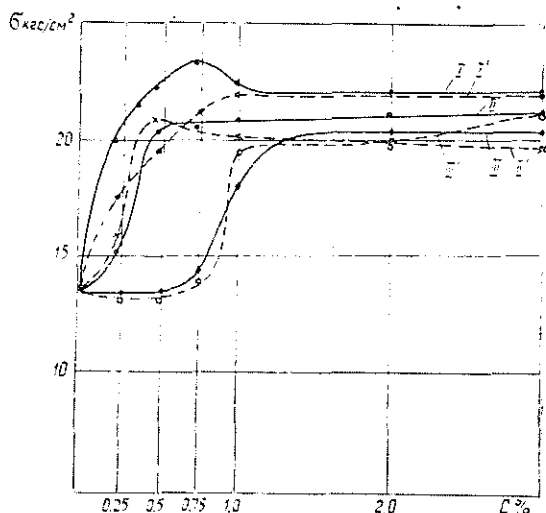


Рис. 1.

*I* — модификатор СКУ-ПФЛ; *II* — 2,4 ТДИ; *III* — 1,6 ГМДИ; *IV*, *IV'*, *IV''* — соответствующие аппроксимирующие кривые.

На рис. 1 представлены зависимости разрушающего напряжения при сдвиге  $\sigma$  от концентрации изоцианата  $C$ , вводимого в смолу УКС. Уже небольшие добавки изоцианатов (0,5—1,0%) позволяют значительно (в 1,5—1,7 раза) повысить прочность при склеивании древесины. Введение больших количеств изоцианата не приводит к существенному увеличению прочности. Природа изоцианата оказывает влияние на оптимальное количество изоцианата при склеивании. Так, например, более высокая (в оптимуме) прочность при использовании ароматического 2,4 ТДИ вызвана жесткостью ароматического кольца.

Большая реакционная способность 2,4 ТДИ по сравнению с 1,6 ГМДИ обуславливает для первого изоцианата достижение максимума прочности уже при добавлении 0,5% (по сравнению с 1% для 1,6 ГМДИ). Наибольшее значение прочности на сдвиг наблюдается для смолы УКС, модифицированной 0,75% олигомера СКУ-ПФЛ, что вызвано наличием относительно длинных и прочных уретановых цепочек. Аналогичные зависимости получены для смолы КС-68.

Экспериментальные данные были статистически обработаны, в результате чего установлен вид корреляционной зависимости  $\sigma$  от концентрации изоцианата для каждой кривой (рис. 1). По полученным уравнениям регрессии установлена теснота корреляционной связи [2]. Для криволинейного участка кривой *I* (рис. 1) уравнение регрессии имеет вид

$$Y = -2,15X^2 + 10,5X + 14,16 \quad (\text{параболическая корреляция второго порядка});$$

для прямолинейного участка этой кривой

$$Y = 0,6X + 21,56.$$

Отклонения расчетных и наблюдаемых значений достаточно малы. Например, при 0,5% изоцианата  $Y_{\text{расч}} \approx 19$ , а  $Y_{\text{набл}} \approx 22$ , при 1% изоцианата  $Y_{\text{расч}} = 22,5$ ;  $Y_{\text{набл}} = 21,5$ .

Для кривой II уравнение регрессии имеет вид

$$Y = -0,55X + 21,55 \text{ (на участке 0,5 — 3\%)}.$$

Для кривой III

$$Y = 0,56X + 19,1 \text{ (на участке 1 — 3\%);}$$

$$Y = 0,001X + 13,64 \text{ (на участке 0 — 0,75\%)}.$$

Малый разброс значений вокруг условных средних в точках концентрации говорит о слабой статистической зависимости  $\sigma$  от  $C$ . Что касается интервала 0,75—1%, то, очевидно, здесь налицо тесная корреляционная связь, поскольку наблюдается резкое увеличение значений  $\sigma$ . Для наглядности на рис. 1 представлены аппроксимирующие кривые.

Было также определено влияние температуры прессования на прочность клеевых соединений на модифицированной смоле (рис. 2). На основании полученных результатов можно сделать вывод, что оптимальной является температура 140°C. Поэтому остальные испытания проводили, в основном, при этой температуре.

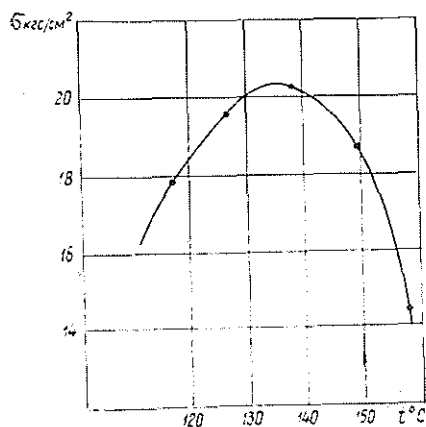


Рис. 2. Разрушающее напряжение при сдвиге в зависимости от температуры прессования  $t$  (смола КС-68, модифицированная 1%-ной добавкой 2,4 ТДИ).

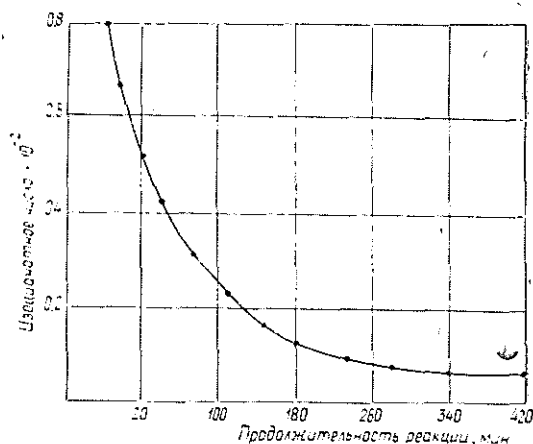


Рис. 3.

С целью установления факта химического взаимодействия между смолой и изоцианатом по методу аминного эквивалента было определено содержание изоцианатных групп в композиции в момент смешения и по истечении определенного времени. Смешение и отбор проб проводили при комнатной температуре. В качестве модификатора был взят 1,6 ГМДИ в количестве 5%.

Изоцианатное число определяли по известной методике [4].

На рис. 3 представлена зависимость изоцианатного числа от продолжительности реакции для смолы УКС, модифицированной 5%-ной добавкой 1,6 ГМДИ.

Уменьшение количества изоцианатных групп свидетельствует, по видимому, о химическом взаимодействии изоцианатных групп с метильными группами смолы, что приводит к получению пространственного сшитого полимера. Определяли растворимость полученной модифицированной смолы в различных растворителях. Было показано, что образцы проявляют хорошую стойкость к воде, толуолу, ацетону, хлороформу, четыреххлористому углероду.

При экстрагировании образцов модифицированной смолы ацетоном в аппарате Сокслета и последующей сушке до постоянного веса была определена степень сшивки полученных полимеров (96—99,2%). Это обуславливает хорошую стойкость клеевых соединений, полученных на основе модифицированной смолы, к действию различных растворителей и температуры.

#### ЛИТЕРАТУРА

- [1]. Азаров В. И., Тришин С. П., Цветков В. Е. Модификация мочевиноформальдегидных смол амидохлоридрином. — «Научные труды МЛТИ. Технология древесных пластинок и плит», 1975, № 81. [2]. Гмурман В. Е. Теория вероятностей и математическая статистика. М., «Высшая школа», 1972. [3]. Гриншпун С. Д., Иванов Н. А. — «Машинистроитель», 1967, № 12. [4]. Лосев И. П., Федотова О. Я. Практикум по химии высокомолекулярных соединений. М., Госхимиздат, 1962. [5]. Смольникова В. Г. Исследование клеевых соединений древесины карбамидными клеями, модифицированными аминопексидом. — «Научные труды МЛТИ. Технология древесных пластинок и плит», 1975, № 81. [6]. Темкина Р. З. Синтетические клеи в деревообработке. М., «Лесная промышленность», 1971. [7]. Derpe H. J., Ernst K. — «Holz als Roh und Werkstoff», 1971, No. 2. [8]. Roffael, Rauch. — «Holz als Roh und Werkstoff», 1973, No. 10.

Поступила 12 декабря 1977 г.

УДК 676.2 + 678.031

### РАЗРАБОТКА ОПТИМАЛЬНЫХ СОСТАВОВ ДЛЯ ПРОКЛЕЙКИ В МАССЕ ЛАТЕКСАМИ И ГИДРОФОБИЗИРУЮЩИМИ ЭМУЛЬСИЯМИ

П. Ф. ВАЛЕНДО, А. П. ГЛАЗУНОВ, А. П. НЕМИРОВ,  
П. А. КОНСТАНТИНОВА, Л. А. ГОЛУТВИНА

Белорусский технологический институт

Рассмотрена возможность замены дефицитной канифоли дисперсиями гидрофобных веществ при проклейке листовых волокнистых материалов в массе.

До недавнего времени предприятия целлюлозно-бумажной промышленности поставляли автомобильным заводам водостойкий картон, проклеенный в массе битумной эмульсией. Однако битумная проклейка не обеспечивает требуемых свойств картона и с гигиенической точки зрения является источником вредности производства и загрязнения сточных вод. В настоящее время для обеспечения водостойкости картона в массу вводят эмульсию церезина и латекс СКС-65 ГП; в качестве эмульгатора используют дорогостоящий продукт — олеиновую кислоту.



Цель настоящей работы — изыскание эффективных и дешевых проклеивающих составов, введение которых в массу волокнистого материала обеспечивает картону все необходимые свойства.

Были исследованы проклеивающие составы из гидрофобизирующих эмульсий: кремнийорганической СКТВ-1 и канифольно-парафиновой в сочетании с промышленными латексами ЛНТ-1 и МХ-30 [1, 2, 4—8]. Для регулирования процесса проклейки и достижения гетероадагуляции в системе «волокно — каучуковый латекс — гидрофобизирующая эмульсия» применяли активные регуляторы — резинат натрия и сульфатное мыло. Оптимальные составы проклеивающих смесей определяли методом симплексного планирования эксперимента [3]. Параметр оптимизации (степень проклейки) находили по методу Кобба.

В первом варианте проклеивающую смесь готовили из канифольно-парафиновой эмульсии, латекса ЛНТ и бурого клея. Суммарный расход всех компонентов во всех вариантах составил 6% от массы абс. сухого волокна. Полученные образцы элементарных слоев картона испытывали по методу Кобба на впитываемость. По результатам эксперимента были найдены коэффициенты, составлено уравнение регрессии и построена диаграмма «состав — свойство» зависимости впитываемости картона от расхода проклеивающей смеси (рис. 1). Из диаграммы

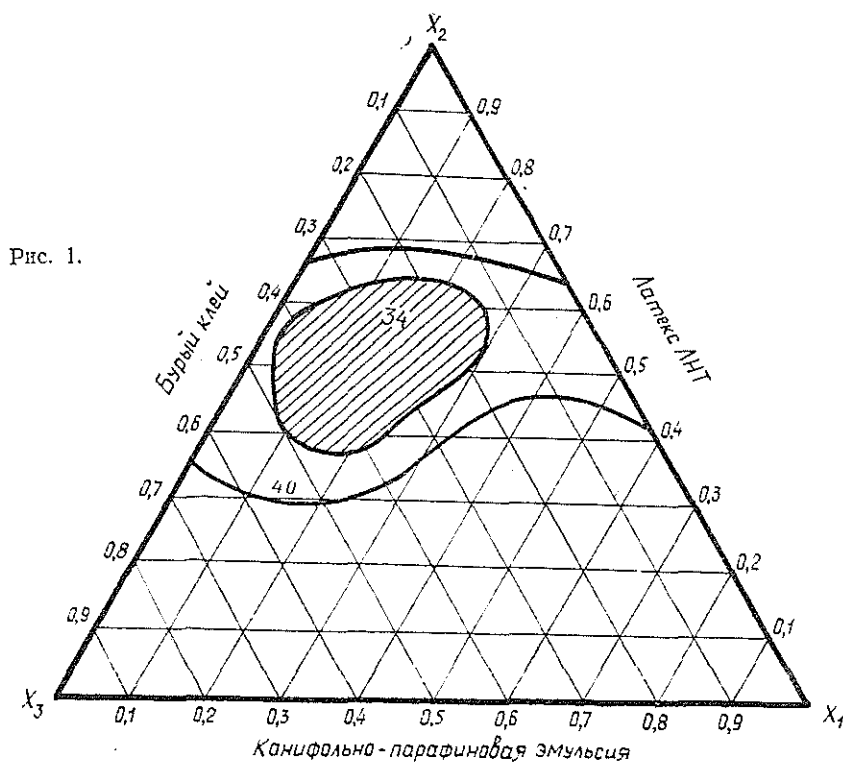


Рис. 1.

следует, что оптимальная проклейка по Коббу 34—40 г/м<sup>2</sup> получается при расходах канифольно-парафиновой эмульсии  $X_1 = 1,2 \div 1,8\%$ \*, латекса ЛНТ  $X_2 = 2,4 \div 3,0\%$ , бурого клея  $X_3 = 1,2 \div 2,4\%$ . Во втором

\* Здесь и ниже проценты от массы абс. сухого волокна.

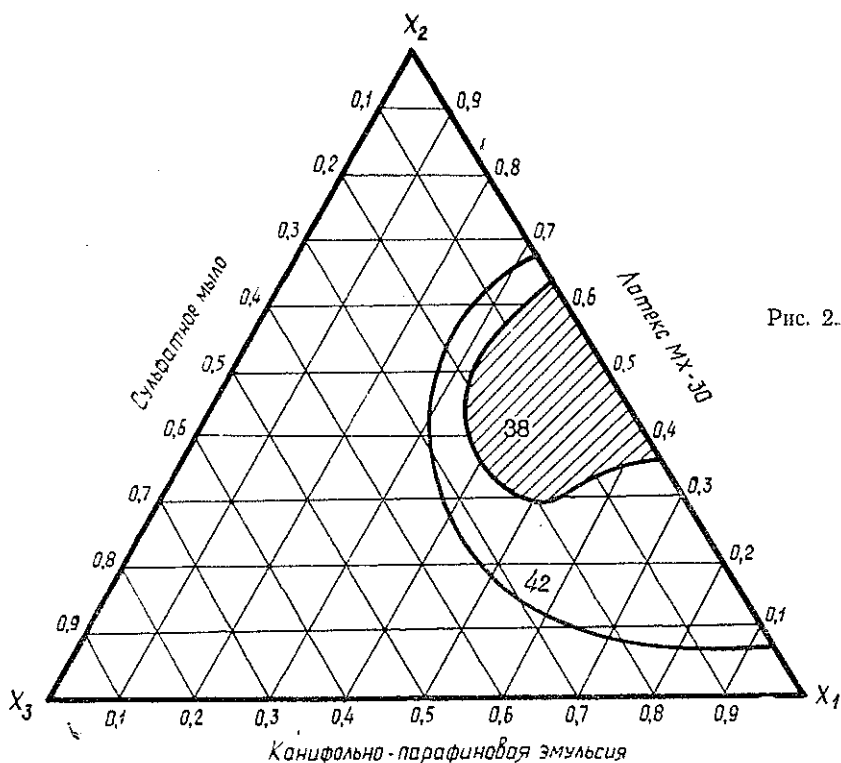


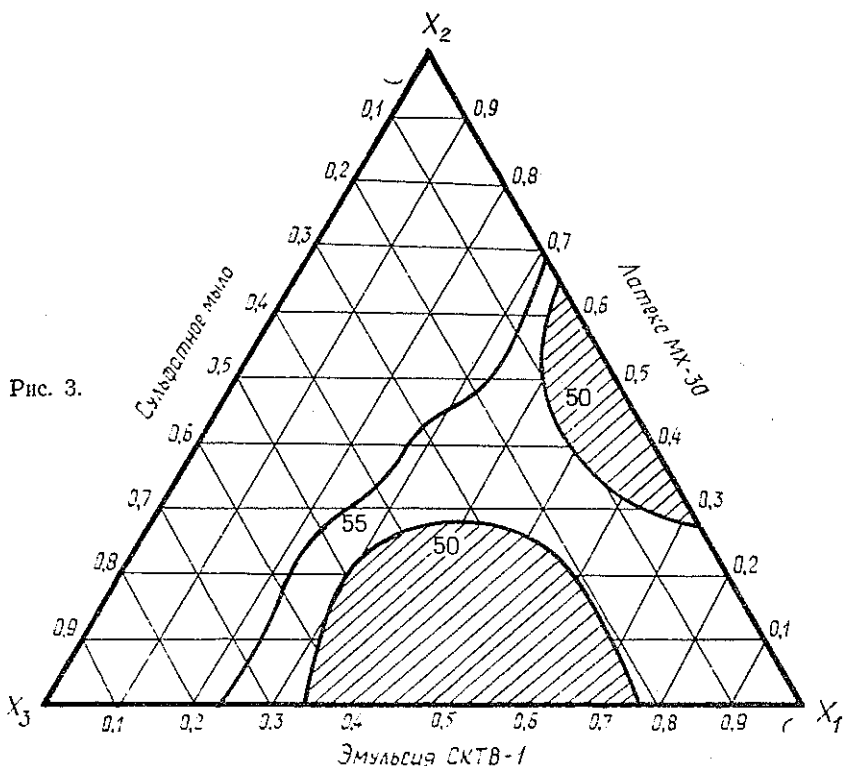
Рис. 2.

варианте при замене бурого клея сульфатным мылом, а латекса ЛНТ хлоропреновым латексом МХ-30 оптимальное соотношение компонентов в проклеивающей смеси меняется: канифольно-парафиновой эмульсии  $X_1 = 2,4 \div 3,2\%$ , латекса МХ-30  $X_2 = 1,5 \div 3,0\%$ , сульфатного мыла  $X_3 = 0,6 \div 1,0\%$  (рис. 2).

Сравнение данных по двум вариантам показывает, что применение сульфатного мыла в качестве регулятора проклейки обеспечивает низкие показатели впитываемости элементарных слоев картона. Однако при использовании сульфатного мыла несколько повышается расход канифольно-парафиновой эмульсии. Это объясняется тем, что сульфатное мыло обладает меньшим гидрофобизирующим действием по сравнению с бурым клеем. Несмотря на это, применение его в композиции проклеивающей смеси целесообразно, так как позволяет сократить количество дорогостоящей канифоли.

Полидиметилсилоксановую эмульсию СКТВ-1 применяли для проклейки в массе совместно с латексом МХ-30 и сульфатным мылом. Наилучшие показатели проклейки по Коббу  $50\text{—}55 \text{ г/м}^2$  в данном случае имеют образцы элементарных слоев картона, проклеенные смесью, содержащей  $2,4\text{—}3,6\%$  эмульсии СКТВ-1 ( $X_1$ ),  $1,2\text{—}2,4\%$  латекса МХ-30 ( $X_2$ ) и  $0,6\text{—}2,4\%$  сульфатного мыла ( $X_3$ ) (рис. 3).

Анализируя диаграммы «состав — свойство», приведенные на рис. 2 и 3, можно заметить, что для достижения одного и того же значения впитываемости элементарных слоев картона требуется больший расход эмульсии СКТВ-1, чем канифольно-парафиновой, следовательно, последняя имеет более высокие гидрофобные свойства.



Нами было получено несколько оптимальных составов проклеивающей смеси для получения водостойкого картона. Оптимум проклейки, как видно из диаграмм (рис. 1—3), различен для каждого вида проклеивающей смеси.

С целью выбора наиболее эффективного и дешевого проклеивающего состава, который можно рекомендовать для проведения опытно-промышленных выработок, были изготовлены и испытаны опытные образцы водостойкого картона из бурой древесной массы. Все полученные образцы картона по впитываемости удовлетворяли требованиям ГОСТа 6659—73. Однако наилучшие показатели впитываемости (4,28%) получены при проклейке смесью, состоящей из канифольно-парафиновой эмульсии (3%), латекса МХ-30 (2,4%), сульфатного мыла (0,6%).

На основании лабораторных исследований была проведена опытно-промышленная выработка водостойкого картона на Новолялинском целлюлозно-бумажном комбинате. Введение проклеивающего состава взамен битумной эмульсии в композицию картона не вызвало технологических затруднений; выпадения проклеивающих веществ (латекса, парафина) на сеточных цилиндрах и сукнах не наблюдалось, что свидетельствует о гетероадагуляции частиц проклеивающей смеси в волокнистой массе. Впитываемость водостойкого картона опытной выработки после выдерживания в воде в течение 30 мин составила 6,75%, что соответствует требованиям ГОСТа 6659—73.

#### ЛИТЕРАТУРА

[1]. Валендо П. Ф., Белогуров П. Ф., Колесников В. Л., Голутвина Л. А. Разработка технологии латексной проклейки мешочной бумаги. — В сб.: Химия и химическая технология. Минск. 1975, вып. 8, с. 146—152. [2]. Пет-

ров А. П. Поверхностная проклейка бумаги и картона. М., 1968, с. 68—70. [3]. Пижурин А. А. Современные методы исследования технологических процессов в деревообработке. М., 1972, с. 125—128. [4]. Родин В. А., Смирнов В. А. Влияние проклейки латексом СКС-75К на показатели жесткости и влагостойкость бумаги и картона. — «Целлюлоза, бумага и картон». Реф. информ. М., 1972, № 5, с. 10—11 (ВНИПИЭИлеспром). [5]. Русакова О. И., Кудрина Н. Д., Жихарев В. А. О возможности частичной замены канифоляного клея латексом при проклейке бумаги. — Сборник трудов ЦНИИБа, 1973, вып. 8, с. 17—21. [6]. Тищенко А. Ф., Цешковская Д. Л. Антиадгезионная и гидрофобная бумага с силиконовыми составами. М., 1968, с. 18—19 (ЦНИИТЭИлеспром). [7]. Цветков Б. Н., Седов А. В. Гидрофобизирующие вещества на неканфолевой основе в производстве бумаги и картона. М., 1973, с. 5—7. [8]. Corbin H. E. Wax emulsion can improve properties and reduce costs in paper sizing. — «Pulp and Pap. Tnt.», 1974, 16, No. 9, p. 25—26, 42.

Поступила 12 декабря 1977 г.

УДК 547.992.3 : 542.943

## ОКИСЛЕНИЕ МОДЕЛЬНЫХ СОЕДИНЕНИЙ ЛИГНИНА В ВОДНОМ РАСТВОРЕ АММИАКА

Т. Г. ЕКИМОВА, Д. А. ПОНОМАРЕВ, М. Я. ЗАРУБИН

Ленинградская лесотехническая академия

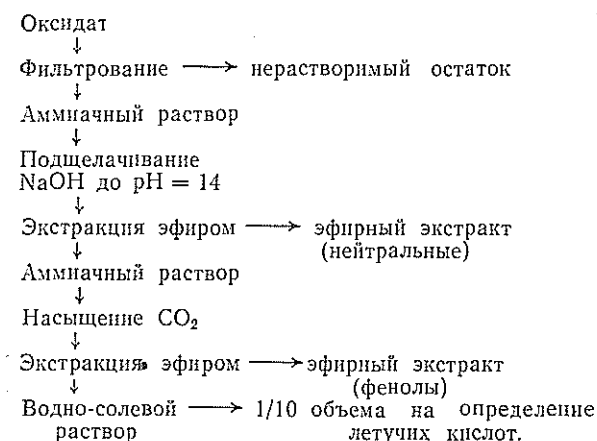
Проведено окисление гваякола, вератрола, изоэвгенола, ванилина,  $\alpha$ -гваяцилпропанона и фенола молекулярным кислородом в водном растворе аммиака.

Разработка способа делигнификации древесины методом окислительного аммонолиза [5] выдвигает задачу исследования превращения компонентов древесины, в частности лигнина, в условиях этого процесса. Изучению поведения препаратов лигнина и его модельных соединений в условиях оксиаммонолиза посвящен ряд работ [1, 3, 4, 6—10], однако рассмотренные в них условия реакции существенно отличаются от параметров предложенного технологического процесса, прежде всего выбором окислителя. Так, например, в работах [4, 8] рассмотрено действие кислорода воздуха на лигнин, в работе [9] — действие перекиси водорода, в работе [3] — персульфата аммония; оксиаммонолиз проводили при высоких температурах [4, 8, 9], было изучено окисление в отсутствие растворителя [4].

Из-за такого различия в условиях реакции полученные данные весьма приблизительно можно перенести на делигнификацию древесины методом оксиаммонолиза. Поэтому мы изучили поведение модельных соединений лигнина при окислении их кислородом в водных растворах аммиака. На первоначальной стадии исследования предполагалось установить фракционный состав полученных оксидатов и выполнить предварительный качественный анализ выделенных фракций. Необходимо было также определить количество связанного азота в отдельных фракциях и формы связывания азота в полученных оксидатах.

В качестве объектов исследования были выбраны фенол, гваякол, вератрол, изоэвгенол, ванилин и  $\alpha$ -гваяцилпропанон, что позволило сравнить окисление фенолов, замещенных различными по электрохимической природе заместителями.

Полученные в результате варок реакционные смеси были фракционированы по следующей схеме:



Данные по фракционному составу (табл. 1) показывают, что процесс полимеризации в наибольшей степени наблюдается для изоэвгенола (выход нерастворимого остатка 70,7%). Полимеризация этого соединения может идти за счет окислительного сочетания фенолов [11] и полимеризации боковой цепи.

Таблица 1

Фракционный состав продуктов окислительного аммонолиза модельных соединений лигнина (г/% от веса исходного соединения)

Модельное соединение	Навеска, г	Нерастворимый остаток, г/%	Нейтральная фракция, г/%	Фенольная фракция, г/%
Фенол	20	1,89/9,5	0,28/1,4	16,54/82,7
Гваякол	20	4,13/21,6	0,38/1,9	3,46/17,3
Вератрол	20	0,08/0,4	18,88/94,4	0,04/0,2
Изоэвгенол	10	7,07/70,7	0,01/0,1	0,07/0,7
Ванилин	10	1,56/15,6	—	0,10/1,0
$\alpha$ -гваяцилпропанон	5	1,46/29,2	0,03/0,6	0,39/7,8

Низкий выход нерастворимого остатка для собственно фенола (9,5%) и высокий выход фенольной фракции (82,7%) говорят о сравнительно низкой реакционной способности этого соединения в наших условиях.

Выход нейтральных продуктов для всех соединений, кроме вератрола, незначителен. Для вератрола эта фракция состоит, в основном, из непрореагировавшего исходного вещества.

Методом тонкослойной хроматографии показано, что фенольные фракции продуктов варок модельных соединений представляют собой смеси из нескольких компонентов, одним из которых является исходное соединение. В качестве примера приводим тонкослойные хроматограммы фенольных фракций для варок гваякола и ванилина.

На основании данных по выходу летучих кислот (табл. 2) можно сделать вывод о глубине окисления рассматриваемых модельных соединений. Глубина окисления падает в ряду: ванилин,  $\alpha$ -гваяцилпропанон, изоэвгенол, гваякол, фенол, вератрол. Этот ряд согласуется с электрохимическими характеристиками связанных с ароматическим кольцом функциональных групп.

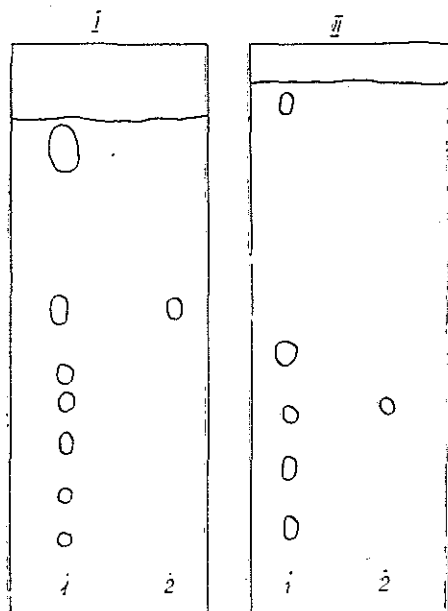


Рис. 1.

*I* — варка гваякола: 1 — фенольная фракция; 2 — гваякол; *II* — варка ванилина: 1 — фенольная фракция; 2 — ванилин. Система растворителей: дибутиловый эфир — уксусная кислота (10 : 1).

Данные о содержании азота в выделенных после окисления фракциях представлены в табл. 3.

Таблица 3

Содержание азота в продуктах окисления модельных соединений лигнина после фракционирования (%)

Модельное соединение	Нерастворимый остаток	Нейтральная фракция	Фенольная фракция
Фенол	5,62	1,32	1,14
Гваякол	3,32	0,92	0,0
Вератрол	4,81	1,45	5,06
Изоэвгенол	2,83	—	6,08
Ванилин	4,94	—	4,33
$\alpha$ -гваяцилпропанон	4,46	—	0,0

Интересно было определить, в каких формах азот фиксируется модельными соединениями лигнина в процессе окислительного аммонолиза. Из представленных в табл. 4 данных видно, что основная часть азота находится в щелоках в виде аммиака и аммонийного иона. Количество трудногидролизуемого азота рассчитано по разности между азотом, введенным в реакцию, и прочими формами азота и потерями.

Для изоэвгенола, ванилина,  $\alpha$ -гваяцилпропанона в щелоках увеличивается содержание легко- и трудногидролизуемых форм азота.

Таблица 2

Суммарное содержание летучих кислот в продуктах варок модельных соединений

Модельное соединение	Количество летучих кислот, % от исходного соединения*
Фенол	0,85
Гваякол	2,75
Вератрол	0,80
Ванилин	10,0
Изоэвгенол	4,8
$\alpha$ -гваяцилпропанон	5,8

\* В пересчете на уксусную кислоту.

Таблица 4

Распределение азота в щелоках  
(% к введенному в реакцию азота)

Модельное соединение	Конечное рН щелока*	$\text{NH}_3 + \text{NH}_4^+$	Легко-гидролизуемый азот, %	Трудно-гидролизуемый азот, %	Азот нерастворимого остатка, %	Потери при продувке, %
Фенол	9,3	74,4	4,1	12,5	3,8	4,9
Гваякол	9,3	54,3	4,1	31,3	5,0	5,3
Вератрол	9,9	71,2	3,5	20,3	—	5,0
Изоэвгенол	8,6	32,2	10,1	36,9	14,3	6,5
Ванилин	8,6	41,5	7,9	38,1	5,4	7,1
$\alpha$ -гваяцилпропанол	7,2	36,1	20,8	24,0	9,6	9,5

\* рН исходного щелока 11,3.

Очевидно, двойная связь и карбонильная группа в  $\alpha$ -положении играют определяющую роль при фиксации аммиака из щелока.

#### Экспериментальная часть

Окисление модельных соединений осуществляли в лабораторном автоклаве [2]. Был выбран следующий режим окисления: давление кислорода — 25 атм, концентрация аммиака — 1,8%, температура — 140°C, жидкостный модуль 1:10, продолжительность реакции — 2 ч. Через реакционную смесь во время варки непрерывно пропускали кислород со скоростью 5 л/ч. Продукты реакции выгружали из автоклава, отфильтровывали, измеряли рН и фракционировали, согласно схеме. После измерения рН часть щелока подвергали перегонке с паром и перешедшие в дистиллят свободный аммиак и часть аммонийного азота определяли титрованием. Оставшийся аммонийный и легкогидролизуемый азот находили по методике [12]. Общее содержание азота вычисляли по Дюма. Легучие кислоты определяли, отгоняя их с паром из подкисленного фосфорной кислотой раствора.

Тонкослойную хроматографию осуществляли на пластинках «Silufol». Для элюирования использовали систему растворителей: дибутиловый эфир — уксусная кислота (10:1), проявитель — диазотированная сульфаниловая кислота.

#### ЛИТЕРАТУРА

- [1]. Васянович Г. П., Горохова В. Г., Асеева Н. Н., Васильева Л. В., Бабкин В. А. Изучение химического состава отработанных щелоков, получаемых при делигнификации древесины осины методом окислительного аммонолиза. — Теоретические и поисковые исследования — база для ускорения технического прогресса целлюлозно-бумажной промышленности. Тезисы докладов. Таллин, 1975. [2]. Дейнеко И. П., Зарубин М. Я. Изучение реакций кислородно-содового способа делигнификации. I. Окисление мономерных модельных соединений лигнина. — «Химия древесины», 1976, № 2, с. 53—57. [3]. Закис Г. Ф., Нейберте Б. Я., Сергеева В. Н. Действие на лигнин персульфатов. II. Фиксация азота лигнином при его окислении персульфатом в аммиачной среде. — «Химия древесины», 1973, № 13, с. 85—92. [4]. Закис Г. Ф., Нейберте Б. Я., Сергеева В. Н. Окисление лигнина воздушно-аммиачной смесью при повышенной температуре. — «Химия древесины», 1976, № 4, с. 86—90. [5]. Иоффе Л. О., Сергеева В. В., Копнин Б. Н. Делигнификация растительного сырья методом окислительного аммонолиза. — «Бумажная промышленность», 1974, № 7, с. 8—10. [6]. Иоффе Л. О., Сергеева В. Н., Клепец Э. А. Влияние основных переменных факторов варки методом окислительного аммонолиза на качество целлюлозы и щелока. — «Химия древесины», 1975, № 5, с. 60—65. [7]. Казарновский А. М., Чудаков М. И. О превращениях гидролизного лигнина при окислительном аммонолизе. — В сб.: Химия и использование лигнина. Рига, «Зинатне», 1973, с. 337. [8]. Казарновский А. М., Чудаков М. И. Окислительный аммонолиз гидролизного лигнина. — «Гидролизная и лесохимическая промышленность», 1973, № 7, с. 8—10. [9]. Казарновский А. М., Чудаков М. И. К вопросу о возможном механизме окислительного аммонолиза

лигнина. — «Химия древесины», 1976, № 4, с. 80—85. [10]. Копнин Б. Н., Иоффе Л. О. О кинетике делигнификации растительного сырья методом окислительного аммонолиза. — «Химия древесины», 1975, № 1, с. 82. [11]. Taylor W. I., Battersby A. R. ed. N. Y. Oxidative coupling of Phenols. 1967. [12]. Wang P. Y., Bolker H. I., Purves C. B. — «Canadian Journal of Chemistry», 1964, 42, 2434—2439.

Поступила 18 июля 1977 г.

УДК 661.728.2

## ИЗУЧЕНИЕ РАСПРЕДЕЛЕНИЯ СЕРЫ ПРИ БЫСТРОЙ СОДОВО-СУЛЬФИТНОЙ ВАРКЕ БЕРЕЗОВОЙ ДРЕВЕСИНЫ

Л. А. МИЛОВИДОВА, Г. А. ПАЗУХИНА

Ленинградская лесотехническая академия

Показано, что расход серы на содово-сульфитную варку березовой древесины зависит от степени провара и температуры варки и несколько превышает расход серы при обычной сульфитной варке березовой древесины.

Важнейшие реакции сульфитной варки — реакции серы с лигнином и другими компонентами древесины, а также реакции разложения варочного раствора. Соотношение этих реакций в процессе варки и влияние температуры и степени провара целлюлозы на эти реакции могут быть охарактеризованы балансом серы.

Исследования по данному вопросу включали проведение серии содово-сульфитных варок при температурах 140, 145, 150 и 155°C. Для варок использовали березовую щепу, полученную на рубительной машине Красногородского ЭБК. Размер щепы — 15×25×3 мм. Режим варок: пропарка при температуре 100—105°C — 15 мин; пропитка раствором Na<sub>2</sub>CO<sub>3</sub> с концентрацией 41,5 г/л в ед. Na<sub>2</sub>O при температуре

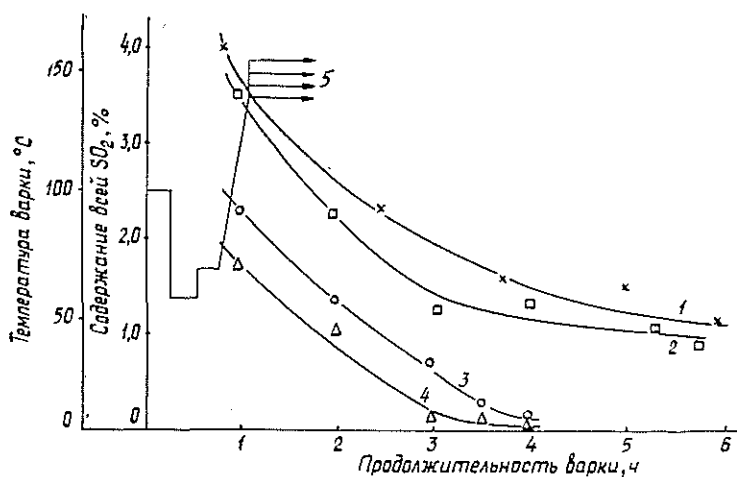


Рис. 1. Изменение содержания всей SO<sub>2</sub> в процессе содово-сульфитной варки березовой древесины для разных температур. 1 — 140°C; 2 — 145; 3 — 150; 4 — 155°C; 5 — температурные графики варок.



55°C, давлении 98 кПа и гидромодуле 5 : 1 — 15 мин; выдержка с кислотой состава 0,26% Na<sub>2</sub>O и 6,0% всей SO<sub>2</sub> при температуре 65—70°C, давлении 98 кПа и гидромодуле 5,6 : 1 — 15 мин; подъем до конечной температуры варки — 15 мин; стоянка на конечной температуре до получения целлюлозы с заданным содержанием лигнина. Давление во время подъема температуры и стоянки составляло 98 кПа. Общий расход Na<sub>2</sub>O на варку равен 5,1% от массы древесины, 80% этого количества задавали на варку при пропитке. Варочные растворы и древесные остатки анализировали после выдержки древесины с кислотой, а также на выходе на конечную температуру и в процессе стоянки на конечной температуре.

В варочных растворах определяли содержание общей серы [3], всей SO<sub>2</sub>, легкоотщепляемой SO<sub>2</sub>, ионов SO<sub>4</sub><sup>-2</sup>, тиосульфатов и полиитионатов [2]. В древесных остатках находили количество серы [2] и лигнина по ГОСТу 4545—54.

Изменение этих показателей в процессе варки и влияние на них температуры варки и глубины провара целлюлозы представлены на рис. 1 и в табл. 1 и 2.

Таблица 1

Распределение серы при получении целлюлозы с содержанием лигнина 1,65% при различных температурах

Компоненты, ед. SO <sub>2</sub>	Расход серы							
	кг/т	%	кг/т	%	кг/т	%	кг/т	%
	при температуре варки, °С							
	140		145		150		155	
Серя в целлюлозе	2,90	1,88	2,70	1,45	2,60	1,24	6,80	3,21
Серя в щелоке:								
Общая	170,00	98,12	183,00	98,55	207,13	98,76	205,68	96,79
В том числе								
Легкоотщепляемая SO <sub>2</sub>	70,00	40,50	68,60	32,00	54,60	26,10	49,00	23,30
Сульфаты	32,20	18,40	31,10	16,40	53,40	26,40	54,00	25,40
Тиосульфаты и полиитионаты	1,75	1,02	1,81	0,95	1,83	0,86	1,68	0,79
Прочносвязанная	66,05	38,20	81,50	44,00	97,30	45,50	101,00	52,00
Итого	172,9	100,0	185,7	100,0	209,73	100,0	212,48	100,0

Как видно из рис. 1, повышение температуры варки существенно снижает содержание всей SO<sub>2</sub> в варочном растворе. Количество легкоотщепляемой SO<sub>2</sub> в условиях содово-сульфитной варки довольно значительное (рис. 2). Максимальное значение концентрации легкоотщепляемой SO<sub>2</sub> для температур 140—150°C достигается к концу первого часа стоянки и составляет 0,5—0,6% SO<sub>2</sub> или 65—70 кг/т целлюлозы. Это несколько больше, чем в условиях обычной сульфитной варки березовой древесины [1]. К концу варки содержание легкоотщепляемой SO<sub>2</sub> уменьшается из-за снижения количества иона бисульфита.

Процесс разложения варочных растворов в значительной степени зависит от температуры варки. Концентрация тиосульфатов для всех температур практически одинакова — около 0,015% в ед. SO<sub>2</sub>, то есть не более 2 кг/т целлюлозы (рис. 3).

Концентрация иона SO<sub>4</sub><sup>-2</sup> для температур 140—145°C не превышает 0,27—0,28% SO<sub>2</sub> или 27—33 кг/т целлюлозы. Это количество сульфатов близко к содержанию сульфатов в условиях обычной сульфитной варки березовой древесины [1]. Повышение температуры варки

Таблица 2

Распределение серы при получении целлюлозы  
с различным содержанием лигнина  
(температура содово-сульфитной варки 145°C)

Компоненты, ед. SO <sub>2</sub>	Расход серы							
	кг/т	%	кг/т	%	кг/т	%	кг/т	%
	при содержании лигнина (%) / к выходу целлюлозы (%)							
	2,60/51,2		2,38/47,0		1,67/46,0		1,03/43,5	
Серa в целлюлозе	6,20	4,03	2,80	1,65	2,70	1,45	2,00	1,01
Серa в щелоке:								
Общая	147,80	95,97	166,80	98,35	183,00	98,55	195,50	98,99
В том числе								
Легкоотщепляе- мая SO <sub>2</sub>	64,00	41,50	70,00	41,20	68,60	37,00	45,10	22,80
Сульфаты	27,40	17,50	32,10	18,90	31,10	16,70	33,50	17,00
Полиитионаты и тиосульфаты	1,64	1,07	1,78	1,05	1,81	0,95	1,94	0,99
Прочносвязан- ная	55,16	35,90	63,02	37,20	81,50	44,00	115,00	58,20
Итого	154,0	100,0	169,6	100,0	185,7	100,0	197,5	100,0

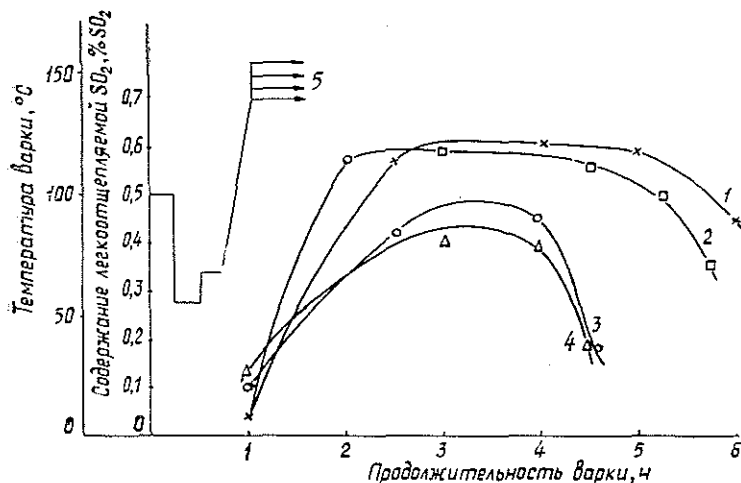


Рис. 2. Изменение содержания легкоотщепляемой SO<sub>2</sub> в процессе содово-сульфитной варки березовой древесины для разных температур.

1 — 140°C; 2 — 145; 3 — 150; 4 — 155°C; 5 — температурные графики варок.

до 150°C и особенно до 155°C вызывает увеличение концентрации иона SO<sub>4</sub><sup>-2</sup> (рис. 4).

Из данных табл. 1 видно, что повышение температуры варки сопровождается увеличением расхода серы на варку при получении целлюлозы с одинаковым содержанием лигнина. При содержании лигнина 1,65% для варки при температуре 140°C на химические реакции расходуется серы 66,05 кг/т целлюлозы в ед. SO<sub>2</sub> или 38,20% от общего

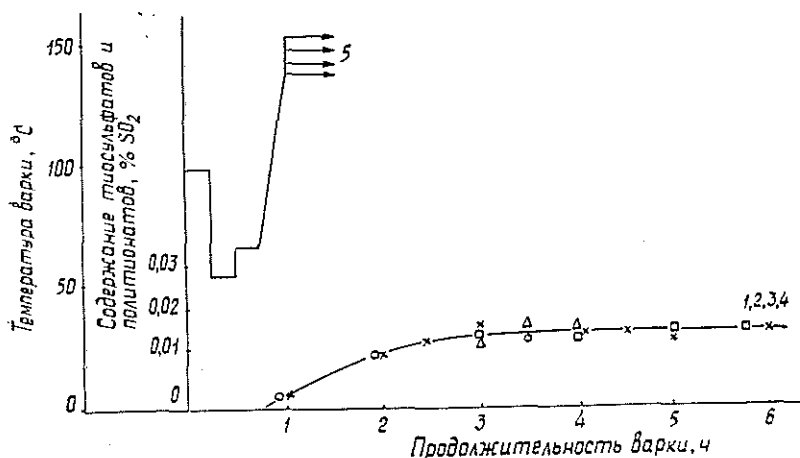


Рис. 3. Изменение содержания тиосульфатов и полиитионатов в процессе содово-сульфитной варки березовой древесины для разных температур. 1 — 140°C; 2 — 145; 3 — 150; 4 — 155°C; 5 — температурные графики варок.

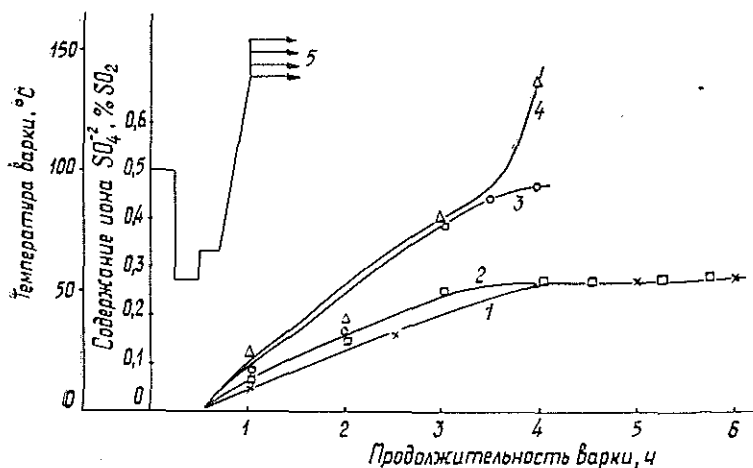


Рис. 4. Изменение содержания иона  $SO_4^{-2}$  в процессе содово-сульфитной варки березовой древесины для разных температур. 1 — 140°C; 2 — 145; 3 — 150; 4 — 155°C; 5 — температурные графики варок.

расхода, а для варки при температуре 155°C — 101 кг/т или 52%. Возрастание температуры существенно влияет на количество образующихся сульфатов. При повышении температуры варки от 140 до 155°C расход серы на образование иона  $SO_4^{-2}$  возрастает до 32,20 кг/т до 54 кг/т целлюлозы в ед.  $SO_2$  или от 18,40 до 25,40% в общем балансе серы.

Углубление степени провара сопровождается увеличением расхода серы на варку и на реакции с лигнином (табл. 2). Однако для варки при температуре 145°C относительный расход серы на реакции разложения бисульфита по мере углубления варки остается примерно постоянным — 17—18%.

Расход серы при содово-сульфитной варке березовой древесины несколько выше, чем при обычной сульфитной варке [1], и приближается к расходу серы на сульфитную варку еловой древесины. Так, при получении целлюлозы со степенью провара 35 перм. ед. (1,03% лигнина) по содово-сульфитному методу при температуре 145°C расход серы составляет 197,5 кг/т в ед. SO<sub>2</sub>, для обычной сульфитной варки расход серы составляет 165,4 кг/т [1].

Таким образом, для варки при температуре 145°C расход серы возрастает от 169,9 до 197,5 кг/т в ед. SO<sub>2</sub> при уменьшении содержания лигнина от 2,4 до 1,03%. При повышении температуры варки от 140 до 155°C и содержании лигнина в целлюлозе 1,65% расход серы возрастает от 173 кг/т до 212 кг/т целлюлозы в ед. SO<sub>2</sub>.

#### ЛИТЕРАТУРА

- [1]. Семенченко А. И., Старостенко Н. П. Расход серы на варку вискозной целлюлозы из древесины березы. — «Бумажная промышленность», 1975, № 3, с. 18—19. [2]. Справочник бумажника. Т. I. М., «Лесная промышленность», 1964, с. 368. [3]. Lieber R. Die chemie-technischen Methoden der Zellstoff und Papier-Industrie. Berlin, 1951.

Поступила 29 декабря 1977 г.

КОМПЛЕКСНАЯ МЕХАНИЗАЦИЯ  
И АВТОМАТИЗАЦИЯ ПРОИЗВОДСТВЕННЫХ ПРОЦЕССОВ

УДК 674.093 : 621.86/87

ПРИМЕНЕНИЕ ТЕОРИИ МАССОВОГО ОБСЛУЖИВАНИЯ  
К ОПРЕДЕЛЕНИЮ ПОТРЕБНОСТИ В АГРЕГАТАХ  
ОБОРОТНОГО ФОНДА ПРЕДПРИЯТИЯ

М. А. СЕННИКОВ

Московский лесотехнический институт

Предложен метод определения потребности в агрегатах оборотного фонда лесопильного предприятия, основанный на теории массового обслуживания. Установлена теоретическая зависимость между вероятностью обслуживания автолесовозов и числом агрегатов, находящихся в системе обслуживания.

На лесопильно-деревообрабатывающих предприятиях в целях сокращения простоя портовых автолесовозов текущий ремонт осуществляют преимущественно агрегатно-узловым методом, при котором неисправные (требующие ремонта) агрегаты заменяют исправными, взятыми из оборотного фонда.

Согласно [2], оборотный фонд предприятия, применительно к автолесовозам, включает следующие агрегаты: двигатель, сцепление, реверс, коробку передач, редуктор ведущего моста, нулевое управление, грузоподъемный механизм.

Оборотные агрегаты должны находиться на складе предприятия в таком количестве, которое в любой момент времени было бы равно или превышало число поступающих требований; только в этом случае автолесовозы не будут простаивать в ожидании ремонта. Количество потребных оборотных агрегатов зависит от числа автолесовозов, имеющих на предприятии, от времени работы агрегата на автолесовозе и времени нахождения агрегата в ремонте.

Автолесовозы, работающие на лесопильно-деревообрабатывающих предприятиях, могут получить обслуживание только в РММ предприятия, поэтому для решения поставленной задачи наиболее приемлема система теории массового обслуживания с ожиданием [1, 4, 5] (отказа в обслуживании быть не может). Все необходимые зависимости, присутствующие в выбранной системе теории массового обслуживания, рассматриваем применительно к оборотному фонду лесопильно-деревообрабатывающего предприятия. Пусть в оборотном фонде предприятия имеется  $m$  оборотных агрегатов одного наименования. Тогда в различные моменты времени могут наблюдаться следующие состояния системы:

$X_0$  — все  $m$  оборотных агрегатов имеются в наличии;

$X_1$  — использован один оборотный агрегат, а  $m - 1$  имеются в наличии;

$X_n$  — использованы  $n$  оборотных агрегатов, а  $m - n$  имеются в наличии;

$X_m$  — использованы все  $m$  оборотных агрегатов, но требований на замену не поступило;

- $X_{m+1}$  — использованы все  $m$  оборотных агрегатов и один агрегат ожидает обмена;  
 $X_{m+k}$  — использованы все  $m$  оборотных агрегатов и  $k$  агрегатов ожидают обмена.

На рис. 1 показан граф состояний принятой системы обслуживания. Для определения необходимого количества оборотных агрегатов нужно знать вероятности их расхода в любой момент времени.

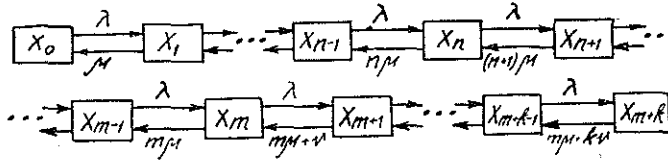


Рис. 1.

Так как отказы агрегатов автолесовозов происходят в моменты времени, расстояния между которыми случайны по своей величине, то поток требований на замену агрегатов является простейшим с параметром  $\lambda$ , время ремонта агрегатов распределено по показательному закону с параметром  $\mu$ , а время ожидания в очереди на замену агрегатов будем считать случайным и распределенным по показательному закону с параметром  $\nu$ . Учитывая это, находим вероятности расхода оборотных агрегатов, соответствующие состояниям системы  $X_0, X_1, \dots, X_m, \dots, X_{m+k}$ , и получаем систему дифференциальных уравнений

$$\begin{aligned}
 \frac{dP_0(t)}{dt} &= -\lambda P_0(t) + \mu P_1(t); \\
 \frac{dP_1(t)}{dt} &= \lambda P_0(t) - (\lambda + \mu) P_1(t) + 2\mu P_2(t); \\
 &\dots \dots \dots \\
 \frac{dP_n(t)}{dt} &= \lambda P_{n-1}(t) - (\lambda + n\mu) P_n(t) + (n+1)\mu P_{n+1}(t); \\
 &\qquad 1 \leq n \leq m-1 \\
 &\dots \dots \dots \\
 \frac{dP_m(t)}{dt} &= \lambda P_{m-1}(t) - (\lambda + m\mu) P_m(t) + (m\mu + \nu) P_{m+1}(t); \\
 &\dots \dots \dots \\
 \frac{dP_{m+k}(t)}{dt} &= \lambda P_{m+k-1}(t) - (\lambda + m\mu + k\nu) P_{m+k}(t) + [m\mu + \\
 &\qquad + (k+1)\nu] P_{m+k+1}(t). \\
 &\dots \dots \dots
 \end{aligned} \tag{1}$$

В предельном случае, когда  $t \rightarrow \infty$ , вероятности  $P_0(t), P_1(t), \dots, P_{m+k}(t)$  стремятся к постоянным пределам, а все их производные  $\rightarrow 0$  [1], получаем



$$\frac{\lambda}{\mu} = \lambda t_{\text{обс}} = \alpha; \quad \frac{\nu}{\mu} = \nu t_{\text{обс}} = \beta. \quad (7)$$

В равенствах (7) параметры  $\alpha$  и  $\beta$  выражают среднее число требований и среднее число уходов требований, стоящих в очереди и приходящихся на среднее время обслуживания одного требования на замену агрегата. Тогда с учетом (7) уравнения (3), (4) и (6) имеют вид

$$P_n = \frac{\alpha^n}{n!} P_0, \quad (0 < n \leq m); \quad (8)$$

$$P_{m+k} = \frac{\frac{\alpha^{m+k}}{m!} P_0}{\prod_{r=1}^k (m+r\beta)}, \quad (k \geq 1); \quad (9)$$

$$P_0 = \frac{1}{\sum_{n=0}^m \frac{\alpha^n}{n!} + \frac{\alpha^m}{m!} \sum_{k=1}^{\infty} \frac{\alpha^k}{\prod_{r=1}^k (m+r\beta)}}. \quad (10)$$

Для нашей системы обслуживания рассмотрим предельно стационарный режим, который существует только при  $\alpha < m$ , то есть когда среднее число требований на замену агрегатов, приходящееся на время обслуживания одного требования, не выходит за пределы возможностей  $m$ -канальной системы. В случае, когда  $\alpha \geq m$ , число автолесовозов, стоящих в очереди на замену агрегатов, с течением времени неограниченно возрастает, то есть фонд оборотных агрегатов не справляется с поступающим потоком требований.

Принимая во внимание, что в условиях лесопильно-деревообрабатывающих предприятий автолесовозы не могут уходить из очереди, не дождавись обслуживания, а время ожидания обслуживания ввиду недостаточного количества этих машин должно быть возможно минимальным, в формуле (10) положим  $\beta \rightarrow 0$  и получим

$$P_0 = \frac{1}{\sum_{n=0}^m \frac{\alpha^n}{n!} + \frac{\alpha^m}{m!} \sum_{k=1}^{\infty} \frac{\alpha^k}{m^k}}. \quad (11)$$

Суммируя прогрессию (что можно только при  $\alpha < m$ ), найдем

$$P_0 = \frac{1}{\sum_{n=0}^m \frac{\alpha^n}{n!} + \frac{\alpha^{m+1}}{m!(m-\alpha)}}. \quad (12)$$

Если число  $n$  в формуле (12) достаточно велико, то переходя в первом члене знаменателя к пределу [3], получим

$$\lim_{n \rightarrow \infty} \sum_{n=0}^m \frac{\alpha^n}{n!} = 1 + \frac{\alpha}{1!} + \frac{\alpha^2}{2!} + \dots + \frac{\alpha^n}{n!} = e^\alpha. \quad (13)$$

Формула (12) с учетом выражения (13) принимает вид



$$P_0 = \frac{1}{e^\alpha + \frac{\alpha^{m+1}}{m!(m-\alpha)}}. \quad (14)$$

Подставляя выражение (14) в (8) и (9), получим

$$P_n = \frac{\frac{\alpha^n}{n!}}{e^\alpha + \frac{\alpha^{m+1}}{m!(m-\alpha)}}, \quad (0 \leq n \leq m). \quad (15)$$

Аналогично для  $n = m + k$  ( $k \geq 0$ )

$$P_{m+k} = \frac{\frac{\alpha^{m+k}}{m! m^k}}{e^\alpha + \frac{\alpha^{m+1}}{m!(m-\alpha)}}. \quad (16)$$

Равенство (15) выражает зависимость между вероятностью расхода и числом расходуемых оборотных агрегатов, уравнение (16) — зависимость между вероятностью обслуживания и числом агрегатов, находящихся в системе обслуживания (на обслуживании и в очереди).

Вероятность общего количества расходуемых оборотных агрегатов

$$P_M = \sum_{m=0}^M \frac{\frac{\alpha^m}{m!}}{e^\alpha + \frac{\alpha^{M+1}}{M!(M-\alpha)}}. \quad (17)$$

Среднее число автолесовозов, ожидающих очереди на замену агрегатов, определим как математическое ожидание  $r_k$  числа требований, находящихся в очереди

$$r_k = R |k| = \frac{\frac{\alpha^{M+1}}{M \cdot M! \left(1 - \frac{\alpha}{M}\right)^2}}{e^\alpha + \frac{\alpha^{M+1}}{M!(M-\alpha)}}. \quad (18)$$

Пользуясь формулой (17), можно получить расчетное число агрегатов оборотного фонда, задавшись требуемой доверительной вероятностью  $P_M$  и разрешив зависимость (17) относительно  $M$ .

Анализируя уравнение (17), заключаем, что вероятность  $P_M$  существенно зависит от параметра  $\alpha$ , представляющего собой отношение плотности потока требований  $\lambda$  (плотности потока отказов агрегата) к плотности потока восстановления  $\mu$ .

Показатели  $\lambda$  и  $\mu$  определяют как величины, обратные среднему ресурсу оборотного агрегата и среднему времени восстановления. Принимая во внимание, что средний ресурс агрегатов автолесовоза определяется по пробегу, среднее время восстановления агрегата  $t_B$  (дней) необходимо заменить соответствующим ему пробегом

$$L_B = L_{cc} t_B \alpha_B, \quad (19)$$

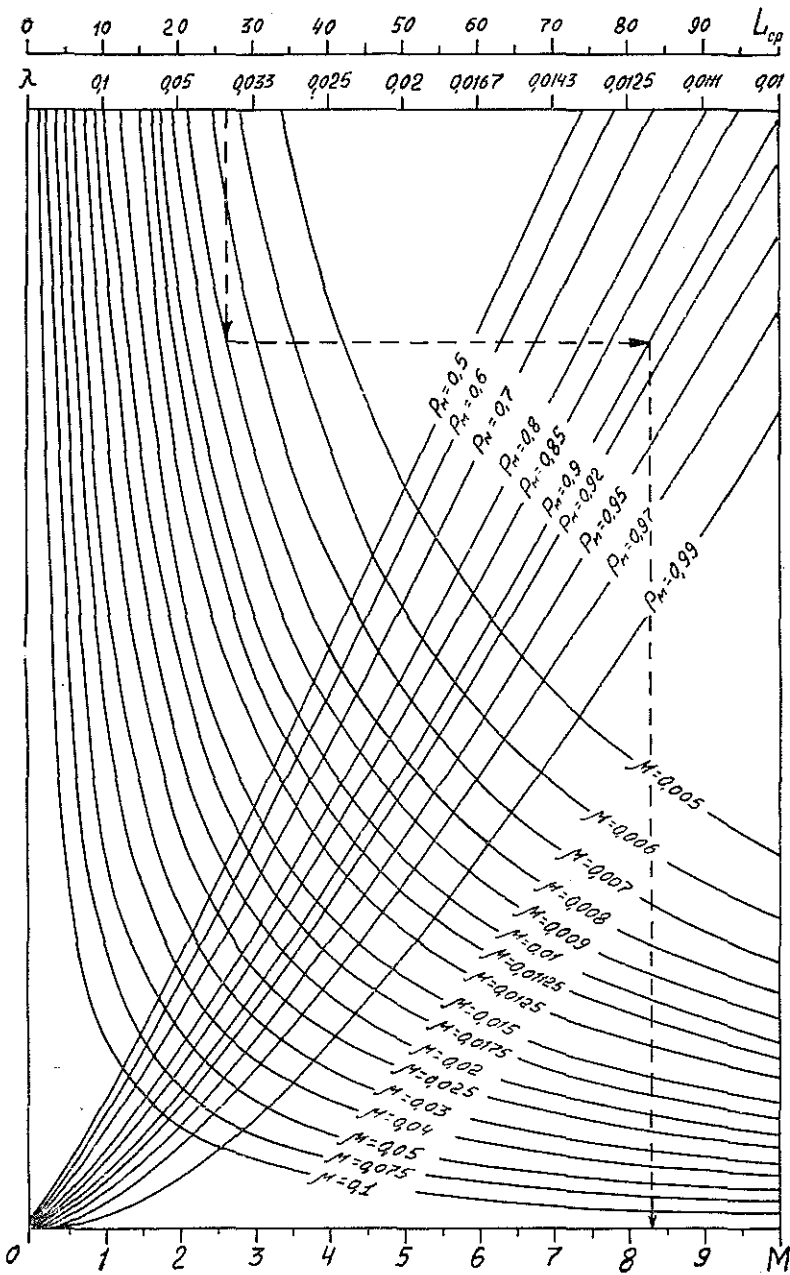


Рис. 2. Номограмма для определения потребности в агрегатах оборотного фонда.

где  $L_{ср}$  — среднесуточный пробег, км;  
 $\sigma_{в}$  — коэффициент выпуска на линию.

Расчет необходимого количества агрегатов оборотного фонда произведем на 100 автолесовозов, поэтому и время восстановления должно соответствовать пробегу 100 машин, то есть

$$L_B = 100L_{cc} t_B \alpha_B. \quad (20)$$

Тогда плотность потока восстановления

$$\mu = \frac{1}{L_B} = \frac{1}{100L_{cc} t_B \alpha_B}. \quad (21)$$

Формула (17) трансцендентна. Для практического расчета построена номограмма (рис. 2). Последовательность определения необходимого количества агрегатов в оборотном фонде показана на номограмме пунктирной линией (на примере двигателя при  $\lambda = 0,038$ ;  $\mu = 0,008$ ;  $P_M = 0,9$ ).

Предлагаемый метод дает возможность быстро и с достаточной степенью точности рассчитать необходимое количество агрегатов в оборотном фонде предприятия по известным значениям  $\lambda$ ,  $\mu$  и  $P_M$  (величиной  $P_M$  необходимо задаваться на уровне коэффициента готовности).

#### ЛИТЕРАТУРА

[1]. Вентцель Е. С. Теория вероятностей. М., «Наука», 1964, 576 с. [2]. Временное положение о техническом обслуживании основных видов лесозаготовительного оборудования. М., Химки, ЦНИИМЭ, 1975, 87 с. [3]. Выгодский М. Я. Справочник по высшей математике. М., «Наука», 1966, 870 с. [4]. Новиков О. А., Уваров В. Н. Вероятные методы решения задач автомобильного транспорта. М., «Транспорт», 1969, 136 с. [5]. Овчаров Л. А. Прикладные задачи теории массового обслуживания. М., «Машиностроение», 1969, 324 с.

Поступила 5 декабря 1977 г.

УДК 66.015.24

## ОБОБЩЕННЫЕ УРАВНЕНИЯ КОНВЕКТИВНОГО ТЕПЛООБМЕНА НА БОКОВОЙ ПОВЕРХНОСТИ ЦИКЛОННЫХ КАМЕР

Э. Н. САБУРОВ, Т. Г. ЗАГОСКИНА

Архангельский лесотехнический институт

Проанализированы результаты экспериментальных данных ряда авторов по исследованию конвективного теплообмена на боковой поверхности циклонных камер. Предложен метод обработки и обобщения опытных данных. Приведены рекомендуемые для расчетов уравнения, полученные в результате обобщения данных.

Благодаря большим возможностям интенсификации процессов конвективного тепло- и массообмена циклонные камеры находят все большее применение в химической технологии. В работе [9] установлено, что интенсивность конвективного переноса к боковой поверхности циклонных камер в 20—30 раз выше, чем в трубах с прямой осью, и значительно больше, чем в змеевиках. Поэтому для циклонных устройств различного технологического назначения вопросы методики расчета конвективного тепло- и массообмена и определения путей его полного использования имеют особо важное значение.

Исследованию конвективного теплообмена на боковой поверхности циклонной камеры посвящены работы [1, 2, 3, 7, 9]. Их результаты в условиях развитого высокотурбулентного потока могут быть применены и для расчета массоотдачи.

Рассмотрим некоторые из исследований с целью их дальнейшего использования в обобщении.

Таблица 1

## Основные конструктивные характеристики циклонных камер

Экспериментаторы	$D_K$ , мм	$\bar{L}$	$f_{вх} \cdot 10^3$	$\bar{h}_{вх} \cdot 10^3$	$a$	Обозначение
А. В. Тонконогий, В. В. Вышенский	153,5	1,700	6,130	14,000	1	▼
	153,5	1,700	4,580	11,700	1	+
	153,5	1,700	3,780	10,400	1	×
	153,5	1,700	3,760	8,600	1	□
	200,0	1,700	3,360	10,400	1	○
	153,5	1,700	2,820	9,400	1	△
	301,0	1,700	1,540	6,980	1	●
М. А. Бухман, Б. П. Устименко	250,0	1,812	3,200	11,200	1	⊖
	250,0	1,812	3,200	5,600	2	■
	250,0	1,812	3,200	2,800	4	▣
Г. М. Дружинин, А. В. Арсеев	150,0	1,473	11,100	33,000	1	⊙
	300,0	1,400	11,100	33,000	1	⊚
	450,0	1,387	11,100	33,000	1	⊛
В. В. Стерлигов, В. Ф. Евтушенко, В. П. Зайцев	300,0	0,767	1,482	1,168	2	▲

В работе [9] изучен конвективный теплообмен в циклонной камере с односторонним вводом (число вводов по периметру  $a=1$ ), постоянной относительной длиной  $\bar{L} = L_K/D_K$  ( $L_K$  и  $D_K$  — длина и диаметр рабочего объема камеры) и переменными относительными высотами входных шлицев  $\bar{h}_{вх} = h_{вх}/D_K$ , суммарной площадью входа  $\bar{f}_{вх} = f_{вх} \cdot 4/\pi D_K^2$  и диаметром выходного отверстия  $\bar{d}_{вых} = d_{вых}/D_K$ . Геометрические характеристики моделей этих опытов и рассмотренных в дальнейшем даны в табл. 1. Для технически гладкостенных моделей результаты исследований авторами работы [9] были обобщены зависимостью

$$Nu = 0,186 K_r Pr^{0,4} Re_{вх}^{0,9}, \quad (1)$$

где  $Nu = \frac{\alpha \cdot D_K}{\lambda}$  — число Нуссельта;

$Re = \frac{V_{вх} \cdot D_K}{\nu}$  — число Рейнольдса;

$Pr = \frac{\nu}{a}$  — число Прандтля;

$\alpha$ ,  $\lambda$ ,  $\nu$ ,  $a$  — коэффициенты соответственно теплоотдачи, теплопроводности, вязкости, температуропроводности, определенные по средней температуре воздушного вихря;

$V_{вх}$  — средняя входная скорость потока в циклон;

$K_r$  — безразмерный комплекс, учитывающий влияние геометрии камеры,

$$K_r = (\bar{f}_{вх})^{0,93} \left( \frac{l_{вх}}{h_{вх}} \right)^{0,58} - 11 \bar{f}_{вх} \left( \frac{0,4}{\bar{d}_{вых}} \right) (\bar{L})^{-0,5} \quad (2)$$

при условии, что

$$\left( \frac{l_{вх}}{h_{вх}} \right)^{0,58} - 11 \bar{f}_{вх} \geq 1 \text{ и } \frac{0,4}{\bar{d}_{вых}} \leq 1, \quad (3)$$

здесь  $\frac{l_{\text{вх}}}{h_{\text{вх}}}$  — растянутость входа.

Когда условия (3) не выполняются, авторы [9] рекомендуют принимать эти сомножители равными единице.

При  $\bar{f}_{\text{вх}} \cdot 10^2 \geq 5$  и  $\bar{a}_{\text{вых}} \geq 0,4$

$$K_r = \frac{0,76 (\bar{f}_{\text{вх}})^{0,93}}{(\bar{a}_{\text{вых}})^{0,3} (\bar{L})^{0,5}} \quad (4)$$

Для камер с шероховатой поверхностью расчетное уравнение можно представить в виде

$$\text{Nu} = 0,108 K_r \left( \frac{F_{\text{шер}}}{F_{\text{гл}}} \right)^{0,5} \text{Pr}^{0,4} \text{Re}_{\text{вх}}^{0,95}, \quad (5)$$

где  $F_{\text{шер}}$  — полная поверхность с учетом поверхности шероховатостей;  $F_{\text{гл}}$  — поверхность гладкой стенки.

Опыты выполнены в диапазоне чисел  $\text{Re}_{\text{вх}}$  от  $7 \cdot 10^4$  до  $1,5 \cdot 10^6$ .

В работах [1, 2] рассмотрено влияние числа вводов по периметру камеры  $a$  на теплоотдачу боковой поверхности. Установлено, что

$$\text{Nu} = 0,0016 a^{0,15} \text{Re}_{\text{вх}} \quad (6)$$

Опыты выполнены в диапазоне  $\text{Re}_{\text{вх}}$  от  $2,1 \cdot 10^5$  до  $1,7 \cdot 10^6$ .

В работе [3] исследована теплоотдача конвекцией к боковым стенкам циклонной камеры с односторонним вводом и цилиндрическими соплами. В табл. 1 и далее относительный диаметр цилиндрических сопел  $d_r/D_k$  ( $d_r$  — диаметр горелки) обозначен так же, как и высота прямоугольных  $\bar{h}_{\text{вх}}$  ( $\bar{h}_{\text{вх}} = d_r/D_k$ ).

Рекомендуемое расчетное уравнение имеет вид

$$\text{Nu} = 0,0477 (\bar{h}_{\text{вх}})^{0,4} \text{Pr}_f^{0,4} \left( \frac{\text{Pr}_f}{\text{Pr}_w} \right)^{0,25} \text{Re}_{\text{вх}}^{0,8} \quad (7)$$

Физические характеристики потока (кроме входящих в  $\text{Pr}_w$ ) определяли по его температуре на выходе из горелки.

Формула (7) получена при  $3 \cdot 10^4 \leq \text{Re}_{\text{вх}} \leq 3 \cdot 10^5$ .

Исследование [7] выполнено на модели циклонной камеры с распределенным по образующей двухсторонним тангенциальным вводом. Модель имела сравнительно малые величины  $\bar{L}$ ,  $\bar{f}_{\text{вх}}$  и  $\bar{h}_{\text{вх}}$ . Рекомендуемая для расчета формула:

$$\text{Nu} = 0,0006 \text{Re} \quad (8)$$

В уравнении (8) характерные температуру и скорость определяли на оси выходного сечения сопла. В качестве характерного размера принята длина окружности камеры.

Если установить связь между скоростью на оси сопла и средней скоростью через коэффициент поля  $K_{\text{вх}}$ , в общем случае зависящий от  $\text{Re}_{\text{вх}}$ , и перейти на обычно применяемый характерный размер  $D_k$ , то уравнение (8) можно записать так:

$$\text{Nu} = 0,001884 K_{\text{вх}} \text{Re}_{\text{вх}} \quad (9)$$

Формула (9) применима при  $\text{Re}_{\text{вх}} = (1,3 \div 8) \cdot 10^5$ .

Рассмотренные исследования выполнены при различных по величине геометрических характеристиках циклонных камер, температурных напорах и направлениях теплового потока. Так, опыты [1, 2, 7, 9]

проводили на теплом воздухе, и тепловой поток был направлен к охлаждаемым водой стенкам рабочего объема, в опытах [3] направление теплового потока было обратным — воздух нагревался от стенок циклона, прогретых конденсирующимся насыщенным паром. Поэтому уравнения (1), (6), (7), (9) различаются по структуре и применимы лишь в условиях, подобных условиям опытов. С этой точки зрения представляет определенный практический интерес обработать полученные опытные данные с единых позиций, с использованием связей, вытекающих из физических особенностей процесса (прежде всего, на основе закономерностей, определяющих движение газа), и сделать уравнения универсальными, справедливыми в широком диапазоне геометрических характеристик и чисел  $Re_{вх}$ .

Ограничимся случаем изучения теплоотдачи лишь к боковой поверхности и только гладкостенных камер. Поэтому в работе не рассмотрены и не включены в обобщение такие интересные исследования, как [4, 8].

Рассматриваемую задачу конвективного теплообмена в области чисто вынужденного движения можно отнести к таким, в которых теплоотдача главным образом определяется возникающими при движении среды центробежными силами. Используя рекомендации [10] по выбору критериев подобия, характеризующих интенсивность воздействия массовых сил на теплоотдачу, рассмотрим метод обработки опытных данных с применением критерия

$$S = \frac{l^3 \Delta j}{\nu^2}, \quad (10)$$

где

$l$  — характерный линейный размер, равный расстоянию между точками потока, в которых центробежная сила имеет максимальное и минимальное значения;

$\Delta j = (j_{max} - j_{min})$  — разность между максимальными и минимальными радиальными ускорениями в системе.

Разделим поток в рабочем объеме циклонной камеры на три зоны [5]: приторцевые области, характеризующиеся интенсивными радиальными перетечками, осесимметричное ядро и пристенную зону. Радиус цилиндрической поверхности, разделяющий ядро и пристенную зону, определяем из условия максимума момента количества движения [5]. В этом случае пристенная зона — как бы самостоятельная область, в которой происходит перестройка и развитие входящих через щлицы струй газа, формирование пограничных слоев и периферийных потоков. Поэтому можно считать, что теплоотдача к боковой поверхности рабочего объема (за исключением небольшой ее части у торцов) определяется закономерностями и особенностями движения газа именно в этой области. Заметим, что вращательное движение в пристенной зоне является основным и намного интенсивнее осевого и радиального.

Обозначим радиус осесимметричного ядра потока через  $r_{я}$ , а вращательную скорость на этом радиусе — через  $W_{\varphi я}$ . Минимальное радиальное ускорение в пристенной зоне будет на боковой поверхности камеры, а максимальное — на границе ядра. Поэтому  $\Delta j = j_{max}$ , где

$$j_{max} = \frac{W_{\varphi я}^2}{r_{я}}. \quad (11)$$

Характерный линейный размер системы

$$l = R_k - r_n, \quad (12)$$

где  $R_k = D_k/2$  — радиус рабочего объема камеры.

Характеристики  $W_{\varphi n}$  и  $r_n$  могут быть найдены по рекомендациям [6]. Подставляя уравнения (11) и (12) в выражение (10), находим

$$S = \frac{(R_k - r_n)^3 W_{\varphi n}}{r_n \nu^2} = \frac{1}{4} \cdot \frac{(1 - \bar{r}_n)^3}{\bar{r}_n} \text{Re}_{\varphi n}^2, \quad (13)$$

здесь  $\text{Re}_{\varphi n} = \frac{W_{\varphi n} \cdot D_k}{\nu}$ ;  $\bar{r}_n = \frac{r_n}{R_k}$  — безразмерный радиус границы пристенной зоны течения.

Обозначим  $\frac{(1 - \bar{r}_n)^3}{\bar{r}_n} = E$ . Тогда соотношение (13) запишем в виде

$$S = \frac{1}{4} E \text{Re}_{\varphi n}^2. \quad (14)$$

Замена критерия  $S$  на  $\text{Re}_{\varphi n}$  дает определенные преимущества, так как  $W_{\varphi n}$  и  $r_n$  могут быть определены по методике аэродинамического расчета, а остальные характеристики в инженерных расчетах обычно задаются.

Соотношение (14) использовано для обработки опытных данных [1, 2, 3, 7, 9]. Результаты опытов обрабатывали в виде корреляционных формул

$$\text{Nu} = A E^m \text{Re}_{\varphi n}^n, \quad (15)$$

где  $A, m, n$  — постоянные коэффициенты.

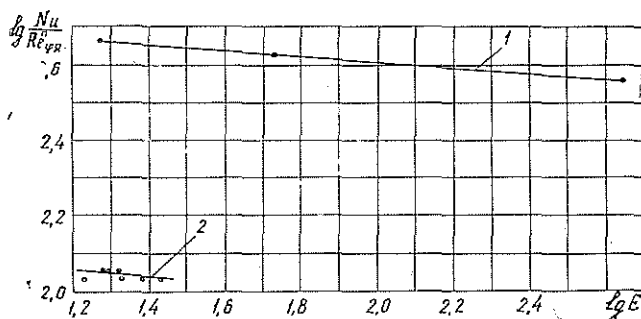


Рис. 1. Графическое определение показателя степени у коэффициента  $E$ .

1 — данные работ [2, 3]; 2 — данные работы [1].

Предварительно по данным работ [1, 2, 9] определили показатель  $m$  (рис. 1), который оказался равным  $-0,066$ . Влияние неизотермичности потока у боковой поверхности (направление теплового потока и величина температурного напора  $\Delta t$ ) учитывали [10] пересчетом числа  $\text{Re}_{\varphi}$  по формуле

$$\text{Re}_{\varphi n} = \frac{(\text{Re}_{\varphi n})_{\text{изот}}}{\sqrt{1 \pm \beta \Delta t}}, \quad (16)$$

здесь  $(\text{Re}_{\varphi n})_{\text{изот}}$  — число Рейнольдса при изотермических условиях;  
 $\beta$  — коэффициент объемного расширения газа.

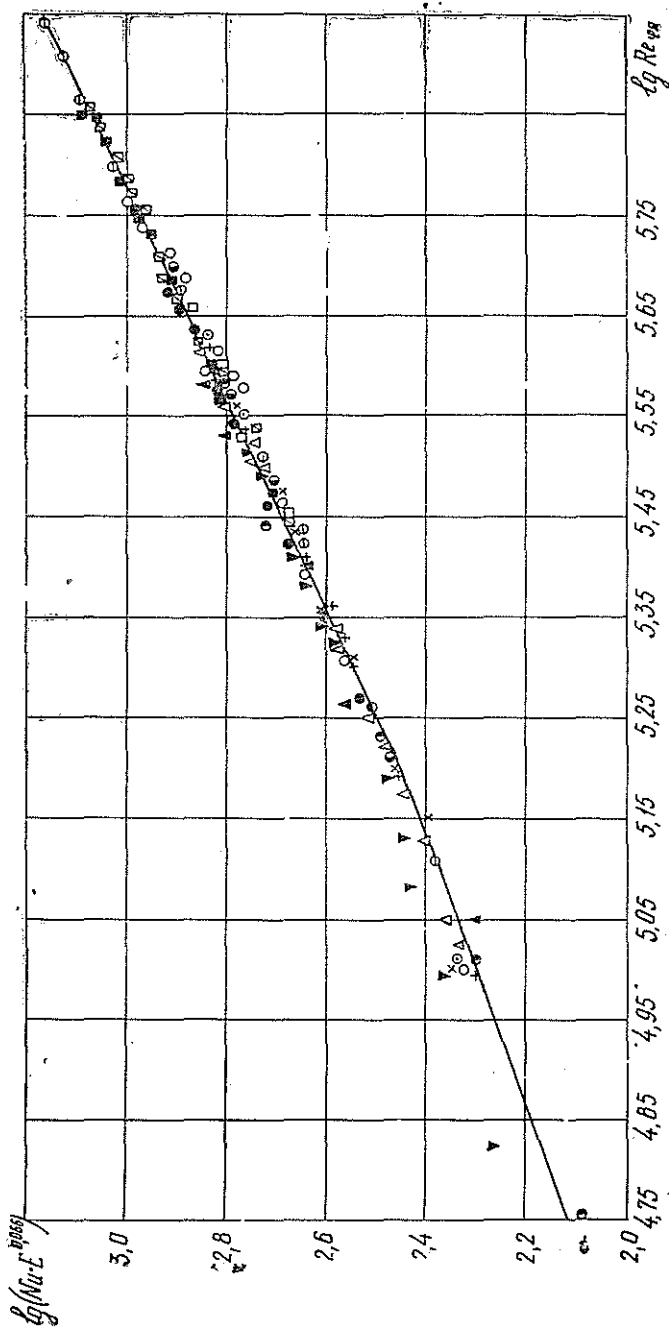


Рис. 2. Обобщение опытных данных по теплоотдаче на боковой поверхности гладкостенных циклонных камер. (Обозначения вариантов приведены в табл. 1).

Физические характеристики в формуле (15) принимали по средней температуре потока.

Результаты обобщения опытных данных приведены на рис. 2.

Как видно из рис. 2, результаты обобщения по принятой методике вполне удовлетворительны. Отклонение большинства опытных точек от аппроксимационных кривых не превышает  $\pm 6\%$ . Обработка опыт-



ных данных методом наименьших квадратов позволила рекомендовать следующие расчетные уравнения, справедливые при  $0,00015 \leq E \leq 0,0923$ :

для  $1,73 \cdot 10^5 \leq Re_{\text{фя}} \leq 10^6$

$$Nu = \frac{0,00355}{E^{0,066}} Re_{\text{фя}}^{0,941}; \quad (17)$$

для  $0,6 \cdot 10^5 \leq Re_{\text{фя}} \leq 1,73 \cdot 10^5$

$$Nu = \frac{0,045}{E^{0,066}} Re_{\text{фя}}^{0,731}. \quad (18)$$

Уравнения (17) и (18), обобщающие результаты нескольких исследований, достаточно надежны и их рекомендуют для практического использования. Учет влияния шероховатости поверхности можно произвести методом, предложенным в работе [9].

#### ЛИТЕРАТУРА

- [1]. Бухман М. А., Вышенский В. В., Устименко Б. П. Гидродинамика и теплообмен циклонной камеры с многосторонним подводом воздуха. — В сб.: Проблемы теплоэнергетики и прикладной теплофизики. Вып. 6. Алма-Ата, 1970, [2]. Бухман М. А. Экспериментальное исследование аэродинамики и конвективного теплообмена в циклонных камерах с распределенным по периметру подводом воздуха. Автореф. дис. на соиск. учен. степени канд. техн. наук. Алма-Ата, 1970. [3]. Дружинин Г. М., Арсеев А. В. Исследование теплообмена конвекцией в циклонной камере. — Горение, теплообмен и нагрев металла. Сб. научн. трудов ВНИИМТа, № 24, М., 1973. [4]. Кацнельсон Б. Д., Шатиль А. А. Исследование теплообмена в горизонтальной циклонной камере горения с воздушным охлаждением. — «Энергомашиностроение», 1959, № 11. [5]. Сабуров Э. Н. К методике аэродинамического расчета циклонно-вихревых камер. — ИВУЗ, «Лесной журнал», 1968, № 4. [6]. Сабуров Э. Н., Карпов С. В. О методике расчета аэродинамики циклонно-вихревых нагревательных устройств. — ИВУЗ, «Энергетика», 1975, № 8. [7]. Стерлигов В. В., Евтушенко В. Ф., Зайцев В. П. Применение планирования эксперимента при исследовании конвективного теплообмена. — ИВУЗ, «Черная металлургия», 1974, № 2. [8]. Сухович Е. П. Аэродинамика и конвективный теплообмен в вихревой камере. Автореф. дис. на соиск. учен. степени канд. техн. наук. Рига, 1970. [9]. Тонконогий А. В., Вышенский В. В. Исследование конвективного теплообмена на моделях циклонных камер. — В сб.: Проблема теплоэнергетики и прикладной теплофизики. Вып. 1, Алма-Ата, 1964. [10]. Шукин В. К. Теплообмен и гидродинамика внутренних потоков в полях массовых сил. М., 1970.

Поступила 10 июня 1977 г.

## ЭКОНОМИКА И ОРГАНИЗАЦИЯ ПРОИЗВОДСТВА

УДК 634.0.66 : 676.1.021

СПЕЦИФИКА ПЛАНИРОВАНИЯ СЕБЕСТОИМОСТИ  
ТЕХНОЛОГИЧЕСКОЙ ЩЕПЫ ИЗ ОТХОДОВ ЛЕСОЗАГОТОВОК  
И МАЛОМЕРНОЙ ДРЕВЕСИНЫ

Ю. Ю. ТУПЫЦЯ, И. М. СИНЯКЕВИЧ

Львовский лесотехнический институт

Изучено состояние планирования, калькулирования и учета себестоимости технологической щепы из отходов лесозаготовок и маломерной древесины, предложен новый состав калькуляционных статей.

В связи с промышленным освоением маломерной древесины рубки ухода за лесом приобрели черты законченного лесозаготовительного процесса, осуществляемого в рамках лесоводственных требований. Результатами этого процесса являются, с одной стороны, лесопродукция (круглые лесоматериалы и технологическая щепа) и, с другой, услуги лесохозяйственному производству (выполненные меры ухода за лесом). Все операции от рубки деревьев до переработки древесины на щепу технологически и организационно взаимосвязаны и являются элементами единого технологического процесса.

На лесосеке выполняется ряд новых операций, которых при применении традиционной технологии рубок ухода за лесом не было: про рубка технологических коридоров, прокладка трелевочных волоков. Изменяются способы выполнения отдельных операций (рубка деревьев, их укладка в поленицы).

В связи с появлением передвижных рубительных установок технологическая операция по переработке древесины на щепу может быть перенесена на лесосеку. Щепа, изготовленная в лесу, становится одним из сортиментов лесозаготовительного производства.

Происшедшие изменения в технологии рубок ухода за лесом, а также обогащение их экономического содержания не нашли отражения в практике учета, планирования и калькулирования себестоимости продукции, в частности, технологической щепы.

Анализ системы учета, планирования и калькулирования себестоимости технологической щепы из отходов лесозаготовок и маломерной древесины (на примере комплексных лесных предприятий Украинской ССР) позволили обнаружить существенные недостатки в этом деле. Действующие инструкции не отражают особенностей формирования и полноты учета затрат при производстве технологической щепы из отходов лесозаготовок и маломерной древесины. Плановые и фактические калькуляции на щепу из этого сырья составляются по-разному. На предприятиях, применяющих одни и те же машины и технологию и расположенных в одинаковых естественных условиях, наблюдаются значительные различия в уровне себестоимости технологической щепы и структуре затрат на ее производство. Так, если в Выгодском, Мукачевском, Брошневском лесокombинатах себестоимость щепы превышает 20 р./м<sup>3</sup>, то в Берегометском, Сторожинецком она равна 5—6 р./м<sup>3</sup>. Расходы по статье, «Сырье и основные материалы» в Боле-

ховском лесокombинате составляют 9,8 р./м<sup>3</sup>, в Воловецком — 12,1 р./м<sup>3</sup>, тогда как в Велико-Бычковском — всего лишь 1,7 р./м<sup>3</sup>, а в Берегометском вовсе отсутствуют.

Большое различие в уровне себестоимости технологической щепы и структуре затрат на ее производство объясняется различным подходом предприятий к определению расходов по статье «Сырье и основные материалы». Так, в Берегометском лесокombинате не учитывается стоимость маломерной древесины от рубок ухода за лесом и отходов лесозаготовок, образующихся на нижних складах и в пунктах производства хвойно-витаминной муки, а расходы на их заготовку и транспортировку в пункты переработки относятся на лесозаготовительное производство и хвойно-витаминную муку.

Часть предприятий в статье «Сырье и основные материалы» отражает расходы на заготовку отходов и маломерной древесины и их транспортировку до мест переработки на щепу (лесосека, верхний и нижний склады). При изготовлении технологической щепы на лесосеке в статье «Сырье и основные материалы» отражаются расходы на заготовку и укладку отходов лесозаготовок и маломерной древесины. При производстве ее на верхних складах, кроме того, учитываются расходы на трелевку, а при производстве на нижних складах — расходы на трелевку, погрузку и вывозку. Отдельные предприятия затраты на заготовку и транспортировку древесины до пунктов ее переработки списывают на основное лесозаготовительное производство, а расходы по статье «Сырье и основные материалы» отражают исходя из действующих цен на дровяную древесину соответствующего франко (лесосека, верхний склад, нижний склад).

Как видим, в учете, планировании и калькулировании себестоимости технологической щепы из отходов лесозаготовок и маломерной древесины в некоторых случаях допускается двойной счет расходов. Отходы лесозаготовок и маломерная древесина неправомерно оцениваются как дровяная древесина (что приводит к необоснованному отнесению части расходов на их заготовку и транспортировку на основное лесозаготовительное производство), допускается разделение издержек единого организационно взаимосвязанного лесозаготовительного процесса по двум производствам (лесозаготовительному и лесохозяйственному). Кроме того, освоение отходов лесозаготовок и маломерной древесины связано с эксплуатацией и содержанием лесовозных дорог (эти расходы комплексными предприятиями УССР в себестоимости щепы не учитываются).

При таком положении передовой опыт организации производства распространяется медленно, затрудняется анализ себестоимости продукции. Необоснованно часть расходов по производству одной продукции переносится на производство другой, усложняется составление обоснованных цен на технологическую щепу из отходов лесозаготовок и маломерной древесины и определение эффективности производства технологической щепы из такой древесины и планирования объемов ее производства. Из этого следует, что изменение технологии рубок ухода за лесом и расширение их экономического содержания должно найти отражение в действующей системе учета, планирования и калькулирования себестоимости технологической щепы из отходов лесозаготовок и маломерной древесины.

В целях улучшения планирования и учета расходов на производство щепы из отходов лесозаготовок и маломерной древесины предлагается осуществлять учет, планирование и калькулирование себестоимости технологической щепы из отходов лесозаготовок и маломерной

древесины по следующим калькуляционным статьям: попенная плата (за исключением полезных услуг); основная заработная плата производственных рабочих; дополнительная заработная плата производственных рабочих; отчисление на социальное страхование; расходы на содержание и эксплуатацию оборудования; услуги транспорта на вывозке и расходы по содержанию лесовозных дорог; цеховые расходы; общехозяйственные расходы; внепроизводственные расходы.

В статье «Попенная плата (за исключением полезных услуг)» предлагается учитывать попенную плату, за вычетом стоимости мер ухода за лесом, установленной по нормативам на уровне плановой себестоимости рубок ухода (выполненных за счет средств государственного бюджета).

В статье «Основная заработная плата производственных рабочих» планируется и учитывается основная заработная плата производственных рабочих (как основных, так и вспомогательных), непосредственно связанных с заготовкой и транспортировкой отходов лесозаготовок и маломерной древесины и изготовлением из них технологической щепы. В статью «Расходы на содержание и эксплуатацию оборудования» включаются расходы на содержание, амортизацию и текущий ремонт передвижных и стационарных бензопил, трелевочных тракторов, лебедок, рубительных машин и другого производственного оборудования, а также гужевого транспорта, занятых на заготовке сырья, его транспортировке и изготовлении щепы.

В статье «Услуги транспорта на вывозке и расходы по содержанию лесовозных дорог» планируются и учитываются расходы по содержанию и эксплуатации лесовозных автомобилей, прицепов-щеповозов, локомотивов и прицепного состава, занятых непосредственно на вывозке маломерной древесины и отходов лесозаготовок или технологической щепы, изготовленной из них на лесосеках и верхних складах. В данной статье отражаются также расходы по содержанию и эксплуатации автомобильных лесовозных дорог.

Расходы по остальным калькуляционным статьям учитываются в соответствии с указаниями действующих отраслевых инструкций по планированию, учету и калькулированию себестоимости промышленной продукции.

Поступила 2 декабря 1977 г.

УДК 674.093.2

## **ОБ ЭФФЕКТИВНОСТИ ТРАНСПОРТИРОВКИ ПИЛОМАТЕРИАЛОВ НА ЭКСПОРТ ЧЕРЕЗ ЛЕСНЫЕ ПОРТЫ**

*Т. Г. КОРНЕВА, В. Я. КОВАЛЕНКО*

Архангельский лесотехнический институт  
ЦНИИМФ, Архангельское отделение

Выявлены наиболее эффективные направления поставки экспортных пиломатериалов в Ленинградский и Новороссийский лесные порты с предприятий Урала, Сибири и Европейского Севера.

Для выявления целесообразности поставки пиломатериалов в тот или иной порт назначения были проведены расчеты транспортных расходов на доставку экспортной продукции в советские лесные порты и далее в страны-импортеры.

Для доставки груза потребителю могут быть использованы различные транспортно-технологические схемы. Поставки пиломатериалов в страны Западной Европы и Средиземноморского бассейна осуществляются на морских судах. Перевалочным пунктом на пути экспортной продукции от предприятия-поставщика до потребителя является морской порт СССР. Продукцию с предприятий Урала, Сибири и Европейского Севера можно поставлять и в Ленинградский, и в Новороссийский порты.

Эффективность перевозки грузов определяется на основании расчета эксплуатационных расходов, капитальных вложений и приведенных затрат. Критерием оценки сравниваемых вариантов являются минимальные приведенные затраты

$$Z = C + E_n K.$$

Основные затраты по доставке грузов — эксплуатационные расходы и капитальные вложения: 1) по вывозу груза от предприятия-отправителя к магистральным видам транспорта; 2) на перевозку грузов магистральными видами транспорта; 3) на выполнение погрузочно-разгрузочных операций.

В данном примере магистральными видами транспорта являются железнодорожный транспорт на участке «Предприятие — порт» и морской транспорт на участке «Порт — рынок». Транспортно-технологическая схема следующая: погрузка в железнодорожные вагоны на предприятиях Урала, Сибири, Севера — транспортировка по железной дороге — выгрузка в Ленинградском (Новороссийском) порту — дообработка, увязка в транспортные пакеты — погрузка на судно — транспортировка на морских судах.

Для расчета были выбраны следующие предприятия: в объединении Свердловспром — Карпинский ЛК (как наиболее удаленное предприятие), в объединении Тюменьлеспром — Советский ЛК, в объединении Томлеспром — Томский ДОК и в объединении Северолесоэкспорт — Котласский лесозавод.

Приведенные затраты рассчитаны по двум магистральным видам транспорта: морскому и железнодорожному\*. Затраты на погрузку, разгрузку, дообработку и т. д. условно принимали равными и в расчет не включали. Все расчеты проведены по методикам Института комплексных транспортных проблем и СоюзморНИИпроекта [1, 2].

По железнодорожному транспорту приведенные затраты определяли с учетом направления грузопотоков. На Ленинградском направлении было принято два варианта: I — через Киров — Вологду; II — через Казань — Москву. На Новороссийском направлении: I вариант — через Казань, II — через Киров или Куйбышев.

Исходные данные и расчет приведенных затрат при перевозке экспортных пиломатериалов железнодорожным транспортом на примере Карпинского ЛК объединения Свердловспром в два порта отгрузки приведены в табл. 1, 2.

На участке «Порт — рынок» был проведен анализ грузопотоков пиломатериалов за 1970—1975 гг. из Архангельского, Ленинградского и Новороссийского портов по направлениям (странам). Для каждой страны выбран универсальный порт международного класса. В результате анализа морских лесозаэкспортных потоков из трех портов отгрузки выявлено 25 магистральных направлений перевозок пиломатериалов

\* С учетом затрат на подъездных железнодорожных путях и по грузовой массе (оборотные средства).

Таблица 1

Порт назначения	Вариант	$L$ км	$K_1$	$K_2$	$K_3$	$K_{20}$	$K_{27}$	$K_{25}$
Ленинград	I	2279	241,2	0,665	0,053	1791,9	3,575	0,095
	II	2760	241,2	0,665	0,053	1791,9	3,575	0,095
Новороссийск	I	3469	241,2	0,665	0,053	1791,9	3,575	0,095
	II	3587	241,2	0,665	0,053	1791,9	3,575	0,095

Примечание.  $L$  — дальность перевозки, км;  $K$  — расчетные коэффициенты, соответствующие условиям перевозки [1]; статическая нагрузка на ось вагона равна 10,7 тс.

Таблица 2

Порт назначения	Вариант	$C$ р./т	$K$ р./т	$Z$	
				р./т	р./м <sup>3</sup>
Ленинград	I	3,24	16,11	5,66	3,40
	II	3,79	18,16	6,59	3,95
Новороссийск	I	4,61	22,40	7,97	4,78
	II	4,74	23,05	8,20	4,92

с 20 расчетными портами выгрузки. Для этих 20 портов и рассчитаны приведенные затраты на данном участке транспортной схемы.

Удельные затраты по доставке 1 т груза морем включают в себя себестоимость перевозки, удельные капиталовложения и оборотные средства, связанные с процессом доставки груза,

$$Z_n = C + E_1 K + E_2 M \text{ р./т,}$$

где  $C$  — себестоимость перевозки, р./т;

$E_1$  — нормативный коэффициент эффективности капитальных вложений (0,15);

$E_2$  — то же оборотных средств в грузах (0,2);

$K$  — капитальные вложения, р./т;

$M$  — стоимость 1 т грузовой массы.

Результаты расчетов по определению расходов на перевозку магистральными видами транспорта (железнодорожным и морским) от предприятий Урала, Сибири и Севера в страны Европы и Средиземноморского бассейна приведены в табл. 3 и 4.

Таблица 3

Порт назначения	Вариант	Приведенные затраты (р./м <sup>3</sup> ) на железнодорожном транспорте с предприятий			
		Карпинский ЛК	Советский ЛПК	Томский ДОК	Котласский лесозавод
Ленинград	I	3,40	3,56	5,32	2,10
	II	3,95	3,82	5,37	—
Новороссийск	I	4,78	4,65	6,23	4,15
	II	4,92	5,05	—	—
Архангельск	—	—	—	—	1,65

Из табличных данных видно, что приведенные затраты на доставку пиломатериалов по магистральным железнодорожным путям от рассмотренных предприятий-поставщиков в Ленинградский лесной

Таблица 4

Порт отгрузки	Приведенные затраты на морском транспорте в страны	
	Западной Европы	Средиземноморского бассейна
Ленинград	6,64 — 10,02	10,85 — 18,59
Новороссийск	—	8,59 — 12,67
Архангельск	10,56 — 12,37	—

порт меньше, чем в Новороссийский в связи с меньшей протяженностью железнодорожных путей. В то же время приведенные затраты на доставку пиломатериалов от лесного порта в порты Средиземноморского бассейна и Ближнего Востока из Новороссийского порта значительно ниже, чем из Ленинградского. В результате суммарные приведенные затраты по доставке пиломатериалов в порты Ближнего Востока и Средиземноморского бассейна с предприятий Свердловского, Тюменского, Томского лесного порта ниже, чем из Ленинградского, а тем более Архангельского и Игарского, т. е. наиболее эффективно для указанных рынков пиломатериалы отгружать из Новороссийского порта.

Расчеты показали, что суммарные приведенные затраты на доставку пиломатериалов в страны Западной Европы через Ленинградский порт ниже, чем через Новороссийский и Архангельский, следовательно, пиломатериалы с рассмотренных предприятий (Котласский лесозавод и др.) для указанных рынков целесообразнее поставлять в Ленинградский лесной порт.

#### ЛИТЕРАТУРА

[1]. Методика выбора способа перевозки грузов с применением контейнеров. М., ИКТП, 1974. [2]. Нормативы на погрузочно-разгрузочные работы, выполняемые в морских портах. Л., СоюзморНИИпроект, 1974.

Поступила 16 января 1978 г.

## КРАТКИЕ СООБЩЕНИЯ И ОБМЕН ОПЫТОМ

УДК 634.0.812

ФИЗИКО-МЕХАНИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА ДРЕВЕСИНЫ  
ХВОЙНЫХ ЭКЗОТОВ  
БРЯНСКОГО УЧЕБНО-ОПЫТНОГО ЛЕСНИЧЕСТВА

В. И. БИРЮКОВ

Брянский технологический институт

Изучены качественные показатели древесины семи видов хвойных экзотов и двух видов местных пород. Выявлены экзоты с лучшей древесиной и указаны пути ее использования в различных отраслях производства.

О пригодности новой древесной породы для лесовосстановления, защитного лесоразведения и зеленого строительства можно судить не только по скорости роста, продуктивности, устойчивости против неблагоприятных факторов среды, декоративности и другим показателям, но и по качеству древесины. От качества древесины, как отмечает О. И. Полубояринов [7], теснейшим образом зависит промышленное использование древесных материалов в различных отраслях производства.

Важные показатели качества древесины — ее физико-механические свойства. Они зависят от особенностей самой породы, от условий среды, в которых формируются деревья и насаждения, от режима выращивания, от возраста дерева и высоты взятия образца [1, 10].

Изучением физико-механических свойств древесины хвойных экзотов, введенных в культуры центральных районов РСФСР, занимались немногие исследователи [1—5, 9, 12]. Наиболее изучена в этом отношении лиственница.

Цель наших исследований — выявление преимуществ и недостатков качества древесины той или иной породы-экзота в сравнении с другими, прежде всего, с местными сосной и елью, которые являются основными хвойными породами в естественных и искусственных насаждениях европейской части СССР.

Изучали чистые культуры, в большинстве случаев одновозрастные, созданные в однородных почвенно-грунтовых условиях. Условия культивирования хвойных экзотов и местных пород Брянского учебно-опытного лесничества благоприятны. Климат переходный от сравнительно мягкого и влажного климата Полесья к значительно более континентальному и засушливому северной части центральной лесостепи. Среднегодовая температура воздуха 5,0°C, среднегодовое количество осадков 627 мм. Преобладающие почвы — среднеподзолистые песчаные, свежие; тип условий местопрорастания — простая свежая суборь (B<sub>2</sub>). Все культуры созданы посадкой.

В связи с немногочисленными по площади посадками экзотов для заготовки исследованных образцов брали по два модельных дерева из средних ступеней толщины, которые вполне достаточно характеризуют средние показатели качества элемента леса [6, 7, 10]. Образцы заготавливали из отрубков, взятых с высоты 1,3—3,0 м, т. е. длина отрубков древесного ствола составляла 1,7 м.

Заготовку образцов и их испытания производили по одной методике в соответствии с требованиями ГОСТа 11498-65 и ГОСТа 16483-73 в лаборатории кафедры древесиноведения Брянского технологического института\*.

Физико-механические свойства древесины определены путем испытания малых чистых образцов, что позволяет, как отмечает Б. Н. Уголев [11], сравнить качество древесины различных пород без усложняющего их оценку влияния пороков. На каждое испытание брали по 20 образцов.

Собранный экспериментальный материал обработан с применением математических методов. Точность опытов во всех случаях не превышала 5%. Конечные результаты опытов приведены расчетным путем к стандартной 12%-ной влажности.

Основным показателем, характеризующим качество древесины, является ее плотность. Зная показатель плотности, как указывает О. И. Полубояринов [7], можно

\* Лабораторные испытания древесины выполнены под руководством и с участием Э. А. Фоминой. Автор выражает ей благодарность.



Таблица 1

Порода	Возраст, лет	Плотность, кг/м <sup>3</sup>	Предел прочности, кгс/см <sup>2</sup>				Твердость древесины статическая, кгс/см <sup>2</sup>			
			при сжатии вдоль волокон	при статическом изгибе	при скальвании	радиальная	тангенциальная	торцовая	радиальная	тангенциальная
Пихта бальзамическая	63	401 ± 8,7	343 ± 13,9	598 ± 26,0	77 ± 2,1	261 ± 8,6	133 ± 5,8	152 ± 6,0		
Псевдотсуга тиссолистная	63	509 ± 5,2	469 ± 9,0	946 ± 28,2	107 ± 2,6	489 ± 14,5	308 ± 6,4	339 ± 17,1		
Ель обыкновенная	63	454 ± 2,8	440 ± 14,1	734 ± 23,0	65 ± 3,0	325 ± 10,1	193 ± 6,1	189 ± 5,9		
Лиственница сибирская	35	591 ± 11,8	412 ± 13,6	1037 ± 17,4	87 ± 0,9	434 ± 12,4	—	318 ± 14,8		
" японская	54	539 ± 29,2	402 ± 9,4	708 ± 31,8	108 ± 3,6	413 ± 14,8	309 ± 12,1	278 ± 9,6		
Сосна обыкновенная	63	579 ± 14,3	582 ± 31,9	617 ± 29,3	82 ± 4,1	384 ± 13,1	304 ± 15,3	247 ± 12,4		
" Банка	63	599 ± 7,7	531 ± 13,4	893 ± 26,6	78 ± 4,0	375 ± 9,7	269 ± 12,9	264 ± 5,2		
" "	40	524 ± 2,5	511 ± 23,4	766 ± 32,1	94 ± 4,7	357 ± 17,0	290 ± 12,7	260 ± 12,7		
" веймутова	63	340 ± 4,2	281 ± 8,2	610 ± 28,5	70 ± 1,7	203 ± 8,8	136 ± 6,7	130 ± 5,4		
Туя западная	63	387 ± 1,3	306 ± 12,1	523 ± 18,6	64 ± 2,6	267 ± 10,5	139 ± 6,8	181 ± 9,0		

говорить о прочностных свойствах и путях использования древесины и древесного сырья той или иной породы.

Однако, как свидетельствуют результаты наших исследований (табл. 1), прямой связи между плотностью и другими физико-механическими свойствами не наблюдается. Древесина одной породы с большой плотностью по остальным качественным показателям не имеет преимуществ перед древесиной других пород, имеющей меньшую плотность.

Из приведенных данных видно, что наибольшая плотность у древесины сосны Банка, лиственницы сибирской, сосны обыкновенной, лиственницы японской, псевдотсуги тиссолистной. Невысокая плотность у древесины ели обыкновенной, пихты бальзамической, туи западной и сосны веймутовой. Древесина последних пород, как пишет О. И. Полуобояринов [8], может найти широкое применение в производстве древесностружечных плит, легких несущих конструкций, тарной доски.

Сопротивление сжатию вдоль волокон наибольшее у древесины сосны обыкновенной, сосны Банка, псевдотсуги тиссолистной и ели обыкновенной. Низкий показатель древесины лиственницы сибирской можно объяснить небольшим возрастом культур (35 против 63 лет остальных пород). Однако, как показали наши исследования [1, 2], показатели физико-механических свойств древесины этой породы с возрастом резко возрастают и становятся значительно выше, чем у местных пород.

Прочность древесины при статическом изгибе — одна из важнейших характеристик ее качества. Этот показатель необходимо знать в различных отраслях производства, особенно при использовании древесины в строительстве, машиностроении, автостроении, где она работает на изгиб. Наибольшая прочность при статическом изгибе у древесины лиственницы сибирской, псевдотсуги тиссолистной, сосны Банка и ели обыкновенной.

В инженерно-строительных конструкциях, например при скреплении брусков с помощью врубок в стропильных фермах, при сопряжении стропильной ноги с затяжкой, древесина работает на скальвание. Предел прочности при скальвании наиболее высок у древесины лиственницы японской и псевдотсуги тиссолистной; выше среднего (33 кгс/см<sup>2</sup>) — у 40-летней сосны Банка (культуры в С<sub>2</sub>-3), у лиственницы сибирской. Невысокая прочность древесины

при скалывании пород ограничивает размеры частей деревянных конструкций и обуславливает возможность применения в том или ином случае.

Твердость древесины имеет значение при обработке ее режущими инструментами (пиление, строгание, лущение), а также в случаях, когда ее поверхность подвергается истиранию (полы, деревянные мостовые). Как торцовая, так радиальная и тангенциальная статическая твердость древесины наиболее высока у псевдотсуги тиссолистной, лиственницы сибирской, лиственницы японской, сосны обыкновенной и сосны Банкса. Древесину этих пород можно широко использовать при производстве паркета, при настиле полов в жилых и других зданиях и помещениях. Торцовая твердость во всех случаях выше радиальной и тангенциальной.

Результаты исследований показывают, что большинство из изученных в Брянском учебно-опытном лесничестве хвойных экзотов имеют древесину с высокими физико-механическими свойствами, превосходящую по ряду качественных показателей древесину местных пород сосны обыкновенной и ели обыкновенной. К ним следует отнести псевдотсугу тиссолистную, сосну Банкса, лиственницу сибирскую и японскую.

#### ЛИТЕРАТУРА

- [1]. Бирюков В. И. Физико-механические свойства древесины лиственницы сибирской, выращенной на черноземах. — В сб.: Лиственница. Т. 3. Красноярск, 1968.  
 [2]. Бирюков В. И., Мазур В. А. Культуры сосны Муррея в центральной лесостепи. — ИВУЗ, «Лесной журнал», 1975, № 3. [3]. Глинчиков И. Н. Результаты 60-летнего опыта лесоразведения в Алексеевской даче Моховского лесхоза. — Труды Воронежской опытной станции. Т. 3. Воронежское обл. изд-во, 1940. [4]. Грачев И. Сибирская лиственница на черноземе Тульской губернии. — «Лесопромышленный вестник», 1913, № 50. [5]. Гроздов Б. В. К учету культур экзотов учебно-опытной дачи Брянского лесного института. Смоленск, ЗОНИ, 1935. [6]. Перелыгин Л. М. Физико-механические свойства древесины хвойных пород СССР. М., «Лесная промышленность», 1942, № 9—10. [7]. Полубояринов О. И. Оценка качества древесного сырья. Л., ЛТА, 1971. [8]. Полубояринов О. И. Плотность древесины. Л., ЛТА, 1973. [9]. Тимофеев В. П. Лиственница в культуре. М.—Л., Гослестехиздат, 1947. [10]. Тихонов А. С. Плотность древесины ели при комплексном выращивании с березой и осиной. — ИВУЗ, «Лесной журнал», 1976, № 1. [11]. Уголев Б. Н. Испытания древесины и древесных материалов. М., «Лесная промышленность», 1975. [12]. Штурм В. Продукция роста хвойных на черноземе и их естественное возобновление. — Труды по лесному опытному делу. Вып. 2 (16). М., «Новая деревня», 1925.

УДК 631.811.1 : 634.0.524.3

### О СВЯЗИ АЗОТНОГО ПИТАНИЯ С ПРОДУКТИВНОСТЬЮ СЕВЕРОТАЕЖНЫХ ЕЛЬНИКОВ

Г. Б. ГОРТИНСКИЙ, А. И. ТАРАСОВ

Архангельский лесотехнический институт

Обнаружена четкая и прямая связь между классом бонитета, запасом древостоя и содержанием азота в хвое. Установлено, что разница по содержанию азота в хвое ели разных местообитаний определяется не столько различиями в обеспеченности почв азотом, сколько степенью его усвояемости, зависящей в основном от гидротермических условий.

Исследования проводили на территории Койнасского лесничества Архангельской области. Климатические условия района исследований и всей подзоны северной тайги весьма далеки от оптимальных для произрастания лесной растительности. Они обуславливают формирование низкопродуктивных лесов, в том числе и еловых, представленных преимущественно древостоями V класса бонитета.

Однако продуктивность лесов Севера зависит не только от климатических, но также и от почвенных условий. Так, например, в связи с расчлененностью рельефа и спецификой почвообразования на отдельных его элементах (склонах, поймах и т. д.) создаются относительно более благоприятные лесорастительные условия, обеспечивающие произрастание ельников IV и даже III класса бонитета.

Один из важнейших экологических факторов среды, влияющих на продуктивность лесов, — минеральное питание растений. Также велика роль гидротермиче-

Таблица 1

Элемент рельефа	Почва	Тип леса	Состав	Запас стволовой древесины, м <sup>3</sup> /га	Возраст, лет	Класс бонитета	Уровень верховодки (в числе-ле пределе колебаний, в знаменателе — средний уровень), см	Средняя температура воздуха подстилки, °С	Азот	
									общий в подстилке, %	легкогидролизуемый в подстилке, мг/кг
Вершина холма	Среднеподзолистая супесчаная	Бруснично-черничный	8Е2Б	123	110	V	22—68 50	6,8	1,51	22,0
Верхняя часть склона, уклон 10°	Перегнойно-глееватая на суглинке	Чернично-палотничковый	7Е3Б	208	120	IV	28—43 33	8,6	1,28	38,0
Средняя часть склона, уклон 2°	Слабоподзолистая суглинистая	Черничный	8Е2Б, ед. Ос	150	110	IV—V	14—42 30	9,2	1,30	32,0
Нижняя выравненная часть склона	Торфянисто-подзолистая глеевая	Кустарничково-сфагновый	7Е3Б+С	50	120	V6	1—31 15	7,8	1,64	28,0

ских условий, которыми прямо или косвенно определяется степень усвоения питательных веществ.

Для почв изучаемого района характерно периодическое подтопление и пониженная температура. Минеральное питание в таких условиях изучено еще недостаточно. Тем не менее некоторые наблюдения, проведенные в условиях избытка влаги в почве и недостатка тепла, убедительно показали, что поглощение питательных веществ растениями определяется в основном содержанием в почвенной толще свободного кислорода [1, 5, 9] и ее температурой [2, 8].

Кроме того, установлено, что с усилением заболачивания почвы и понижением ее температуры снижается активность микроорганизмов, грибов и почвенной фауны [3, 4]. В результате усвояемость растениями элементов минерального питания значительно ухудшается. Подавляя, например, деятельность аммонифицирующих и нитрифицирующих бактерий, избыток влаги ухудшает режим снабжения деревьев азотом [5]. А недостаток доступного для питания деревьев азота в почве, как известно, часто является одной из основных причин, снижающих продуктивность древостоев. Принимая это во внимание, мы сделали попытку установить связь между содержанием азота в хвое и в почве и продуктивностью еловых древостоев, произрастающих в разных лесорастительных условиях Лешуконского района Архангельской области. Объектами исследований служили пробные площадки, заложенные в различных типах елового леса, одного экологического профиля (склона моренного холма). Характеристика объектов исследования приведена в табл. 1.

При определении потребности растений в элементах минерального питания у нас и за рубежом широко используется метод «листового анализа» [5, 6, 10—13], основанный на том, что для осуществления нормальной жизнедеятельности листьев (хвои) содержание элементов минерального питания не может быть ниже определенных пределов [7]. В связи с этим древостои высших классов бонитета характеризуются обычно и самым высоким уровнем содержания элементов минерального питания.

Материал для «листового анализа» собирали по методу Вермана [11, 12]. Хвою заготавливали в начале сентября. На каждой пробной площадке у 15 деревьев верхнего полога с бо-

ковых побегов верхушечной мутовки однолетнюю хвою срезали, из нее готовили общую среднюю пробу, которую высушивали при температуре 60—70°С. Для опре-

деления зольности ее сжигали при температуре не выше 450°C. Результаты определения азота в хвое приведены в табл. 1.

Сравнительный анализ полученных данных подтверждает концепцию прямой связи продуктивности древостоев с содержанием азота в хвое. Из приведенной таблицы видно, что чем меньше в хвое азота, тем ниже продуктивность (запас) древостоя.

Как известно, недостаток азота проявляется при содержании его в хвое ели от 0,8 до 1,3% [13]. Сопоставляя полученные нами результаты обеспеченности азотом с данными Вермана, можно заключить, что в хвое низкопродуктивных древостоев (ельников бруснично-черничного и в особенности кустарничково-сфагнового) содержание азота явно недостаточно (соответственно 1,12 и 1,05%). Более продуктивные древостои (ельники чернично-папоротничковые и черничные) хорошо обеспечены азотом (1,50 и 1,47%), так как по Верману древостой с наивысшей продуктивностью содержат в хвое 1,2—2% азота.

Однако по содержанию общего азота в подстилке, где сосредоточена наибольшая часть его запаса и размещается основная масса физиологически активных корней, наблюдается обратная картина. В подстилке низкопродуктивных ельников уровень обеспеченности общим азотом значительно выше, чем в подстилке ельников относительно более продуктивных (табл. 1). Это обусловлено, с одной стороны, различиями в скорости образования и продолжительности потребления доступных форм азота корнями деревьев, с другой, разной интенсивностью его выноса.

Например, в самом низкопродуктивном кустарничково-сфагновом ельнике замедленное образование доступного азота и слабая его усвояемость связаны, главным образом, с длительным подтоплением верховодкой корнеобитаемого слоя почвы. Вода застаивается вследствие слабого бокового оттока, что способствует постепенному нарастанию торфянистого горизонта, а также понижению его температуры. В результате ухудшаются условия аэрации и режима минерального питания. Различные соединения азота становятся малодоступными для корней и концентрируются в торфянистом горизонте. Таким образом, весь имеющийся потенциальный запас их остается неиспользованным.

Наиболее продуктивный чернично-папоротничковый ельник, расположенный на склоне холма с уклоном около 10°, в отличие от ельника кустарничково-сфагнового характеризуется более благоприятными лесорастительными свойствами почвы в связи с повышенным содержанием легкоподвижного азота. Перевод его в доступные для питания растений формы обеспечивается здесь более благоприятным водно-воздушным режимом и связанной с ним минерализацией растительных остатков. Совершенно очевидно, что это следствие более низкого стояния уровня верховодки и лучшей проточности вод. Кроме потребления корнями растений, значительная часть азота в этом типе леса выносится из подстилки поверхностным и внутрипочвенным оттоком.

Таким образом, в низкопродуктивном кустарничково-сфагновом ельнике, расположенном в нижней выравненной части склона, в связи с длительным подтоплением корнеобитаемой толщи почвы постепенно накапливается и консервируется азот, а в наиболее продуктивном чернично-папоротничковом ельнике, расположенном в верхней части склона с кратковременным подтоплением, в связи с длительным потреблением и значительным выносом боковым оттоком наблюдается более интенсивный расход азота. Разница в показателях рН водной суспензии подстилок изучаемых типов леса незначительна (4,1—4,6), поэтому кислотность почвы не может определять различное содержание в них азота.

Совершенно очевидна связь между азотом хвои и легкогидролизующим азотом подстилок, более доступным для питания растений, чем общий азот. Из приведенной таблицы хорошо видно, что чем больше легкогидролизующего азота в подстилке, тем больше его в хвое и тем выше продуктивность древостоя. А если рассчитать запасы легкогидролизующего азота с учетом корнеобитаемого объема почвы каждого типа леса, то обнаружится еще более отчетливая зависимость.

Обобщая изложенный материал, можно сделать вывод, что различия в содержании азота в хвое древостоев разных местообитаний определяются не столько обеспеченностью почв общим азотом, сколько степенью его усвояемости, зависящей, в основном, от гидротермических условий. Избыточное увлажнение почвы в сочетании с низкой температурой затрудняет перевод органического азота в легко усвояемые для растений формы. Это способствует снижению поглотительной способности корней и приводит к торможению важнейших физиологических процессов в растениях, что в конечном итоге отражается на росте деревьев, а в целом и на продуктивности древостоев.

#### ЛИТЕРАТУРА

- [1]. Веретенников А. В. Физиологические основы устойчивости древесных растений к временному избытку влаги в почве. М., «Наука», 1968. [2]. Дадыхин В. П. и др. О влиянии температуры почвы на содержание аммиачного азота в

растениях. — «ДАН СССР», 1955, т. 101, № 2. [3]. Егорова С. А. и др. Микроорганизмы как компонент лесного биогеоценоза. — В кн.: Основы лесной биогеоценологии. М., «Наука», 1964. [4]. Забоева И. В., Русанова Г. В., Слобода А. В. Некоторые особенности биологического круговорота химических элементов в ельниках таежной зоны. — В кн.: Биологические исследования на северо-востоке европейской части СССР. Сыктывкар, 1974. [5]. Орлов А. Я. Влияние избытка влаги и других почвенных факторов на корневые системы и продуктивность сло-вых лесов южной тайги. — В сб.: Влияние избыточного увлажнения на продуктив-ность лесов. М., «Наука», 1966. [6]. Орлов А. Я., Кошельков С. П. Об оценке плодородия лесных почв. — «Почвоведение», 1965, № 1. [7]. Цельникер Ю. Л. Основные физиологические процессы, протекающие в фитоценозах, и их роль в об-мене веществ и энергии. — В кн.: Основы лесной биогеоценологии. М., «Наука», 1964. [8]. Штраусберг Д. В. Питание растений при пониженных температурах. М., «Наука», 1965. [9]. Harley V. The biology of mycorrhiza. London, 1959. [10]. Lundegardh H. Die Nährstoffaufnahme der Pflanze. Jena, 1951. [11]. Wehrmann J. Metodische Untersuchungen zur Durchführung von Nadelanalysen. — «Forstwiss. Cbl.», 1959, 78, No. 3/4. [12]. Wehrmann J. Die Mineralstoffernährung von Kiefernbeständen (*Pinus silvestris*) in Bauern. — «Forstwiss. Cbl.», 1959, 78, No. 5/6. [13]. Wehrmann J. Die Beurteilung der Stickstoffernährung von Fichten und Kiefernbeständen. — «Allg. Forstzeit.», 1963, No. 32/33.

УДК 535.243 : 634.0.425

## ИССЛЕДОВАНИЕ ОТРАЖАТЕЛЬНОЙ СПОСОБНОСТИ ХВОЙНЫХ ПОРОД, ПОВРЕЖДЕННЫХ ПРОМЫШЛЕННЫМИ ГАЗАМИ

В. М. ЖИРИН, П. А. КРОПОВ, Ю. А. КУКУЕВ

Московский лесотехнический институт

Приводятся результаты наземного спектрофотометрирова-ния в области спектра 400—900 нм поврежденной промыш-ленными газами хвой сосны и лиственницы.

Изменение спектральной отражательной способности хвойных пород зачастую происходит в результате вредного воздействия факторов внешней среды, в частно-сти, под влиянием выбросов промышленных газов. В связи с этим изучение спектр-ральных коэффициентов яркости (СКЯ) помогает более ясному пониманию процес-сов физиологического угнетения деревьев, попавших в неблагоприятную обстановку [1, 4].

Нами произведены измерения СКЯ поврежденной хвой в зоне недавнего (10—15 лет) промышленного освоения в одном из районов южной части Восточной Си-бири. Здесь произрастают хвойные породы с преобладанием сосны и лиственницы (II—III классе бонитета, III—VII классе возраста). Основной компонент промыш-ленных выбросов — фтористые соединения, которые оказывают хроническое вредное воздействие на хвою сосны и лиственницы. Хотя лиственница ежегодно обновляет свою хвою, в этих условиях она развивается короче нормальной и во второй поло-вине вегетационного периода наблюдается внешне заметное ее побурение. У сосны хвоя старших возрастов постепенно бурее и затем опадает. В зависимости от уда-ления источника выбросов газов, типов лесорастительных условий, метеорологиче-ской обстановки и других причин происходит разное по интенсивности отмирание деревьев и, в конечном счете, из-за увеличения доли деревьев III—VI категории состояния, в насаждениях возникает неблагоприятная санитарная обстановка [3].

Для наземного изучения СКЯ использовали полевой спектрофотометр — однолу-чевой фотоэлектрический прибор со стрелочным индикатором, показания которого пропорциональны интенсивности спектральных составляющих проходящего в прибор излучения. Угол поля зрения прибора 12°. Спектральное разрешение прибора состав-ляет 8—10 нм, благодаря чему обнаруживаются характерные изменения СКЯ по-врежденной хвой. Время измерения через 20 нм в 26 длинах волн составляет 8—10 мин. Каждый образец измеряли в трехкратной повторности, после чего опре-деляли средние значения СКЯ. В качестве эталонной поверхности использовали белую баритованную бумагу. Относительная ошибка измерения в диапазоне длин волн 400—900 нм составляет 3—5% на уровне 0,5 [2].

Образцами для измерения СКЯ служили хвоя из верхней части кроны деревьев сосны разных категорий состояния (рис. 1), хвоя и побеги с тех же деревьев сосны

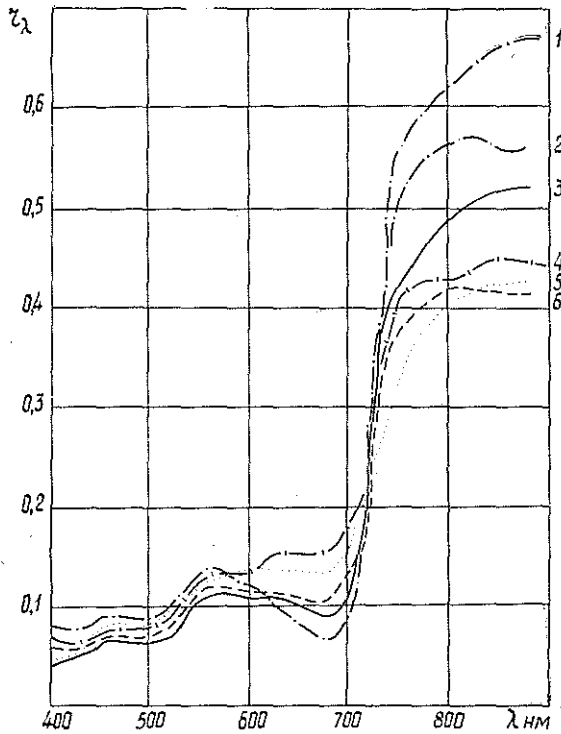
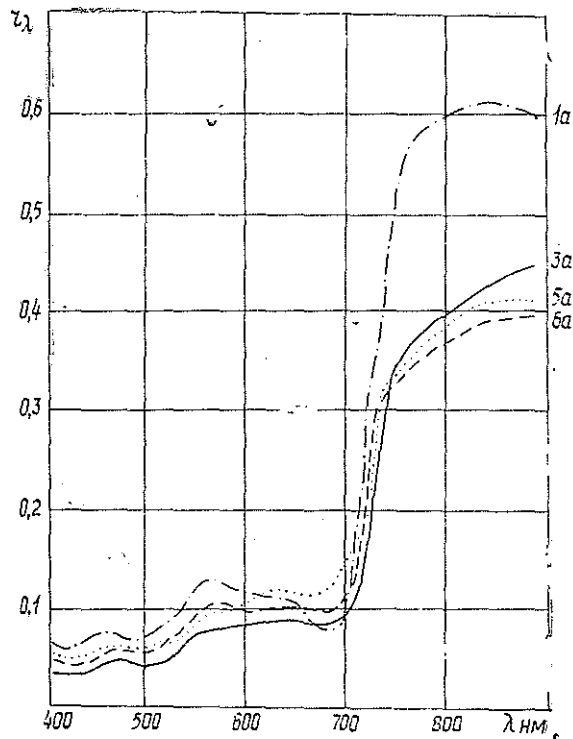


Рис. 1. Кривые спектральной яркости хвои сосны разной степени повреждения.

1 — здоровое дерево I категории состояния; 2 — ослабленное дерево II категории состояния; 3 — сильно ослабленное дерево III категории состояния; 4, 5, 6 — усыхающие деревья IV категории состояния.

Рис. 2. Кривые спектральной яркости охвоенных побегов сосны разной степени повреждения.

1а — здоровое дерево; 3а — сильно ослабленное дерево; 5а, 6а — усыхающие деревья.



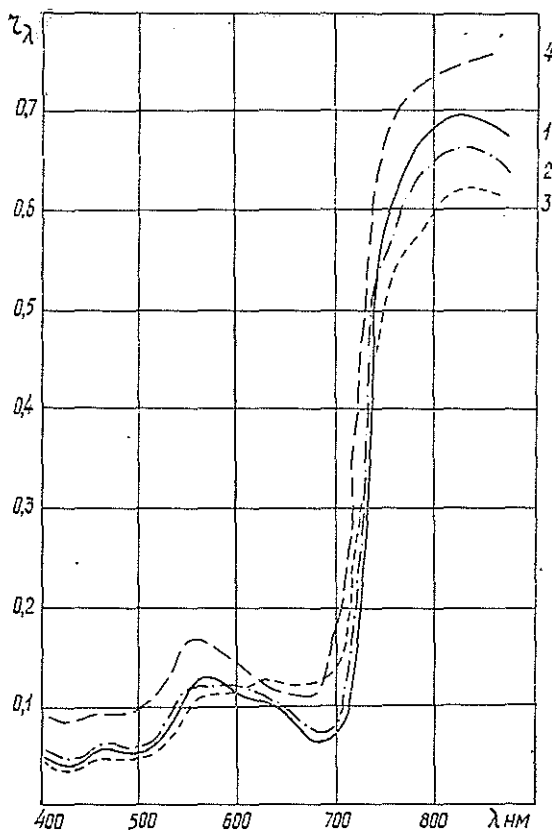


Рис. 3. Кривые спектральной яркости хвои лиственницы и листьев березы.

1, 2 — ослабленные деревья лиственницы II категории состояния; 3 — сильно ослабленное дерево лиственницы III категории состояния; 4 — здоровое дерево березы.

(рис. 2), хвоя лиственницы и для сравнения листья березы (рис. 3). Сопоставляя эти данные, можно сделать предварительные выводы.

1. С ухудшением санитарного состояния деревьев сосны и лиственницы СКЯ хвои повышаются в области 620—680 нм красной зоны спектра. Так, отражательная способность хвои с усыхающих деревьев сосны IV категории состояния на 30—40% выше, чем у нормальной хвои. СКЯ хвои сильно ослабленной лиственницы III категории состояния и менее ослабленных деревьев II категории состояния различаются на 15—17%.

2. Первый максимум кривых в зеленой части спектра (540—580 нм) наиболее характерен для хвои (листьев) здоровых деревьев. Кривые СКЯ хвои с ослабленных деревьев имеют в этой части спектра или слабо выраженный максимум, или не имеют максимума совсем. В последнем случае значения СКЯ монотонно повышаются в пределах зеленой и красной зон спектра.

3. Наблюдаются значительные различия в значениях СКЯ хвои разной степени повреждения в инфракрасной части спектра (760—860 нм). Эти различия достигают 40—55% у хвои сосны IV категории состояния по сравнению с нормальной хвоей. Отражательная способность сосновой хвои деревьев II и III категорий состояния занимает промежуточное положение. Наименьшая яркость хвои лиственницы отмечается у дерева III категории состояния, но и в этом случае абсолютные значения СКЯ выше, чем у хвои сосны, например, II категории состояния.

4. При спектрофотометрировании хвои сосны вместе с побегами происходит интегральное отражение света, в результате ход кривых СКЯ несколько меняется. Эти изменения в разных частях спектра неодинаковы, однако также заметны существенные различия между поврежденной и нормальной хвоей в инфракрасной зоне спектра.

5. Известно, что СКЯ нормальной хвои лиственницы и листьев березы близки к значениям в инфракрасной зоне спектра. Однако у поврежденной хвои лиственницы СКЯ на 10—20% ниже яркости листьев березы, находящейся в тех же условиях задымления.

Результаты опыта показывают, что СКЯ могут быть использованы для характеристики категорий санитарного состояния хвойных пород, находящихся в зоне воздействия на лес промышленных газов.

#### ЛИТЕРАТУРА

[1]. Кропов П. А. Возможности оценки санитарного состояния и биологической продуктивности лесов дистанционными методами. — Сборник научн. трудов ВНИИЛМ. Вып. 5. М., 1974, с. 327—331. [2]. Мелешко К. Е. Методика измерения спектральных коэффициентов яркости (СКЯ) растительного покрова болот в наземных условиях. — Доклады комиссии аэросъемки и фотограмметрии. ГО СССР, 1969, вып. 6, стр. 71—78. [3]. Санитарные правила в лесах СССР. М., «Лесная промышленность», 1970. [4]. Харин Н. Г. Лесохозяйственное дешифрирование аэроснимков. М., «Наука», 1965.

УДК 634.0.383.4

### О ПРИНЦИПАХ РАЗМЕЩЕНИЯ В ЛЕСУ ЛЕСОХОЗЯЙСТВЕННЫХ ДОРОГ

Б. А. ИЛЬИН

Ленинградская лесотехническая академия

Приведены формулы для определения оптимального количества дорог I типа в данном лесном массиве, оптимальной густоты дорожной сети в лесу и среднего расстояния между лесохозяйственными дорогами II типа.

Обеспечение лесохозяйственных предприятий развитой и экономичной сетью лесохозяйственных дорог — неперемное условие их эффективной работы. Вопросы правильного размещения в лесфонде дорог этого типа в настоящее время разработаны недостаточно.

Предложения Союзгипролесхоза [1, 3] предназначены в основном для укрупненных расчетов потребного общего протяжения дорог в пределах крупных лесных территорий.

Ниже в порядке постановки вопроса излагаются некоторые соображения о принципах экономичного размещения лесохозяйственных дорог в пределах лесных территорий, подведомственных перспективным лесхозам, имеющим в данное время слабо развитую сеть лесных дорог.

Размещение лесохозяйственных дорог следует начинать с магистралей (дороги I типа, по классификации Союзгипролесхоза). В небольшом лесном массиве достаточно проложить одну магистральную дорогу, к которой под углом 45—50° будут примыкать дороги II типа. Для более крупных массивов необходимо решить вопрос о количестве и направлении нескольких магистралей.

На размер зоны тяготения к каждой дороге I типа влияет много факторов, в том числе рельеф местности, положение фиксированных точек, через которые должна пройти дорога (поселки, кордоны и т. п.), общее направление основной части грузопотока лесохозяйственных грузов и т. п.

Ширину зоны тяготения, или расстояние между магистралями  $D$  (рис. 1), можно определить, исходя из минимума удельных приведенных затрат на постройку, содержание и ремонт лесохозяйственных дорог I и II типов в пределах зоны тяготения и транспортировку грузов по дорогам II типа к дорогам I типа.

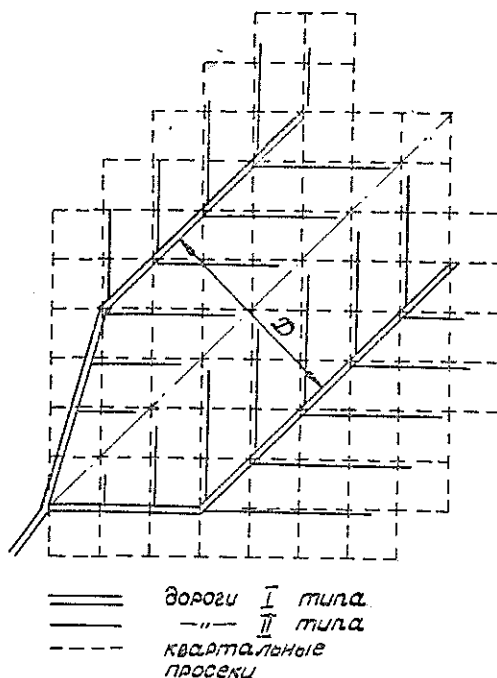
Решая эту задачу обычным методом нахождения минимума функции  $S = f(D)$ , где  $S$  — перечисленные суммарные удельные затраты, можно получить

$$D_{\text{опт}} = 0,2 \sqrt{\frac{E_n(C_1 \sin \alpha - C_2) + B_1 \sin \alpha - B_2}{b_2 \Sigma q}}, \quad (1)$$

где  $E_n$  — нормативный коэффициент экономической эффективности;  
 $C_1$  и  $C_2$  — единовременные затраты на постройку I км дороги I и II типов;  
 $B_1$  и  $B_2$  — ежегодные расходы на содержание и ремонт I км дорог обоих типов;  
 $b_2$  — транспортная составляющая расходов по перевозке грузов по дорогам II типа (можно принимать по [2]), р./т. км;  
 $\Sigma q$  — среднее ежегодное количество грузов, подлежащих перевозке, отнесенное к I га лесфонда, т;  
 $\alpha$  — среднее значение угла примыкания дорог II типа к дороге I типа.



Рис. 1.



Если длину зоны тяготения к данной дороге I типа, измеренную по направлению господствующей части грузопотока, обозначить через  $A$ , то можно найти  $n_{\text{опт}}$  — оптимальное количество магистралей для рассматриваемого участка гослесфонда:

$$n_{\text{опт}} = \frac{F}{A D_{\text{опт}}} = \frac{0,05F}{A} \sqrt{\frac{b_2 \Sigma q}{E_{\text{II}} (C_1 \sin \alpha - C_2) + B_1 \sin \alpha - B_2}}, \quad (2)$$

где  $F$  — площадь участка гослесфонда, га.

Пример расчета. Исходные данные:  $F = 80\,000$  га;  $A = 40$  км;  $C_1 = 20\,000$  р.;  $C_2 = 5000$  р.;  $b_2 = 0,25$  р./т·км;  $\Sigma q = 2$  т/га;  $B_1 = 400$  р.;  $B_2 = 100$  р.;  $\alpha = 45^\circ$ .

$$n_{\text{опт}} = \frac{0,05 \cdot 80\,000}{40} \sqrt{\frac{0,25 \cdot 2}{0,12 (0,71 \cdot 20\,000 - 5000) + 400 \cdot 0,71 - 100}} = 2.$$

Установив зону тяготения к каждой магистрали, назначают их генеральное направление. В качестве такового можно принять линию, проведенную от места примыкания проектируемой дороги к дороге общего пользования, нижнему складу и т. п. в глубь зоны тяготения с таким расчетом, чтобы она делила эту зону на две равные по площади части, если проектируется лесохозяйственная дорога, и по запасам — для лесовозно-лесохозяйственной дороги. В этом случае среднее расстояние доставки грузов по дорогам II типа к дороге I типа будем минимальным.

Остальные дороги I типа (выходы к населенным пунктам, железнодорожным станциям и т. п.) намечают по наискратчайшему направлению с учетом рельефа местности и других природных условий.

Для размещения на территории гослесфонда лесохозяйственных дорог II типа следует прежде всего определить оптимальную густоту сети лесохозяйственных дорог по формуле (км/га)

$$\Delta_{\text{опт}} = \frac{K_p}{100 d_{\text{опт}}}, \quad (3)$$

где  $K_p$  — коэффициент развития линии при трассировании (1,1 — 1,3);

$d_{\text{опт}}$  — оптимальное расстояние между дорогами II типа, км.

Величину  $d_{\text{опт}}$  можно определить известным способом нахождения минимума функции  $P = f(d)$ , где  $P$  — удельные приведенные затраты на постройку и содер-

жанне дорог II типа, переходы рабочих от дороги в глубь леса для производства работ и на доставку грузов и инвентаря от дорог в лес и обратно (транспортная составляющая, зависящая от расстояния доставки), а  $d$  — среднее расстояние между дорогами II типа.

При этом получим

$$d_{\text{опт}} = 0,2 \sqrt{\frac{(E_n C_2 + B_2) K_{\text{кос}}}{\left(b^2 + \frac{2fs}{v_{\text{раб}}}\right) \Sigma q}}; \quad (4)$$

$$\Delta_{\text{опт}} = 0,05 K_p \sqrt{\frac{\left(b_2 + \frac{2fs}{v_{\text{раб}}}\right) \Sigma q}{(E_n C_2 + B_2) K_{\text{кос}}}}, \quad (5)$$

где  $K_{\text{кос}}$  — коэффициент, учитывающий влияние поперечного уклона местности на среднее расстояние доставки грузов к дороге ( $K_{\text{кос}} = 1$  в равнинной местности и 0,5—0,7 — в горной);

$f$  — ежегодные трудозатраты на все виды работ в лесу, выполняемых в стороне от дороги, отнесенные к 1 т перевозимых грузов, чел.-дн./т;

$s$  — средняя часовая зарплата рабочих с начислениями;

$v_{\text{раб}}$  — средняя скорость передвижения в лесу пешеходов (в среднем 2,5 км/ч).

Значение  $b_2$  в формулах (4) и (5) рекомендуется принимать равным

$$b_2 = \frac{b_{\text{г.п}} q_{\text{г.п}} + b_{\text{п.п}} q_{\text{п.п}} + b_{\text{л.х}} q_{\text{л.х}} + K_{\text{п}} b_{\text{пож}} q_{\text{пож}}}{\Sigma q}, \quad (6)$$

где  $b_{\text{г.п}}$ ,  $b_{\text{п.п}}$ ,  $b_{\text{л.х}}$ ,  $b_{\text{пож}}$  — транспортная составляющая расходов соответственно на трелевку леса от рубок главного пользования, рубок промежуточного пользования, доставку лесохозяйственных грузов и пожарного инвентаря, воды и т. п. при тушении пожаров.

Величина

$$\Sigma q = q_{\text{г.п}} + q_{\text{п.п}} + q_{\text{л.х}} + q_{\text{пож}}$$

представляет собой ежегодное среднее количество грузов, образующихся на 1 га лесфонда при рубках главного пользования ( $q_{\text{г.п}}$ ), промежуточного пользования ( $q_{\text{п.п}}$ ), лесохозяйственных работах ( $q_{\text{л.х}}$ ) и тушении лесных пожаров ( $q_{\text{пож}}$ ), а  $K_{\text{п}}$  — коэффициент пожароопасности, равный 1,0 — для леса I класса пожароопасности, 0,1—0,3 — для II и III классов и 0—0,1 — для участков IV и V классов.

Значения  $b_{\text{г.п}}$ ,  $b_{\text{п.п}}$ ,  $b_{\text{л.х}}$ ,  $b_{\text{пож}}$  можно определить по формуле

$$b = \frac{2M}{(T - t_{\text{пз}}) K_{\text{в}} Q_{\text{пол}} v_{\text{ср}}}, \quad (7)$$

где  $M$  — стоимость машинно-смены трактора, вездехода и т. п. с зарплатой водителя и начислениями;

$T$  — продолжительность рабочей смены, ч;

$t_{\text{пз}}$  — подготовительно-заключительное время, ч;

$K_{\text{в}}$  — коэффициент использования рабочего времени;

$Q_{\text{пол}}$  — полезная нагрузка на машину, тс;

$v_{\text{ср}}$  — средняя скорость движения в обоих направлениях, км/ч.

Приведем пример расчета по формуле (5). Исходные данные:  $C_2 = 3500$  р.;  $B_2 = 50$  р.;  $K_p = 1,2$ ;  $K_{\text{кос}} = 1$ ;  $f = 0,9$  чел.-дн./т;  $s = 1$  р./ч;  $\Sigma q = 2$  т/га;  $b_2 = 1,7$  р./т·км;  $v_{\text{раб}} = 2,5$  км/ч.

$$\Delta_{\text{опт}} = 0,05 \cdot 1,2 \sqrt{\frac{(1,7 + 0,8 \cdot 0,9 \cdot 1)^2}{0,12 \cdot 3500 + 50}} = 0,0061 \text{ км/га,}$$

или 6,1 пог. м/га.

Определив  $\Delta_{\text{опт}}$ , можно установить необходимую общую протяженность сети лесохозяйственных дорог на данной лесной территории  $\Sigma L$ , принимая

$$\Sigma L = \Delta_{\text{опт}} F$$

и приступить к их размещению. При этом удобно пользоваться формулой (4), уста-

навливая дифференцированные значения  $d_{\text{опт}}$  для участков с различными значениями  $\Sigma q$ ,  $b_2$  и  $C_2$ .

Трассы дорог II типа целесообразно везде, где это возможно по местным условиям, совмещать с квартальными просеками, а в участках, где проводятся лесоосушительные работы, — с трассами каналов.

Нанеся на карту дороги I и II типов, следует перейти к размещению дорог III типа. Противопожарные дороги назначают по правилам, разработанным Союзгипролесхозом [1].

Заключив размещение на заданной лесной территории лесных дорог всех назначений, можно приступить к установлению очередности их строительства, исходя из производственных соображений и лимитов, выделяемых на дорожное строительство.

#### ЛИТЕРАТУРА

[1]. Инструкция по проектированию лесохозяйственных дорог (проект). М., Союзгипролесхоз, 1975. [2]. Нормы технологического проектирования и технико-экономические показатели по автомобильному транспорту предприятий лесного хозяйства. М., Союзгипролесхоз, 1974. [3]. Пособие по разработке схем транспортного освоения лесного фонда республики, края, области. М., Союзгипролесхоз, 1975.

УДК 629.11.012.85

### РАСЧЕТ УПРУГОГО ЭЛЕМЕНТА С НЕЛИНЕЙНОЙ ХАРАКТЕРИСТИКОЙ ДЛЯ ПОДВЕСКИ АВТОЛЕСОВОЗА

А. М. ЖИГАЛОВ

Архангельский лесотехнический институт

Определены основные конструктивные размеры витой пружины из прутка прямоугольного сечения, площадь которого по высоте пружины изменяется согласно закону, обеспечивающему заданную нелинейную характеристику.

Конструктивный анализ подвески автолесовоза позволяет определить свободную зону для размещения упругого элемента (рис. 1). Высота его  $H$  в сжатом состоянии при максимальной нагрузке  $P_{\text{max}}$  не должна превышать 463 мм, а витки должны укладываться в полый цилиндр с диаметрами  $d_b \geq 72$  мм;  $D_n \leq 135$  мм. Согласно рекомендациям [1], зазоры между пружиной и сопрягаемой деталью (для  $D_{\text{ср}} = 80 \div 120$  мм) должны составлять 6 мм. Таким образом, размеры цилиндра, в котором должны располагаться витки проектируемой пружины:  $H_{\text{пр}} = 463$  мм;  $D_{\text{max}} = 129$  мм;  $D_{\text{min}} = 78$  мм. Проектируемая пружина должна иметь нелинейную характеристику [2], приведенную на рис. 2, и воспринимать нагрузку

$$P_{\text{max}} = \frac{k_d P_{\text{ст}}}{N} = \frac{k_d Mg}{N},$$

где  $k_d$  — коэффициент динамичности;  
 $P_{\text{ст}}$  — статическая нагрузка на подвеску автолесовоза с грузом;  
 $M$  — поддрессоренная масса автолесовоза;  
 $N$  — число упругих элементов в подвеске.

Коэффициент динамичности  $k_d$  примем равным 2 [4]. Тогда

$$P_{\text{max}} = \frac{2 \cdot 5,4 \cdot 981}{2} = 5300 \text{ кгс.}$$

Максимальный прогиб  $f_{\text{max}}$  при этой нагрузке составит 255 мм (рис. 2). Он соответствует полной блокировке упругого элемента при соприкосновении всех его винтов.

Конструкция подвески ограничивает перемещения поддрессоренной массы величиной 213 мм. Чтобы избежать «пробивания» подвески при высоких нагрузках, прием полный ход подвески  $f_n = 195$  мм. В этом случае минимальный прогиб  $f_0$ , определяемый упором фланца штока подвески в резиновый амортизатор, составит

$$f_0 = f_{\text{max}} - f_n = 255 - 195 = 60 \text{ мм,}$$

что соответствует нагрузке  $P_0 = 600$  кгс.

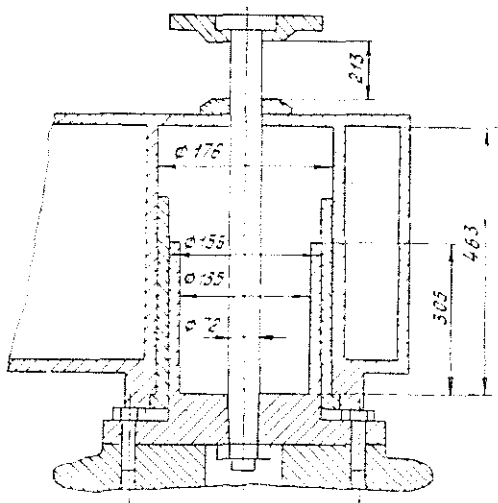


Рис. 1.

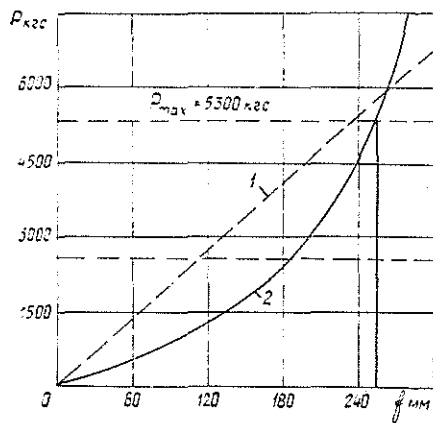


Рис. 2. Характеристика упругого элемента.

1 — линейная; 2 — нелинейная.

В качестве материала для изготовления пружины принимаем сталь 60С2 ГОСТ 2052—53 прямоугольного сечения. Для этой стали  $[\tau_k] = 7800 \text{ кгс/см}^2$  [1].

Размер по ширине сечения витка пружины ограничен величинами  $D_{min}$  и  $D_{max}$ , которые были выбраны раньше,

$$b_{max} = \frac{D_{max} - D_{min}}{2} = \frac{129 - 78}{2} = 25,5 \text{ мм.}$$

По рекомендации [3],  $\frac{D}{b} > 4$ , а  $\frac{b}{h} \leq 1$ . Принимая  $b = 26 \text{ мм}$ , получаем  $D = 104 \text{ мм}$ ,  $D_{max} = 130 \text{ мм}$ ,  $D_{min} = 78 \text{ мм}$ .

Высоту сечения стержня  $h$  находим из условия передачи пружинной максимальной нагрузки [3]

$$P_{max} = \frac{2\alpha b^3}{Lk} [\tau_k],$$

где  $\alpha$  — коэффициент, зависящий от соотношения сторон прямоугольного сечения

$$n_0 = \frac{h}{b};$$

$k$  — коэффициент перегрузки, принятый для расчета равным 1,3.

Подставив в это выражение исходные данные и решив его относительно  $\alpha$ , получим  $\alpha = 0,246$ ,  $n_0 = 1,28$ , тогда

$$h = bn_0 = 26 \cdot 1,28 = 32 \text{ мм.}$$

По ГОСТу 2591—57 выбираем сталь пружинную квадратного сечения со стороной квадрата 32 мм. Высоту пружины в предельно сжатом состоянии  $H_0$  определим по формуле

$$H_0 = \frac{S_0}{\pi D_{min}} \cos \alpha_{пр} h,$$

где  $S_0$  — длина всей развертки пружины;

$\alpha_{пр}$  — угол подъема винтовой линии витков пружины в предельно сжатом состоянии.

Задаваясь величиной  $S_0 = 3450 \text{ мм}$  и используя формулы, полученные в работе [2], находим  $H_0 = 450 \text{ мм}$ ;  $\alpha_0 = 11,8^\circ$ ;  $\alpha_{пр} = 7,6^\circ$ ;  $b_{max} = 20,6 \text{ мм}$  при  $P_{max} = 5000 \text{ кгс}$  и  $b_{min} = 7 \text{ мм}$  при  $P_0 = 600 \text{ кгс}$ .

Ранее было установлено [2], что для получения нелинейной характеристики пружины ширина сечения стержня по его длине должна изменяться по линейному закону. Поэтому уклон стержня определяем из выражения

$$\operatorname{tg} \beta = \frac{b_{\max} - b_{\min}}{S_0},$$

отсюда  $\operatorname{tg} \beta = 0,039$ ,  $\angle \beta = 2^\circ 15'$ , а уклон 1 : 254.

Число рабочих витков проектируемой пружины составит

$$n = \frac{S_0}{\pi D_{\min}} \cos \alpha_{\text{пр}} = \frac{3450}{3,14 \cdot 78} \cdot 0,977 = 14.$$

Шаг пружины

$$t = \frac{f_{\max}}{n} + h = \frac{255}{14} + 32 = 50,2 \text{ мм.}$$

Полное число витков пружины

$$n_{\text{п}} = n + 1 = 14 + 1 = 15.$$

Длина всей развертки пружины

$$S_{\text{общ}} = n_{\text{п}} \pi D_{\min} \frac{1}{\cos \alpha_{\text{пр}}} = \frac{15 \cdot 3,14 \cdot 78}{0,977} = 3700 \text{ мм.}$$

Высота всей пружины в полностью сжатом состоянии

$$H_0 = hn_{\text{п}} = 32 \cdot 15 = 480 \text{ мм.}$$

Высота всей пружины в свободном состоянии

$$H = tn + h = 50,2 \cdot 14 + 32 = 735 \text{ мм.}$$

Таким образом, установлены все размеры проектируемой пружины с нелинейной характеристикой.

#### ЛИТЕРАТУРА

[1]. Анурьев В. И. Справочник конструктора-машиностроителя. М., «Машиностроение» 1973. [2]. Жигалов А. М. Теоретический анализ способов получения нелинейной характеристики подвески автолесовоза. — ИВУЗ, «Лесной журнал», 1975, № 6. [3]. Курендаш Р. С. Конструирование пружин. Киев, Машгиз, 1958. [4]. Яценко Н. Н., Прутчиков О. К. Плавность хода грузовых автомобилей. М., «Машиностроение» 1969.

УДК 628.517.2 : 674

## ВЛИЯНИЕ ПРОРЕЗЕЙ НА АКУСТИЧЕСКИЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ КРУГЛЫХ ПИЛ

Н. Н. БОРИСОВА

Ленинградская лесотехническая академия

Исследован спектральный состав шума, излучаемого при работе перфорированными пильными дисками. Проведен сопоставительный анализ прорезей различных форм с акустических позиций и с точки зрения устойчивости пильного диска.

Известно положительное влияние перфорирования пильных дисков, приводящее к повышению критической температуры обода и критических чисел оборотов пильного вала, при которых диск теряет свою устойчивость [1, 2]. Наличие прорезей позволяет изготавливать пилы более тонкими, чем предусмотрено ГОСТом 980—69, и эксплуатировать их при значительно больших оборотах пильного вала, чем сплошные.

Значительно меньше имеется сведений о том, что перфорирование диска — экономичный и эффективный способ улучшения акустических характеристик круглых

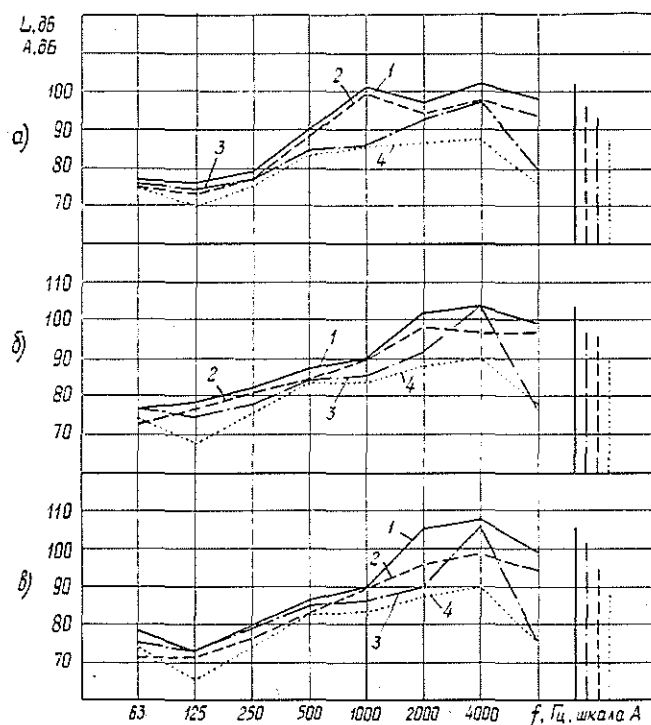


Рис. 1. Уровни звука и звукового давления дисковых пил.

а — с периферийными щелевыми компенсаторами; б — с наклонными прорезями; в — со спиральными прорезями; 1 — рабочий ход до перфорации диска; 2 — рабочий ход после перфорации диска; 3 — холостой ход до перфорации диска; 4 — холостой ход после перфорации диска.

пил. Прорези уменьшают шум за счет снижения механических колебаний диска. Изменяя с помощью перфорации собственную частоту диска, можно избежать возникновения явлений резонанса и улучшить этим акустические характеристики.

Прорези уменьшают величину температурного градиента между периферийной и центральной зонами в диске, улучшают акустические характеристики благодаря потере энергии изгибных колебаний на границе перехода из одной среды (металл) в другую (воздух) и наоборот и повышают эксплуатационные свойства пил вследствие снижения возникающих в них внутренних напряжений, обеспечивая более устойчивую работу как в холостом режиме, так и при пиленнии.

В работе [3] рекомендуют для снижения шума на диске пилы делать периферийные наклонные щелевые компенсаторы. С акустических позиций представляют интерес прорези, расположенные в центральной зоне диска.

В ЛТА были проведены исследования влияния различного вида прорезей на акустические характеристики пильных дисков и на чистоту поверхности распиловки, производимой перфорированными круглыми пилами.

Испытывали пилы диаметром 315 мм, толщиной 2,2 мм, с количеством зубьев 120 профиля III при диаметре зажимных фланцев 125 мм и частоте вращения пильного вала 2900 об/мин. Материал заготовки — древесностружечная плита, облицованная шпоном, толщиной 20 мм.

Пильные диски исследовали в два этапа: до и после их перфорации. Испытывали следующие конструкции пил: 1) с восемью спиральными прорезями, расположенными между двумя концентрическими окружностями; 2) с восемью наклонными прорезями, расположенными между двумя концентрическими окружностями; 3) с четырьмя периферийными щелевыми компенсаторами.

Акустические характеристики пильных дисков измеряли с помощью аппаратуры немецкой фирмы PFG — шумомера PSI 202 и октавных фильтров OF 101; шероховатость поверхности определяли прибором ТСП-4. Результаты испытаний представлены на рис. 1 и в табл. 1.

Таблица 1

Показатели	Численные значения показателей для пил		
	со спиральными прорезями	с наклонными прорезями	с периферийными щелевыми компенсаторами
Максимальная высота неровностей на поверхности $Rz_{max}$ , мкм (ГОСТ 7016—75)	$\frac{800 \div 630}{200}$	$\frac{800 \div 630}{320 \div 250}$	$\frac{800 \div 630}{500 \div 400}$
Клас шероховатости (ГОСТ 7016—68)	$\frac{3}{6}$	$\frac{3}{5}$	$\frac{3}{4}$

Примечание. В числителе данные до перфорации дисков; в знаменателе — после перфорации.

Как следует из рис. 1, все виды прорезей снижают излучаемый пилой шум, главным образом, вследствие уменьшения резонансного пика в октавной полосе со среднегеометрической частотой 4000 Гц. В рабочем режиме эффективное снижение уровней звукового давления наблюдается в высокочастотной области 1000—8000 Гц. Акустическая эффективность прорезей зависит от их вида: наиболее эффективны спиральные прорези, наименее — периферийные щелевые компенсаторы. Спиральные прорези позволили снизить шум по общему уровню на 14 дБ в холостом режиме и на 9 дБ в рабочем режиме, а в октавной полосе с резонансным пиком — на 15 дБ в холостом и на 9 дБ в рабочем режиме.

Результаты исследований (табл. 1) позволяют сделать вывод о том, что перфорация пыльного диска улучшает его устойчивость в процессе работы, повышая на 1—3 класса чистоту распиловки, которая находится в прямой зависимости от акустической эффективности прорезей. По-видимому, качество распиловки определяется механическими колебаниями на основной резонансной частоте, поэтому снижение резонансного пика обеспечивает более высокую чистоту поверхности распила. Из данных табл. 1 следует также, что с позиций устойчивости пилы с прорезями, выполненными в центральной зоне диска, имеют лучшие показатели, чем пилы с периферийными щелевыми компенсаторами.

На основании проведенных исследований можно заключить, что наилучшие показатели с акустических позиций и с точки зрения обеспечения устойчивости имеют пыльные диски со спиральными прорезями; наиболее эффективно применены прорезей для снижения шума в области высоких частот, где имеются наибольшие отклонения от нормативных требований по ограничению шума.

#### ЛИТЕРАТУРА

[1]. Стахив Ю. М. Колебания тонких стальных дисков. — «Вестник машиностроения», 1972, № 8, с. 23—25. [2]. Mc Kenzie W. The effects of slots on «critical rim temperature» and other criteria of Sawblade stability. — «Wood sci.», 1973, 5, No. 4, p. 304—311. [3]. Malcolm F. F. Symmetrically placed expansion slots solve problem of «screaming» saws. — «Forest Ind.», 1971, 98, № 6; «Pulpwood Annu», 1971, 76—76.

УДК 547.458.81

**ВЛИЯНИЕ СОСТАВА БИНАРНОГО РАСТВОРИТЕЛЯ  
ВОДА — ЭТАНОЛ НА МЕТИЛИРОВАНИЕ  
Na-КСАНТОГЕНАТА ЦЕЛЛЮЛОЗЫ ДИМЕТИЛСУЛЬФАТОМ**

А. А. ВАЙСБУРД, К. А. МАЛЫШЕВСКАЯ, А. В. ФИНКЕЛЬШТЕИН

Сибирский технологический институт

Спектрофотометрически изучено влияние концентрации спирта в бинарном растворителе этанол—вода на кинетические параметры метилирования Na-ксантогената целлюлозы диметилсульфатом в интервале концентраций спирта  $1\% < c < 70\%$ .

Ранее [1] была разработана спектрофотометрическая методика определения констант скорости метилирования Na-ксантогената целлюлозы в гетерогенных и гомогенных условиях. Поскольку гетерогенное метилирование осуществлялось в водно-спиртовой среде, необходимо рассмотреть вопрос влияния состава водно-спиртовой смеси на скорость изучаемого процесса.

Было проведено метилирование Na-ксантогената целлюлозы диметилсульфатом при 288°K в соответствии с методикой, описанной в работе [1]. В качестве растворителя использовали водно-спиртовый буферный раствор, в котором концентрации спирта варьировали от 1 до 70%.

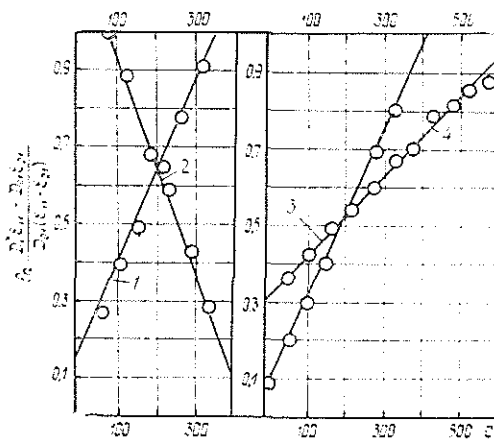


Рис. 1. Полулогарифмические анаморфозы кинетических кривых метилирования Na-ксантогената целлюлозы диметилсульфатом при 288 K и разном содержании этанола.

1 — 5%; 2 — 20; 3 — 40; 4 — 60%.

Некоторые экспериментальные данные представлены на рис. 1. Как видно из этого рисунка, наблюдается 1-й порядок реакции по ксантогенату. В табл. 1 приведены константы скорости метилирования Na-ксантогената целлюлозы диметилсульфатом в указанных выше условиях, наиболее близкие средней серии опытов. Эти константы рассчитаны при обработке экспериментальных данных методом наименьших квадратов в координатах

$$2,3031g \frac{D_1^* \epsilon_{11}^* - D_{01} \epsilon_{21}^*}{D_{01} (\epsilon_{11}^* - \epsilon_{21}^*)} ; \tau,$$

где  $D_{01}$ ,  $D_1^*$  — оптические плотности при  $\lambda = 301$  нм в нулевой и любой моменты времени соответственно;



$\epsilon_{11}^*$ ,  $\epsilon_{21}^*$  — коэффициенты экстинкции соответственно Na-ксантогената целлюлозы при 301 нм и метилксантогената целлюлозы при 301 нм (рассчитаны на 1 моль вещества в объеме кюветы).

Таблица 1

Концентрация этанола $c$ , %	1	5	10	20	30	40	50	60	70
Константа скорости $k \cdot 10^3, c^{-1}$	2,0	2,5	3,0	3,4	3,1	2,6	2,0	1,5	1,2

Как следует из табл. 1, имеет место отчетливая тенденция изменения величины константы скорости реакции с ростом концентрации этанола, причем в интервале концентраций спирта от 1 до 20% наблюдается линейная зависимость (рис. 2). Наблюдаемую линейную зависимость, очевидно, можно объяснить, предположив гетеролитическое замещение гомогенного катализа алифатическим спиртом. Тогда скорость бимолекулярной реакции  $A + B \rightarrow AB$ , к которой следует отнести и рассматриваемый нами процесс, можно описывать уравнением

$$v = \frac{k_1 k_2 c_a c_b}{k_1 c_a + k_2 c_b} c_k, \quad (1)$$

где  $c_k$  — концентрация катализатора;  $c_a$  и  $c_b$  — концентрации реагирующих веществ.

Но поскольку в нашем случае компонент  $b$  взят в значительном избытке (в связи с чем его концентрацию можно считать постоянной), можно принять в уравнении (1)  $k_1 c_a \ll k_2 c_b$  и, следовательно, пренебречь величиной  $k_1 c_a$  в знаменателе. Тогда уравнение (1) приобретает следующий вид:

$$v = k^* c_a,$$

здесь  $k^* = k_1 c_k$  — эффективная (экспериментально определяемая) константа скорости метилирования Na-ксантогената целлюлозы диметилсульфатом.

Следовательно, если гомогенный катализ имеет место, то должна соблюдаться линейная зависимость эффективной константы скорости реакции от концентрации катализатора, что и наблюдается в нашем случае (рис. 2) в интервале концентраций спирта  $1\% \leq c < 20\%$ . Дальнейшее увеличение содержания спирта в реакционной смеси приводит к уменьшению константы скорости процесса, что можно объяснить или появлением нового специфического взаимодействия, приводящего к отрицательному катализу, или действием спирта как среды.

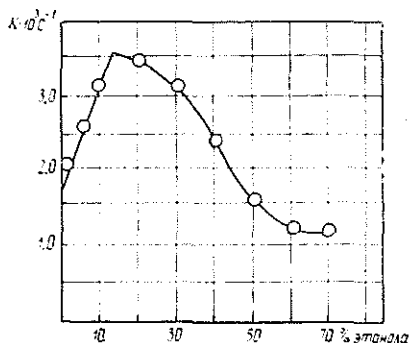


Рис. 2. Зависимость константы скорости метилирования Na-ксантогената целлюлозы диметилсульфатом от концентрации спирта в бинарном растворителе этанол — вода.

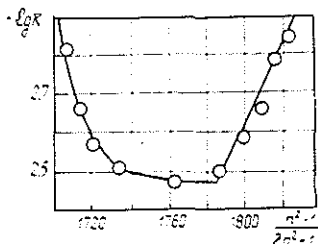


Рис. 3. Зависимость логарифма константы скорости метилирования Na-ксантогената целлюлозы диметилсульфатом от функции Мосотти.

Для подтверждения наших предположений мы решили воспользоваться зависимостью

$$\lg k = a + b \frac{n^2 - 1}{2n^2 + 1},$$

аргументом которой является функция Мосотти (рис. 3).

Как следует из рис. 3, на участке концентраций спирта в бинарном растворителе  $1\% \leq c \leq 20\%$  отсутствует линейная зависимость между  $\lg k$  и функцией Мосотти в отличие от зависимости на участке  $20\% < c < 70\%$ . Данный факт еще раз позволяет признать справедливость высказанных выше предположений относительно преобладающей доли специфического взаимодействия между молекулами спирта и реагирующими веществами, что приводит к увеличению константы скорости метилирования. То же можно сказать и об определяющей роли универсального взаимодействия при дальнейшем увеличении содержания этанола в реакционной смеси, что приводит к снижению скорости реакции.

Чтобы еще раз убедиться в правильности предположения о наличии гомогенного катализа этанолом процесса метилирования Na-ксантогената целлюлозы диметилсульфатом, было решено определить энергию активации этого процесса при 20%-ном содержании этанола в бинарном растворителе, что соответствует максимальному значению константы скорости реакции во всем интервале варьирования концентрации спирта.

С этой целью провели метилирование Na-ксантогената целлюлозы диметилсульфатом при 20%-ном содержании спирта в растворителе вода — этанол в интервале температур  $293 \leq T \text{ K} \leq 308$  по методике, описанной в работе [1]. В табл. 2 представлены константы скорости реакции, соответствующие этой экспериментальной серии. Энергия активации, рассчитанная при обработке экспериментальных данных в координатах  $\lg k, 1/T$  методом наименьших квадратов, оказалась равной  $8,0 \pm 0,6$  ккал/моль, в то время как энергия активации процесса метилирования в отсутствие спирта составила соответственно 17,2 ккал/моль.

Таблица 2

<i>T</i> К	293	298	308	308
$k \cdot 10^3 \text{ с}^{-1}$	4,2	5,2	6,9	8,0

Данный факт еще раз подтверждает справедливость предположения о каталитическом действии спирта на метилирование Na-ксантогената целлюлозы диметилсульфатом при содержании его в бинарном растворителе не более 20%, поскольку сущность каталитического действия как раз и заключается в снижении энергии активации процесса.

#### ЛИТЕРАТУРА

- [1]. Вайсбурд А. А., Малышевская К. А., Финкельштейн А. В., Пильникова Н. И. — ИВУЗ, «Лесной журнал», 1975, № 5, с. 112.

УДК 547.485.81

## ИЗМЕНЕНИЕ ОПТИЧЕСКОЙ АКТИВНОСТИ РАСТВОРОВ ГЛЮКОЗЫ ВО ВРЕМЕНИ ПРИ РАЗЛИЧНЫХ pH

Е. М. ЛЕЙБОВИЧ, Ю. П. СЫРНИКОВ, И. А. ФЕРСМАН,  
Э. И. ЧУПКА

Ленинградская лесотехническая академия

Получены временные зависимости удельного оптического вращения глюкозы при растворении в универсальной буферной смеси с разными pH. Приведены кривые дисперсии оптического вращения раствора глюкозы в буферных смесях с различными pH и при добавлении окислителя.

Физический метод измерения оптической активности (ОА) и дисперсии оптического вращения (ДОВ) чувствителен к изменению конформации полимеров в растворе, поэтому этот метод позволяет исследовать кинетику различных химических процессов и явления, связанные с изменением состояния молекул.

Ранее было показано, что глюкоза и другие элементарные углеводы в растворах весьма нестойки, а в щелочных и кислых средах образуют лабильные по свойствам окислительно-восстановительные системы. Так, например, в работе [2] на основе экспериментальных данных сделано предположение, что в результате взаимодействия глюкозы и хлористого водорода в водных растворах образуется комплекс, структура которого еще не изучена.

Акты окислительно-восстановительных процессов, которые образуются в ходе окисления, сопровождаются электронными и протонными переходами, следовательно, их кинетика и термодинамика определяются pH раствора. Лабильность окислительно-восстановительных свойств углеводов в щелочных средах была изучена Михаэлисом [3]. Значительный вклад в исследование превращений углеводов в растворе внесли Эванс, Избел, Самуэльсон и другие [5—7].

Недавно было установлено наличие осциллирующих эффектов, обусловленных аутокаталитическими окислительно-восстановительными процессами при нагревании глюкозы в щелочных средах [1, 4].

В связи с интенсивным развитием окислительных способов делигнификации возрастает интерес к окислительным превращениям углеводов. Требуется выяснения следующие вопросы: каковы начальные акты окисления, какова стабильность углеводов, особенности кинетики образования и распада промежуточных соединений.

Для разных углеводов наблюдаются весьма существенные различия в потенциалах окисления. Начальный акт окисления должен сопровождаться образованием комплекса субстрат—окислитель, что приводит к конформационным изменениям. Учитывая чувствительность метода измерения ОА, мы попытались использовать его в качестве контроля за изменениями глюкозы во времени при разных pH раствора и при введении в систему одного из стандартных и изученных окислителей — феррицианида калия  $K_3Fe(CN)_6$ .

### Методика эксперимента

Угол поворота плоскости поляризации в растворе измеряли на спектрополяриметре СПУ-М, точность измерения прибора —  $0,003^\circ$ . Удельное оптическое вращение  $[\alpha]_{уд}$  вычисляли по формуле

$$[\alpha]_{уд} = \frac{100\Delta\alpha}{lC}, \quad (1)$$

где  $\Delta\alpha$  — измеренный угол вращения плоскости поляризации, град;  
 $l$  — длина кюветы, дм;  
 $C$  — концентрация, %.

Удельное вращение не зависит от концентрации оптически активного вещества, но при образовании комплексов с окислителем имеет значение соотношение концентраций компонент. В исследованных растворах концентрация глюкозы  $C_1 = 1\%$ . Порошкообразная D глюкоза  $C_6H_{12}O_6$  растворялась либо в воде, либо в универсальной

буферной смеси с различными значениями показателя кислотности рН. Концентрация окислителя — ферроцианида калия — в растворе  $C_2 = 1\%$ , т. е. его добавляли в раствор в одинаковых весовых соотношениях с глюкозой.

Известно, что закрытая форма глюкозы при растворении переходит в открытую форму. При этом удельное оптическое вращение глюкозы падает. В настоящей работе измерено удельное оптическое вращение глюкозы в разное время после растворения и при различных рН универсальной буферной смеси (на рис. 1 — штриховые кривые). Измерения проводили при длине световой волны  $\lambda = 511$  нм. Время отсчитывали с момента заливки порошкообразной глюкозы буферной смесью.

### Результаты эксперимента

Скорость падения удельного вращаения глюкозы со временем после растворения, как видно из рис. 1, зависит от рН растворителя. Если предположить, что в начальный момент времени  $t = 0$  величина удельного вращаения во всех растворах

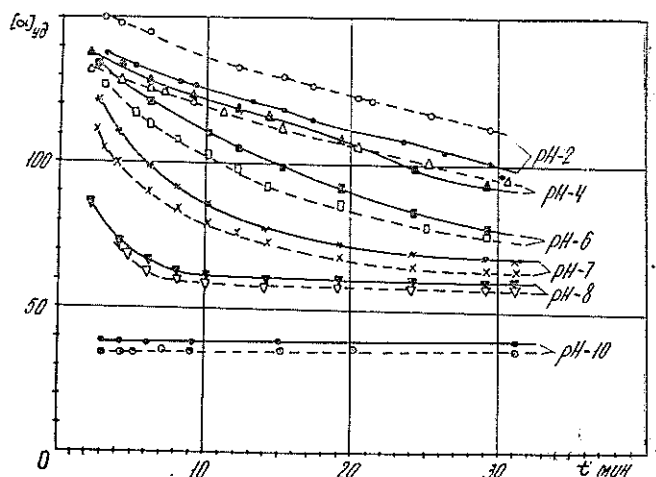


Рис. 1. Зависимость удельного оптического вращаения раствора глюкозы ( $C_1 = 1\%$ ) в универсальной буферной смеси с разными рН от времени после растворения ( $\lambda = 511$  нм).

Штриховые кривые — без окислителя; сплошные кривые — в присутствии окислителя — ферроцианида калия ( $C_2 = 1\%$ ).

одна и та же, то можно сделать следующий вывод: в начальный период после растворения скорость уменьшения удельного вращаения тем больше, чем больше рН буферной смеси. При рН = 10 стационарная величина удельного вращаения устанавливается за время  $t < 3$  мин, в то время как при рН = 2 — в течение нескольких часов. Причем, как видно из рис. 1, в первые 10 мин после растворения скорость падения величины удельного оптического вращаения наибольшим образом зависит от рН.

Состояние глюкозы в растворе зависит от состава растворителя. В течение первых десятков минут после растворения глюкозы удельное вращение тем больше, чем меньше рН (на рис. 1 — штриховые кривые, на рис. 2 — кривая 1а). Однако через сутки после растворения удельное вращение приобретает немонотонный характер зависимости от рН (на рис. 2 — кривая 2а).

Измерения, проведенные спустя 7 суток после растворения, показали, что в дальнейшем заметных изменений удельного оптического вращаения не происходит, т. е. через сутки после растворения даже в очень кислой среде (рН = 2) устанавливается стационарная величина удельного оптического вращаения.

Добавление окислителя  $K_3Fe(CN)_6$  в раствор глюкозы скачком за время  $t < 30$  с изменяет оптическое вращение раствора. Для выяснения причин этого явления была исследована оптическая активность раствора ферроцианида калия. Оказалось, что раствор ферроцианида калия в универсальной буферной смеси с различными рН обладает преимущественно левым оптическим вращением. Сама универсальная буферная смесь оптически неактивна.

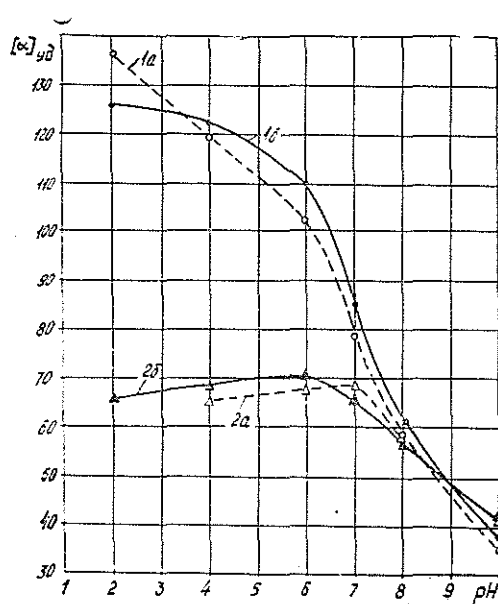


Рис. 2.

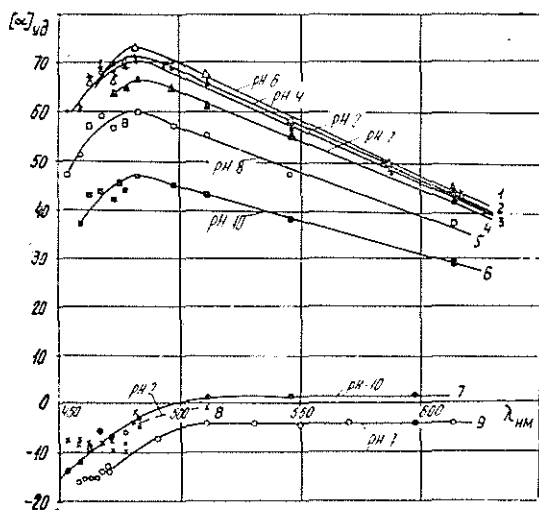


Рис. 3.

Кривые ДОВ раствора ферроцианида калия при различных рН приведены на рис. 3 (кривые 7, 8, 9). Удельное вращение ферроцианида калия немонотонно зависит от рН буферной смеси при фиксированной длине световой волны. Кроме того, при  $\lambda > 500$  нм удельное вращение ферроцианида калия в растворе с рН = 10 меняет направление с левого на правое. На рис. 3 нанесены также кривые ДОВ раствора глюкозы в универсальной буферной смеси при рН = 2, 4, 6, 7, 8, 10 в присутствии ферроцианида калия (кривые 1—6). Измерения производили через сутки после растворения;  $[\alpha]_{уд}$  рассчитывали на глюкозу без вычета угла вращения ферроцианида калия. Все приведенные кривые ДОВ имеют максимум в области  $\lambda \approx 490$  нм. Для проверки предположения об образовании нового комплекса удельное вращение было пересчитано на глюкозу с вычетом вращения ферроцианида калия

$$[\alpha]_{\text{уд}}' = \frac{100 [\Delta\alpha - (-\Delta\alpha')]}{Cl}, \quad (2)$$

где  $\Delta\alpha'$  — угол поворота плоскости поляризации света в растворе ферроцианида калия.

Пересчитанные таким образом значения  $[\alpha]_{\text{уд}}'$  для разных длин волн дают кривую ДОВ, имеющую максимум при  $\lambda \approx 470$  нм, что свидетельствует, по-видимому, об образовании нового оптически активного комплекса.

Добавление окислителя — ферроцианида калия — в раствор глюкозы в равных весовых концентрациях изменяет удельное вращение глюкозы (рис. 1 — сплошные кривые; рис. 2) по-разному в зависимости от pH буферной смеси. В присутствии ферроцианида калия спустя несколько минут после растворения (рис. 1) удельное вращение раствора глюкозы при pH = 2 уменьшается, при pH = 4 остается практически неизменным, а при pH, равном 6, 7, 8, 10, несколько увеличивается. Это отчетливо видно также из рис. 2, на котором представлена зависимость удельного оптического вращения раствора глюкозы от значения pH без окислителя (кривая 1а) и в присутствии окислителя (кривая 1б) спустя 10 мин после растворения. Спустя одни сутки после растворения удельное вращение раствора глюкозы без окислителя (кривая 2а) и в присутствии окислителя (кривая 2б) приобретает немоноотонный характер зависимости от pH раствора. Максимальное значение удельного оптического вращения глюкозы наблюдается при pH = 6 ÷ 7.

#### ЛИТЕРАТУРА

- [1]. Анисимова Л. П., Чупка Э. И., Никитин В. М. Анализ осцилляционных эффектов, возникающих при нагревании глюкозы в щелочи. — «Химия древесины», 1975, № 3, с. 15. [2]. Горохов Г. И., Грибова И. Я., Лучина Т. Я. Взаимодействие глюкозы с хлористым водородом в водных растворах. — «Химия древесины», 1975, № 3, 11—14. [3]. Михаэлис Л. Окислительно-восстановительные потенциалы и их физиологические значения. Главная редакция химической литературы, 1936, 284 с. [4]. Чупка Э. И., Анисимова Л. П., Никитин В. М. Исследование окислительно-восстановительных взаимодействий между продуктами превращения модельных соединений и углеводов в щелочных растворах. — «Химия древесины», 1975, № 5, с. 86. [5]. Evans W. L., Vanau M. P. Механизм окисления углеводов. Действие едкого калия на мальтозу. — J. Am. Chem. Soc. 1930, 52, 294. [6]. Evans W. L., Hockott R. C. Механизмы окисления углеводов. 14. Щелочное разрушение целлобиозы, лактозы, мелбиозы и амигдалозы едким калием. — J. Am. Chem. Soc. 1931, 53, 4384. [7]. Samuelson O. — Svensk Papperstidn. 1958, 1, 61, 531.

УДК 621.935

### ВЛИЯНИЕ ПРОФИЛЯ ЗУБА НА НАДЕЖНОСТЬ И ДОЛГОВЕЧНОСТЬ ДЕЛИТЕЛЬНЫХ ЛЕНТОЧНЫХ ПИЛ

Е. Д. ДОБРЫНИН, Н. Е. КОНОНОВА

Архангельский лесотехнический институт

Установлено, что для увеличения надежности и долговечности работы делительных ленточных пил следует изготовлять их с зубьями второго профиля.

Делительные ленточные пилы сравнительно часто выходят из строя из-за появления усталостных трещин, приводящих к поломке пил. Это вызывает простои ленточнопильных станков и снижение их производительности. Трещины, как правило, появляются во впадинах зубьев, так как они являются концентраторами напряжений.

Исследование влияния профиля зуба на надежность работы и долговечность делительных ленточных пил проводили в производственных условиях на ленточнопильном станке ЛД-110 (Канали) в ящичном цехе Цигломенского ЛДК г. Архангельска.

Опытные пилы были изготовлены на Горьковском металлургическом заводе с двумя профилями зубьев (рис. 1) из одного и того же материала и прошли одни и те же технологические операции. Длина пил 7 м, ширина с зубьями 100 мм, толщина 1,0 мм. На одной половине опытной пилы были зубья первого профиля, на другой — второго профиля. При заточке зубьев получены следующие угловые пара-

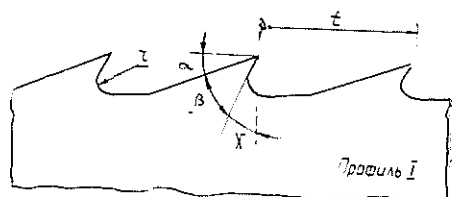
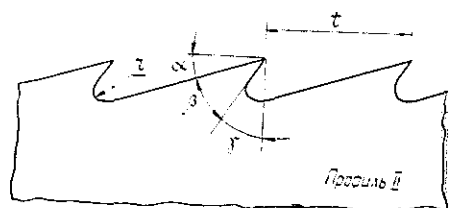


Рис. 1.



метры: профиль I —  $\gamma = 30^\circ$ ,  $\alpha = 20^\circ$ ,  $\beta = 40^\circ$ ; профиль II —  $\gamma = 30^\circ$ ,  $\alpha = 17^\circ$ ,  $\beta = 43^\circ$ . Шаг зубьев обоих профилей 40 мм, высота зубьев 10 мм, радиус закругления впадин зубьев 5 мм.

Основная цель данных исследований — установить, на каком профиле зубьев раньше и чаще появляются трещины усталости.

Появление трещин на опытных пилах фиксировали в специальном журнале учета появления трещин со следующими графами: условный номер пилы, размеры пилы и угловые параметры зубьев, дата и время установки пилы в станок и снятия ее со станка, причина снятия, продолжительность работы пилы в часах и др. Угловые параметры зубьев определяли по отпечаткам двух соседних зубьев первого и второго профилей. Журнал вел старший пилоточ. Он же готовил опытные пилы к работе.

В процессе пиления елового материала с влажностью 15—20% было испытано пять пил с двумя профилями зубьев. В связи с затуплением пил каждую из них подвергали переточке зубьев от 5 до 10 раз. Усталостные трещины были обнаружены на трех пилах и только на зубьях первого профиля. Это позволяет сделать вывод, что при всех прочих равных условиях усталостные трещины раньше и чаще появляются на пилах с зубьями первого профиля, чем с зубьями второго профиля, так как концентрация напряжений у первых больше, чем у вторых. Поэтому для увеличения надежности и долговечности делательных ленточных пил следует изготавливать их с зубьями второго профиля.

УДК 674.8:621.181.7

## СЖИГАНИЕ КОРЫ И ДРЕВЕСНЫХ ОТХОДОВ В СКОРОСТНЫХ ТОПКАХ С ОБРАЩЕННЫМ ДУТЬЕМ ПОД КОТЛАМИ МАЛОЙ МОЩНОСТИ

В. Д. БУКИН, Е. Б. ГУСАКОВСКИЙ, В. В. ПОМЕРАНЦЕВ,  
Е. А. ТРОФИМОВ

Ленинградский политехнический институт  
Центральный котлотурбинный институт  
Архангельский лесотехнический институт

В связи с ухудшением качества древесных отходов, направляемых на сжигание, проведена модернизация серийной топки Померанцева. Описан опыт создания новой топки путем реконструкции действующих топочных устройств на ряде предприятий.

Для сжигания древесных отходов широкое распространение получили топки скоростного горения ЦКТИ системы В. В. Померанцева [2, 3].

В настоящее время на предприятиях для сжигания остаются, в основном, опилки, высокозольные кора и лесосечные отходы. Серийные же топки с вертикальной зажимающей решеткой пригодны для сжигания только малозольного древесного топлива. Сжигание высокозольных топлив приводит, как показывает опыт, к шлакованию зоны горения. Поэтому сотрудники ЛПИ (кафедра «Парогенераторостроение»), ЦКТИ, СевНИИПа реконструировали серийную топку Померанцева с установкой горизонтального рабочего участка зажимающей решетки (топка скоростного горения с обращенным дутьем). Горизонтальная зажимающая решетка обеспечивает вынос золы и шлака из зоны горения, чем достигается бесшлаковочная работа топки.

Первые такие топки были установлены под котлами типа НЗЛ-40 на ТЭЦ Архангельского ЦБК. Первоначально были установлены также двухпоточные каскадно-лотковые сушилки, работающие по разомкнутому циклу на отходящих газах. Многолетняя наладка и исследование работы этих топок показали хорошую работу при влажности топлива до 60—63%. При наличии сушилок влажность топлива может быть и выше.

Решающее значение для работы скоростных топок имеет поступление топлива к зоне горения. Это осуществляется с помощью каскадно-лоткового рукава, по которому топливо движется под действием собственного веса по мере выгорания в топке. Каскад открытых лотков (звеньев) с плавными очертаниями обеспечивает непрерывное, без застреваний движение даже очень влажного топлива.

Однако при наладке рукавов были обнаружены два эффекта — инерционный и краевой. Они выражаются в уплотнении слоя коры при переходе со звена на звено и у боковых стен, что затрудняет движение топлива [1]. При переносе опыта работы ТЭЦ Архбумкомбината на котлы малой мощности (например, на котлы ДКВр) особое внимание было уделено сходу топлива по рукавам. На этих котлах шириной фронта вдвое меньшей по сравнению с котлами НЗЛ-40 влияние краевого эффекта значительно сильнее.

На Архангельском ЛДК им. Ленина в 1969 г. был пущен котел ДКВ-10-13, оборудованный топкой с обращенным дутьем, двухпоточной сушилкой и рукавом с плавными очертаниями. Котел работает на рядовых отходах комбината, в основном, опилках. Кору подавали во время испытаний. Тракт плавных очертаний обеспечивает бесперебойный сход топлива при содержании в нем до 60% коры. Новая толка надежнее и удобнее в обслуживании в сравнении с топкой, оборудованной вертикальной зажимающей решеткой.

Недостаток схемы работы топки с сушилкой — большая протяженность тракта плавных очертаний, что при работе на коре приводит к периодическим застреваниям топлива. При работе на опилках наблюдается большой вынос мелких фракций из сушилки, что опасно в пожарном отношении.

В 1970 г. начались пуско-наладочные работы в котельной Кондопожского ЦБК на двух котлах ДКВр-10-39, оборудованных тонкими скоростного горения с двухпоточными сушилками для сжигания отжатой коры. На котлах установлены топливные рукава плавных очертаний с расширением книзу (боковые стенки наклонены под углом 8° к вертикали) для уменьшения краевого эффекта. Следует отметить, что в подобных рукавах краевого эффекта практически нет и топливо движется без застреваний.

Наладку котлов проводили в направлении улучшения термической подготовки топлива — сушки и рожжга. Принятые меры обеспечили устойчивое горение коры, котлы стали нести нагрузку до номинала при нормальных параметрах пара. Однако работа котлов была крайне неустойчива из-за постоянных застреваний мокрой коры в сушилках. Кора плохо разделялась на два потока, уплотнялась над рассекателем, застревала между отсеками сушилки. При этом подача газа в сушилку приводила к загоранию застрявшего в ней топлива.

Было ясно, что для высоковлажной коры двухпоточная сушилка непригодна. Поэтому решено сушилку заменить двумя звеньями рукава, в которых была гарантия хорошего схода сырой коры. При этом для ликвидации уплотнения топлива в камере подготовки ниже звено рукава направили встречно по отношению к камере подготовки, имея в виду, что во встречно направленных звеньях происходит переворачивание слоя, а поэтому уплотненная нижняя часть его при переходе на следующее звено оказывается верхней свободной поверхностью и разрыхляется. Для утилизации тепла уходящих газов был установлен воздухоподогреватель, хотя эффективность использования тепла газов в нем значительно ниже, чем в слоевой сушилке. Расчеты показывают, что при варианте с сушилкой КПД котла повышается на 6,5%. В зоне горения организовано обращенное дутье путем установки горизонтального участка зажимающей решетки.

Испытания котлов дали следующие результаты. Влажность топлива во время опытов колебалась в пределах 63—68%. При этом паропроизводительность была 3,7—5,7 т/ч при следующих параметрах пара: температура — 288—428°C, давление в барабане — 22—32 кгс/см<sup>2</sup>, КПД котлов — 54,6—72,1%, теплонпряженне зеркала горения (плоскости подачи дутья) —  $(1,67 \div 2,56) \cdot 10^6$  ккал/м<sup>2</sup> ч.



На рис. 1 представлена зависимость производительности котлов  $D$  и параметров пара  $t_{пн}$ ,  $P_0$ , а также коэффициента избытка воздуха в уходящих газах  $\alpha_{ух}$  и КПД котлов  $\eta$  от влажности топлива  $W^p$ . Из рисунка можно заключить, что номинальная производительность котлов 10 т/ч и нормальные параметры пара могут быть достигнуты при влажности топлива 60%.

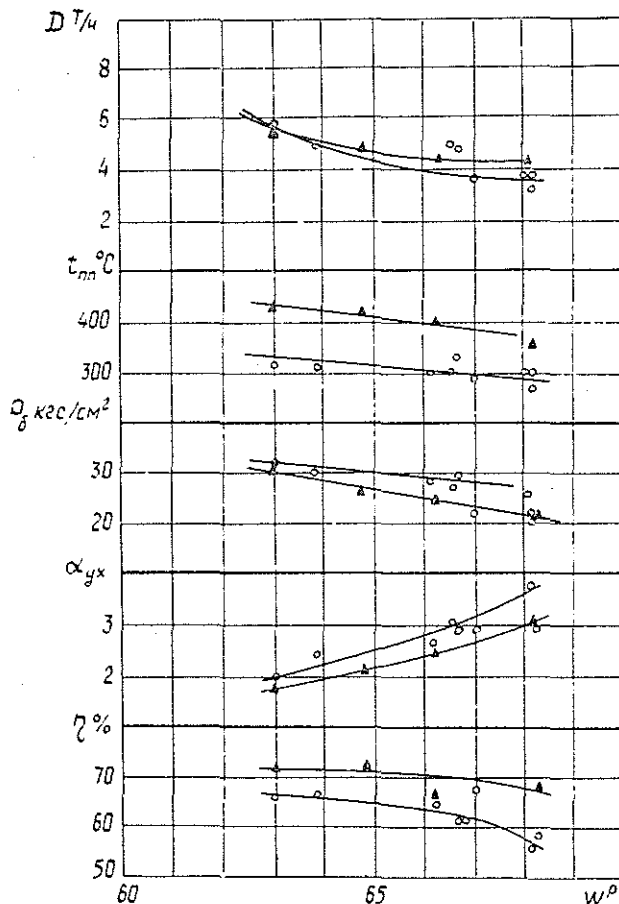


Рис. 1.

Почти одновременно был реконструирован котел ДКВр-10-39 на ТЭС Вельской лесобазы также с организацией обращенного дутья в зоне горения и установкой рукава с плавными очертаниями. Котел работает на смеси коры и древесных отходов со средней влажностью 60%, которая получается при содержании коры в топливе до 50%. В зимний период содержание коры может быть увеличено за счет добавки более сухих отходов деревообработки. При наладке котла также основное внимание было уделено сходу топлива. Сход по рукаву был налажен после его переделки и установки встречно направленных звеньев.

В табл. 1 представлены показатели работы котла ТЭС Вельской лесобазы. Влажность топлива была в пределах 61–62%, при этом содержание коры колебалось от 42 до 63%. Параметры пара почти не зависят от нагрузки. Нагрузка следует за давлением воздуха в предтопке: при изменении давления воздуха от 10 до 53 кгс/м<sup>2</sup> паропроизводительность растет с 6,4 до 10 т/ч. Температура воздуха была в пределах 220–242°C, температура уходящих газов 135–157°C. Коэффициент избытка воздуха за котлом колебался от 1,68 до 1,78, причем определенной связи коэффициента с нагрузкой не наблюдается. Топочное устройство к котлу ТЭС Вельской лесобазы принято ведомственной комиссией в 1974 г. и рекомендовано для применения на предприятиях Минлеспрома СССР.

Таблица 1

Показатели	Размерность	Опыты				
		1	2	3	4	5
Влажность топлива	%	61,7	61,6	60,9	62,0	61,2
Содержание коры	"	45	63	42	58	42
Паропроизводительность	т/ч	6,4	7,8	8,0	9,1	10,0
Температура пара	°С	425	430	435	448	435
Давление пара	кгс/см <sup>2</sup>	38	39	38	39	39
Температура питательной воды	°С	115	115	114	114	115
Температура воздуха	"	220	232	235	234	242
Давление воздуха в предтопке	кгс/м <sup>2</sup>	10	31	32	38	53
Температура газов за котлом	°С	290	297	298	310	315
Температура уходящих газов	"	135	137	140	145	157
Коэффициент избытка воздуха за котлом	—	1,77	1,68	1,70	1,75	1,78
КПД котла	%	62,9	71,4	65,0	67,7	60,8

Таким образом, скоростная топка с обращенным дутьем для сжигания коры и древесных отходов успешно может работать под котлами малой мощности при влажности топлива до 60% и горячем дутье. Применение предварительной подсушки топлива в каскадно-лотковой сушилке при сжигании коры нецелесообразно. Для обеспечения бесперебойного схода топлива рукав плавных очертаний должен быть выполнен из встречно направленных звеньев с расширением слоя книзу по ширине.

#### ЛИТЕРАТУРА

[1]. Гусаковский Е. Б., Опякин Ю. К., Сосенский А. И., Сыркина К. Д., Трофимов Е. А., Филимонов В. П. О работе отдельных котлов ТЭЦ Архбумкомбината на древесном топливе. — «Вопросы энергетики и промышленной теплотехники Севера». Сборник работ НТОЭиЭП. Вып. IV. Сев.-зап. кн. изд-во, 1974. [2]. Померанцев В. В. Топки скоростного горения для древесного топлива. Л., Машигиз, 1948. [3]. Померанцев В. В. (ред.). Слоевые методы энергохимического использования топлива. Госэнергоиздат, 1962.

## К 145-ЛЕТИЮ «ЛЕСНОГО ЖУРНАЛА»

В 1978 году исполняется 145 лет со дня выхода в свет «Лесного журнала» — первого в России лесохозяйственного периодического издания. Он появился в 1833 г. как детище «Общества для поощрения лесного хозяйства» при содействии министра финансов графа Е. Ф. Канкрин, проявившего большой интерес к лесному хозяйству. Существование «Лесного журнала» в XIX и XX вв. красной нитью вплетено в развитие, становление и расцвет нашей отечественной лесной науки.

В истории издания журнала можно выделить пять периодов.

1-й период (1833—1844 гг.). Журнал издавался «Обществом для поощрения лесного хозяйства». Подбор статей для журнала осуществлялся по следующей программе: 1) лесохозяйственные науки; 2) вспомогательные науки; 3) литература лесных наук; 4) достопримечательности природы, новейшие изыскания и наблюдения; 5) смесь.

Редактором журнала был сначала Юханцев, а потом Ланге; главными и постоянными сотрудниками — В. С. Семенов, А. П. Гильдеман, А. А. Длатовский.

Большинство первых статей были переводами немецких и (реже) французских работ. Однако на страницах «Лесного журнала» уже в первой половине XIX столетия, наряду с переводными статьями и заметками, появились самобытные интересные статьи русских авторов: В. С. Семенова, П. Перелыгина, Г. Мальгина, А. Е. Теплоухова, А. Р. Воргаса де Бедемара.

2-й период (1845—1851 гг.). Журнал издавался Вольным экономическим обществом. Цель журнала — распространить в отечестве понятие о рациональном лесном хозяйстве и возбудить желание к его изучению. Программа журнала включала следующие разделы: 1) леса и лесоводство в России; 2) леса и лесоводство в иностранных государствах; 3) библиография; 4) смесь. Представляют интерес статьи Г. Н. Анненкова, А. Е. Теплоухова.

Редактором «Лесного журнала» был Арсеньев, а постоянными сотрудниками А. А. Длатовский и Ф. К. Арнольд.

Журнал этого периода поставил ряд важных лесоводственных как практических, так и научных проблем и дал направление лесоводам на их решение, что способствовало прогрессу лесного хозяйства.

3-й период (1871—1904 гг.). В 1871 г. в Петербурге образовалось «Лесное общество», особой заслугой которого явилось возобновление в том же году издания «Лесного журнала», прерванного в 1851 г. Журнальная программа состояла из восьми разделов: 1) статьи по всем отраслям лесного хозяйства; 2) влияние законов и обычаев на успехи лесного хозяйства; 3) лесоторговый отдел, движение лесной торговли в разных местностях, рыночные цены на лесные материалы и т. п.; 4) лесоводственная библиография, разбор важнейших русских и иностранных сочинений по лесному хозяйству; 5) лесная хроника и смесь; 6) известие о деятельности Лесного общества; 7) обзор вновь выходящих постановлений по Лесному управлению; 8) объявления, касающиеся предметов лесного хозяйства. Редактором журнала был избран Н. С. Шафранов.

«Лесной журнал» на протяжении многих лет третьего периода был средоточием русской лесоводственной мысли, боролся за дальнейшее развитие отечественного лесоводства, за внедрение в практику передовой науки и поднимал престиж русского лесничего. Журнал пользовался популярностью не только среди русских лесоводов, но и за границей — в Европе и Америке. Этот период следует охарактеризовать полным становлением отечественной лесной науки в ее практическом применении.

В числе авторов журнала мы встречаем имена выдающихся российских лесоводов — А. Ф. Рудзского, Ф. К. Арнольда, В. Т. Собичевского, В. Гомилевского, М. К. Турского, П. И. Жудру и многих других, продвинувших отечественное лесоводство на новые высоты.

4-й период (1905—1918 гг.). Журнал также издавался «Лесным обществом», но редактором его был Г. Ф. Морозов, что наложило большой и своеобразный отпечаток на содержание и общественный вес журнала. Этот период по праву можно назвать его расцветом. На первом месте программы журнала Г. Ф. Морозов поставил пункт: «Оригинальные статьи по всем отраслям лесного хозяйства». Журнал должен был освещать вопросы лесоведения и лесоводства, экономики лесного хозяйства и организации его и, наконец, политики лесного хозяйства. С 1906 г. журнал

стал выходить десять раз в год вместо шести, а его тираж поднялся к 1915 г. с 500 до 2000 экземпляров.

Публиковались интересные статьи А. А. Крюденера, М. М. Орлова, Д. Н. Кайгородова, Г. Ф. Морозова, Д. М. Товстолеса, П. П. Серебренникова, В. Д. Огневского, Н. С. Нестерова и многих других деятелей в области лесной науки и практики.

В журнальных статьях развивалось учение о типах насаждений, поднимались вопросы лесоведения и лесного опытного дела, о принципах и методах регулирования пользования лесом, вопросы социального порядка. Стали появляться рецензии на книги и статьи по вопросам сельского хозяйства и ботаники, аграрным и экономическим. Столь разнообразная тематика не замедлила сказаться на проявлении к журналу интереса не только широких кругов работников леса, но и смежных областей.

5-й период — современный (с 1958 г. до наших дней). Мысль о возрождении «Лесного журнала» высказывалась неоднократно. В первом десятилетии после революции вышло несколько сборников «Лесоведение и лесоводство», связанных некоторой преемственностью с «Лесным журналом». Под своим историческим названием журнал возрожден в 1958 г. и издается Министерством высшего и среднего специального образования СССР в серии «Известия высших учебных заведений» в г. Архангельске. В состав редакционной коллегии, как и в авторский актив, вошли ведущие ученые лесотехнических вузов страны.

Продолжая и развивая лучшие традиции прошлого, в своем современном виде «Лесной журнал» охватывает все отрасли лесной промышленности и науки. Широкий тематический диапазон и содержание статей создали популярность журналу, который ныне достиг рекордного тиража за свою 145-летнюю историю существования.

На наш взгляд, на титуле не хватает небольшой надписи: «Основан в 1833 году». По праву это необходимая надпись. Журнал во все периоды выполнял и выполняет одну миссию — всемерного развития и популяризации лесного дела. То, что журнал издавался разными ведомствами, и даже то, что были перерывы в его издании, не может служить отказом от признания необходимости такой надписи.

Наш «Лесной журнал» имеет богатую историю. Ныне в период научно-технической революции перед ним стоят еще более ответственные задачи, поставленные перед наукой и производством XXV съездом КПСС.

И. С. Мелехов, А. Р. Родин, М. Д. Мерзленко

Московский лесотехнический институт

## ЮБИЛЕИ

ЮБИЛЕЙ АКАДЕМИКА  
НИКОЛАЯ ПАВЛОВИЧА АНУЧИНА

26 апреля исполнилось 75 лет со дня рождения Николая Павловича Анучина, академика ВАСХНИЛ, доктора сельскохозяйственных наук, профессора, заведующего кафедрой лесной таксации и лесоустройства Московского лесотехнического института.

Н. П. Анучин родился в деревне Лариково Вологодской области. Обстановка северной природы, в которой прошла юность Николая Павловича, постоянное общение с лесом определили его дальнейшую судьбу. Н. П. Анучин поступает в Ленинградский лесной институт и после его окончания в 1925 г. работает сначала помощником, а затем лесничим Лисинского лесничества. В этот период он проводит первые опытные работы по рациональной разделке древесины, получившие признание опытных специалистов и сделавшие его имя известным среди работников лесного хозяйства нашей страны. В 1929 г. Н. П. Анучин назначается старшим специалистом Лесного ученого комитета при Центральном управлении Наркомзема РСФСР, где ему поручается координация работ по составлению таблиц Союзлеспрома. В 1931 г. Н. П. Анучин руководит сектором во Всесоюзном научно-исследовательском институте древесины. В этот период им разработаны научные основы промышленной таксации и составлены первые отечественные товарные и сортиментные таблицы. Эти таблицы выдержали шесть изданий и являются основным пособием по товаризации лесосечного фонда. В 1935 г. Н. П. Анучину присвоена ученая степень кандидата технических наук, а в 1939 г. — доктора наук.

Круг проблем, которыми занимается ученый, широк. Особое внимание Н. П. Анучин уделяет лесной таксации и лесоустройству, являясь достойным продолжателем научных традиций, заложенных его учителем проф. М. М. Орловым. Н. П. Анучин разработал номографический метод таксации, сконструировал ряд таксационных приборов, предложил оригинальные методы учета прироста древесины ствола и древостоя. Под его руководством разработан статистический метод таксации лесов по круговым площадкам. Исследования Н. П. Анучина нашли признание в нашей стране и за рубежом. Его учебник «Лесная таксация» выдержал четыре издания и переведен на многие языки. Н. П. Анучин — участник международных лесных конгрессов и симпозиумов.

Большой вклад ученый внес в развитие теории лесоустройства. Н. П. Анучин впервые разработал лесные таксы, много сделал в решении проблемы оптимальных возрастов рубок, теоретически обосновал принцип непрерывного, нестохастического лесопользования, предложил оригинальный метод определения размера главного пользования лесом, установил площади лесных предприятий с непрерывным лесопользованием и решил ряд других важных проблем советского лесоустройства. Его капитальный труд «Лесоустройство» используется в качестве учебника лесохозяйственных факультетов. Н. П. Анучин создал также учебник «Промышленная таксация леса и основы лесного хозяйства» для лесонженерных факультетов. Он выступает сторонником постоянно действующих предприятий, сырьевые базы которых должны организовываться по принципу непрерывного, нестохастического пользования лесом.

Большая часть деятельности ученого связана с подготовкой специалистов для лесного хозяйства и лесной промышленности. Будучи с 1937 г. заведующим кафедрой лесной таксации и лесоустройства Красноярского, а с 1944 г. — Московского лесотехнических институтов, Н. П. Анучин подготовил большую армию лесных специалистов — производственников и ученых, которые успешно трудятся в нашей стране и за ее пределами.

Н. П. Анучин выполняет большую руководящую работу. Он был главным лесничим и начальником управления лесами Наркомлеса СССР, заместителем директора Красноярского и Московского лесотехнических институтов, директором института ВНИИЛМ, а в настоящее время работает во многих экспериментальных и методических комиссиях.

Н. П. Анучину принадлежит более 200 научных работ. Его заслуги в разработке научных проблем, в подготовке лесных специалистов и научных кадров отмечены многими орденами и медалями Советского Союза.

Отмечая юбилей ученого, работники лесной индустрии Севера, его коллеги и соратники желают Николаю Павловичу крепкого здоровья, плодотворной научно-педагогической и общественной деятельности.

И. М. Боховкин, П. Н. Львов, Ю. И. Вальков, И. И. Гусев  
Архангельский лесотехнический институт

## СОДЕРЖАНИЕ

*И. М. Боховкин, Е. С. Романов.* На переднем крае лесной науки . . . . . 3

### ЛЕСНОЕ ХОЗЯЙСТВО

*И. П. Анучин.* В защиту постоянно действующих лесных предприятий . . . . . 5

*Н. И. Федоров, Е. Д. Манцевич, Н. И. Якимов.* Пораженность хвои шютте обыкновенным в географических культурах сосны . . . . . 10

*А. И. Тябера.* Площадь роста дерева и ее определение аналитическим способом . . . . . 12

*Л. Е. Астрологова.* О биологической продуктивности сосняка черничного в средней подзоне тайги . . . . . 16

*Г. А. Харитонов.* Влияние косвенно действующих удобрений на рост саженцев лесных пород в Западной лесостепи . . . . . 20

*И. А. Феклистов.* О точности учета радиального годичного прироста древостоя в разных типах леса . . . . . 23

*М. В. Колесниченко, В. В. Крюков.* О биохимическом влиянии на дуб северный некоторых местных пород и экзотов . . . . . 27

*Ф. В. Пошарников.* К определению высоты осыпи почвы в бороздке после прохода анкерного сошника сеялки . . . . . 31

### ЛЕСОЭКСПЛУАТАЦИЯ

*В. К. Хегай.* Выбор рациональных параметров подвески приемного устройства валочно-пакетирующей машины при ударном нагружении . . . . . 35

*А. В. Дуров.* Аналитический метод расчета эксплуатационного расхода топлива лесовозными автопоездами на установившихся режимах . . . . . 39

*Ю. Я. Дмитриев, Г. Ф. Кислицына.* Исследование импульсных струй жидкости применительно к окорке лесоматериалов . . . . . 44

*М. А. Цвирко, В. Д. Мартынихин.* Напряжения вторичного изгиба при взаимодействии прядевого каната с рифленой и гладкой поверхностью желоба блока . . . . . 49

*И. И. Сленко.* Исследование напряжений изгиба в несущем канате при движении по нему легкого груза . . . . . 56

*В. Е. Сергутин.* Приближенный способ измерения расхода воды в речном потоке . . . . . 61

*В. Я. Харитонов.* Исследование параметров сортировочного устройства для бревен . . . . . 66

### МЕХАНИЧЕСКАЯ ОБРАБОТКА ДРЕВЕСИНЫ И ДРЕВЕСИНОВЕДЕНИЕ

*П. М. Мазуркин, Г. В. Корнилов.* Изучение поперечного пиления древесины с образованием щепы вместо опилок . . . . . 72

*В. В. Решетняк, Л. С. Лозовая.* Изменение плотности древесины в процессе прессования и сушки . . . . . 76

*В. А. Шамаев.* Использование неделовой древесины для производства подшипников скольжения . . . . . 80

*Л. В. Борцова.* Теоретическое определение напряжений и опасных точек в образце из клееной прессованной древесины . . . . . 83

*В. Г. Любимов.* Теоретическое определение высоты неровностей при шлифовании пластмасс . . . . . 87

*Ж. И. Шортник, И. А. Боевская.* Измерение с повышенной точностью влажности древесной стружки . . . . . 92

### ХИМИЧЕСКАЯ ПЕРЕРАБОТКА ДРЕВЕСИНЫ

*М. И. Кравченко, В. М. Крюков, В. И. Томп, Т. В. Ефремова, В. Н. Блесткина, А. И. Киприанов.* Изучение процесса промывки целлюлозного волокна . . . . . 95

*Н. В. Терегеря, Ф. А. Медников, В. И. Золотов, А. Ф. Мокещев, А. С. Кузьмин.* Взаимодействие таллового масла с окисью пропилена . . . . . 100

*Б. Д. Богомолов, О. Ф. Горбунова, О. М. Соколов.* Исследование остаточных лигнинов, выделенных из целлюлозных масс после щелочных варок . . . . . 105

А. Д. Колешня, Н. А. Михайлов, Л. Н. Стадник, Н. И. Попова. Исследование склеивания древесины клеями на основе мочевино-формальдегидных смол, модифицированных изоцианатами . . . . .	109
П. Ф. Валендо, А. П. Глазунов, А. П. Немиров, П. А. Константинова, Л. А. Голутвина. Разработка оптимальных составов для проклейки в массе латексами и гидрофобизирующими эмульсиями. . . . .	112
Т. Г. Екимова, Д. А. Пономарев, М. Я. Зарубин. Окисление модельных соединений лигнина в водном растворе аммиака . . . . .	116
Л. А. Миловидова, Г. А. Пазухина. Изучение распределения серы при быстрой содово-сульфитной варке березовой древесины . . . . .	120

#### КОМПЛЕКСНАЯ МЕХАНИЗАЦИЯ И АВТОМАТИЗАЦИЯ ПРОИЗВОДСТВЕННЫХ ПРОЦЕССОВ

М. А. Сенников. Применение теории массового обслуживания к определению потребности в агрегатах оборотного фонда предприятия . . . . .	125
Э. Н. Сабуров, Т. Г. Загоскина. Обобщенные уравнения конвективного теплообмена на боковой поверхности циклонных камер . . . . .	131

#### ЭКОНОМИКА И ОРГАНИЗАЦИЯ ПРОИЗВОДСТВА

Ю. Ю. Тулыця, И. М. Снякевич. Специфика планирования себестоимости технологической щепы из отходов лесозаготовок и маломерной древесины . . . . .	138
Т. Г. Корнева, В. Я. Коваленко. Об эффективности транспортировки пиломатериалов на экспорт через лесные порты . . . . .	140

#### КРАТКИЕ СООБЩЕНИЯ И ОБМЕН ОПЫТОМ

В. И. Бирюков. Физико-механические свойства древесины хвойных экзотов Брянского учебно-опытного лесничества . . . . .	144
Г. Б. Горгинский, А. И. Тарасов. О связи азотного питания с продуктивностью северотаежных ельников . . . . .	146
В. М. Жирин, П. А. Кропов, Ю. А. Кукуев. Исследование отражательной способности хвойных пород, поврежденных промышленными газами . . . . .	149
Б. А. Ильин. О принципах размещения в лесу лесохозяйственных дорог . . . . .	152
А. М. Жигалов. Расчет упругого элемента с нелинейной характеристикой для подвески автолесовоза . . . . .	155
Н. Н. Борисова. Влияние прорезей на акустические характеристики круглых пил . . . . .	157
А. А. Вайсбурд, К. А. Мальшевская, А. В. Финкельштейн. Влияние состава бинарного растворителя вода — этанол на метилирование Na-ксантогената целлюлозы диметилсульфатом . . . . .	160
Е. М. Лейбович, Ю. П. Сырников, И. А. Ферман, Э. И. Чупка. Изменение оптической активности растворов глюкозы во времени при различных рН . . . . .	163
Е. Д. Добрынин, Н. Е. Кононова. Влияние профиля зуба на надежность и долговечность делительных ленточных пил . . . . .	166
В. Д. Букин, Е. Б. Гусаковский, В. В. Померанцев, Е. А. Трофимов. Сжигание коры и древесных отходов в скоростных топках с обращенным дутьем под котлами малой мощности . . . . .	167

#### ИЗ ИСТОРИИ НАУКИ

И. С. Мелехов, А. Р. Родин, М. Д. Мерзленко. К 145-летию «Лесного журнала» . . . . .	171
--	-----

#### ЮБИЛЕИ

И. М. Боховкин, П. Н. Львов, Ю. И. Вальков, И. И. Гусев. Юбилей академика Николая Павловича Анучина . . . . .	173
---	-----

## CONTENT

<i>I. M. Bokhovkin, E. S. Romanov.</i> At the front-line of forest science . . . . .	3
--	---

### FORESTRY

<i>N. P. Anuchin.</i> On defence of constantly acting forest enterprises . . . . .	5
<i>N. I. Fedorov, E. D. Mantsevich, N. I. Yakimov.</i> Affection of needle by <i>Lophodermium pinastri</i> in geographical cultures of pine . . . . .	10
<i>A. P. Tyabera.</i> The growth area of a tree and its computation by analytical method . . . . .	12
<i>L. E. Astrologova.</i> Biological productivity of bilberry pine stand in middle taiga subzone of Archangel region . . . . .	16
<i>G. A. Kharitonov.</i> Influence of indirectly acting fertilizers on the growth of transplants of forest species in the western forest steppe zone . . . . .	20
<i>P. A. Feklistov.</i> On the precision of calculating radial annual increment of stands in different types of forest . . . . .	23
<i>M. V. Kolesnichenko, V. V. Kryukov.</i> The biochemical influence of some aboriginal and exotic species on <i>Quercus borealis</i> Michx. f. . . . .	27
<i>F. V. Posharnnikov.</i> On defining the height of the boulder-soil in the furrow after the drill anchor plough share having passed . . . . .	31

### FOREST EXPLOITATION

<i>V. K. Khegal.</i> The choice of rational parameters of a suspender under percussion loading . . . . .	35
<i>A. V. Durov.</i> Analytical method of calculating operation expenditure of fuel by logging autostrains under fixed conditional . . . . .	39
<i>Yu. Ya. Dmitriev, G. F. Kislitsyna.</i> The analyses of impulsive fluid jets in conformity with barking timber . . . . .	44
<i>M. A. Tsvirko, V. D. Martynikhin.</i> Second bending stresses under the interaction of a strand cable with corrugated and smooth surface of pulley chute . . . . .	49
<i>I. I. Stepko.</i> Investigation of bending stresses in the carrying cable formed under the action of a small load moving along it . . . . .	56
<i>V. E. Sergutin.</i> Approximate method of measuring water expenditure in a river stream . . . . .	61
<i>V. Ya. Kharitonov.</i> Investigation of parameters of sorting plant for round timber . . . . .	66

### MECHANICAL TECHNOLOGY AND WOODSCIENCE

<i>P. M. Mazurkin, G. V. Kornilov.</i> Research in the crosscutting of timber with chips instead of sawdust . . . . .	72
<i>V. V. Reshetnyak, L. S. Lozovaya.</i> Changing the density of wood in the process of pressing and drying . . . . .	76
<i>V. A. Shamaev.</i> The use of unworkable wood for production of sleeve bearings . . . . .	80
<i>L. V. Bortsova.</i> Theoretical determination of strains and critical points in a specimen of glued pressed wood . . . . .	83
<i>V. G. Lyubimov.</i> Theoretical determination of the height of roughnesses while sanding plastics . . . . .	87
<i>Zh. I. Portnik, I. A. Boevskaya.</i> Measuring with greater accuracy the moisture content of wood shaving . . . . .	92

### CHEMICAL WOODWORKING

<i>M. I. Kravchenko, V. M. Kryukov, V. I. Tomp, T. V. Efremova, V. N. Blestkina, A. I. Kiptanov.</i> The study of cellulose fibre washing process . . . . .	95
<i>N. V. Teregerya, F. A. Mednikov, V. I. Zolotov, A. F. Mokeichev, A. S. Kuzmin.</i> Interaction of tall oil with iron oxide . . . . .	100
<i>B. D. Bogomolov, O. F. Gorbunova, O. M. Sokolov.</i> Investigation of isolated residual lignin of cellulose pulps after alkaline pulping . . . . .	105
<i>A. D. Koleshnyia, N. A. Mikhailov, L. N. Stadnik, N. I. Popova.</i> Investigation of wood glueing with urea-formaldehyde resins modified with izocianat . . . . .	109



<i>P. F. Valendo, A. P. Glazunov, A. P. Nemirov, P. A. Konstantinova, L. A. Goluvina.</i> Elaborating the optimum compositions for sizing in mass with latexes and emulzions causing a hydrophobic effect . . . . .	112
<i>T. G. Ekimova, D. A. Ponomarev, M. Ya. Zarubin.</i> The oxidizing of model compounds of lignin in water soluble ammonia . . . . .	116
<i>L. A. Milovidova, G. A. Pazukhina.</i> Studying the distribution of sulphur in the process of rapid birch wood soda-sulphit pulping . . . . .	120

**COMPLEX MECHANIZATION  
AND AUTOMATION OF PRODUCTION PROCESSES**

<i>M. A. Sennikov.</i> Applying the theory of mass service to defining the need in the floating capital units of an enterprise . . . . .	125
<i>E. N. Saburov, T. G. Zagoskina.</i> Generalized equations of convective heat exchange on side surface of cyclone chambers . . . . .	131

**ECONOMICS AND ORGANIZATION OF PRODUCTION**

<i>Yu. Yu. Tupytsya, I. M. Sinyakevich.</i> Specific features of planning the prime cost of logging waste chips and shorts . . . . .	138
<i>T. G. Korneva, V. Ya. Kovalenko.</i> On the efficiency of transporting export lumber from forest ports . . . . .	140

**SHORT REPORTS AND EXCHANGE OF EXPERIENCE**

<i>V. I. Biryukov.</i> Physico-mechanical properties of wood coniferous exots of the Bryansk forestry experimental station . . . . .	144
<i>G. B. Gortinsky, A. I. Tarasov.</i> Nitrogen nutrition of spruce in relation to productivity of northern taiga subzone spruce . . . . .	146
<i>V. M. Zhirin, P. A. Kropov, Yu. A. Kukuev.</i> Research of reflecting ability of coniferous trees demanged with industry gases . . . . .	149
<i>B. A. Ilyin.</i> On principles of locating forestry roads in wood . . . . .	152
<i>A. M. Zhigalov.</i> Calculation of elastic element with unilinear characteristic for truck suspender . . . . .	155
<i>N. N. Borisova.</i> The influence of openings on acoustic characteristics of circular saws . . . . .	157
<i>A. A. Vaisburd, K. A. Malyshevskaya, A. V. Finkelstein.</i> The water ethanol solvent composition influence on methylation of cellulose sodium xanthanate with dimethylsulphate . . . . .	160
<i>E. M. Leibovich, Yu. P. Syrnikov, I. A. Fersman, E. I. Chupka.</i> The changing of optical activity of glucose solutions in time with different pH . . . . .	163
<i>E. D. Dobrynin, N. E. Kononova.</i> Influence of tooth profile on reliability and longevity of band-resaws . . . . .	166
<i>V. D. Bukin, E. B. Gusakovskiy, V. V. Pomerantsev, E. A. Trofimov.</i> Burning bark and wood residues in highspeed burners with reverse blowing under low capacity boilers . . . . .	167

**FROM HISTORY OF SCIENCE**

<i>I. S. Melekhov, A. R. Rodin, M. D. Merzlenko.</i> For the 145 anniversary of „Forest Journal“ . . . . .	171
--	-----

**JUBILEES**

<i>I. M. Bokhovkin, P. N. Lvov, Yu. I. Valkov, I. I. Gusev.</i> Jubilee akad. N. P. Anuchina . . . . .	173
--	-----