

# ТРАНСПОРТ ЛЕСА

УЧЕБНИК

В двух томах

Том 2

М. М. ОВЧИННИКОВ, В. П. ПОЛИЩУК, Г. В. ГРИГОРЬЕВ

**ЛЕСОСПЛАВ И СУДОВЫЕ ПЕРЕВОЗКИ**

*Допущено  
Учебно-методическим объединением  
по образованию в области лесного дела  
в качестве учебника для студентов высших учебных заведений,  
обучающихся по специальностям «Лесоинженерное дело»  
и «Лесное хозяйство»*



Москва

Издательский центр «Академия»

2009

УДК 630\*31(075.8)

ББК 43.904я73

Т654

Рецензенты:

зав. кафедрой «Промышленный транспорт и геодезия» Петрозаводского государственного университета, канд. техн. наук, доц. *В. И. Марков*;  
зам. директора по научной работе ОАО «ЦНИИ лесосплава»  
г. С.-Петербург *В. Н. Чарышников*

Т654 **Транспорт** леса. В 2 т. Т. 2. Лесосплав и судовые перевозки : учебник для студ. высш. учеб. заведений / М. М. Овчинников, В. П. Полищук, Г. В. Григорьев. — М. : Издательский центр «Академия», 2009. — 208 с.

ISBN 978-5-7695-5351-6

Рассмотрены виды лесосплава и судовых перевозок лесоматериалов. Описаны лесосплавные пути и гидродинамика потока при лесосплаве. Даны характеристики лесонаправляющих и лесозадерживающих сооружений, лесосплавных рейдов. Изложены основы проектирования лесосплавных объектов.

Для студентов высших учебных заведений.

УДК 630\*31(075.8)

ББК 43.904я73

*Оригинал-макет данного издания является собственностью  
Издательского центра «Академия», и его воспроизведение любым способом  
без согласия правообладателя запрещается*

ISBN 978-5-7695-5351-6 (т. 2)  
ISBN 978-5-7695-5681-4

© Овчинников М. М., Полищук В. П., Григорьев Г. В., 2009  
© Образовательно-издательский центр «Академия», 2009  
© Оформление. Издательский центр «Академия», 2009

## ПРЕДИСЛОВИЕ

В технологическом цикле лесопромышленного производства транспорт является связующим звеном, обеспечивающим непрерывность производства и сбыта лесопродукции. Для заготовки лесного сырья требуется создание разветвленной транспортной сети. Заготовленную в лесу древесину подвозят по первичным транспортным путям к местам погрузки на лесовозные автомобильные или железнодорожные поезда либо на береговые склады и по магистральным лесовозным дорогам или водным путем доставляют к пунктам первичной переработки — нижним складам. Далее древесное сырье по дорогам общего пользования либо водным транспортом доставляют на деревообрабатывающие предприятия или поставляют на экспорт.

Эффективность работы лесозаготовительного предприятия зависит от рационального размещения транспортных путей в эксплуатируемом лесном массиве, качества строительства, содержания и ремонта лесовозных дорог, обоснованного выбора подвижного состава, системы управления вывозкой древесины.

Наиболее экономичным и наименее энергоемким видом транспорта леса является лесосплав.

На первоначальных стадиях развития все работы на лесосплаве выполняли вручную, а судовые перевозки — на деревянных однокорпусных самосплавных судах.

Развитие лесосплавной отрасли осуществлялось Центральным научно-исследовательским институтом лесосплава (ЦНИИ лесосплава), Волжско-Камским филиалом ЦНИИ лесосплава, Центральным научно-исследовательским институтом механизации и энергетики, Северным научно-исследовательским институтом промышленности, Карельским научно-исследовательским институтом лесной промышленности, Сибирским научно-исследовательским институтом лесной промышленности и др.

Подготовку высококвалифицированных специалистов водного транспорта леса проводили в Ленинградской лесотехнической академии им. С. М. Кирова (ныне Санкт-Петербургская государственная лесотехническая академия им. С. М. Кирова), Московском лесотехническом институте (ныне Московский государственный университет леса), Архангельском лесотехническом институте (ныне Архангельский государственный технический университет),

Сибирском технологическом институте (ныне Сибирский государственный технологический университет) и других высших учебных заведениях страны.

В результате научных работ, выполненных этими институтами, разработаны положения теории водного транспорта леса, созданы специальные машины для основных и вспомогательных работ.

В связи с усилением требований по охране природы и принятием в 1966 г. постановления Совета Министров СССР о развитии рыбного хозяйства, которым предусматривалось прекращение молевого сплава на реках, имеющих рыбохозяйственное значение, лесосплав претерпел существенные изменения. В результате принятых мер объем водного транспорта леса сократился с 124 млн м<sup>3</sup> в 1965 г. до 54 млн м<sup>3</sup> в 1990 г.

Сотрудниками Государственного научно-исследовательского института озерного и речного рыбного хозяйства и ЦНИИ лесосплава на основе систематических анализов гидрохимического состава воды на лесосплавных реках установлено, что лесосплав практически не оказывает влияния на экологию водных объектов, так как количество вымываемых из древесины вредных веществ находится в границах их предельно допустимых концентраций (ПДК). Лесосплав оказывает только механическое воздействие плывущими лесоматериалами на берега и иногда на нерестохранилища. Для устранения этого неблагоприятного воздействия разработаны специальные меры, изложенные в Правилах подготовки и приемки древесины для лесосплава и ГОСТ 17.1.3.01—76\* «Охрана природы. Гидросфера. Правила охраны водных объектов при лесосплаве».

Необходимость создания учебника «Транспорт леса. Лесосплав и судовые перевозки» возникла в связи с тем, что учебник «Водный транспорт леса», выпущенный в 2000 г., значительно устарел.

При написании учебника использована имеющаяся учебно-методическая литература по водному транспорту леса, последние разработки научно-исследовательских институтов и высших учебных заведений страны, а также достижения предприятий и организаций, занимающихся водными перевозками лесной продукции.

Учебник может быть полезен магистрам и аспирантам, а также специалистам лесосплавных и лесозаготовительных предприятий.

## ВИДЫ ЛЕСОСПЛАВА И СУДОВЫХ ПЕРЕВОЗОК

### 1.1. Основные понятия и определения

*Лесосплав* — вид водного транспорта, при котором используется плавучесть леса.

Различают следующие виды лесосплава: молевой, кошельный, в сплоточных единицах и плотовой.

При *молевом* сплаве лес транспортируется вниз по течению реки в виде не связанных между собой сортиментов круглого леса, имеющих достаточный запас плавучести.

Молевой лесосплав применяют на несудоходных реках, где по условиям малых глубин или кратковременности лесосплавного периода эффективное применение других видов водного лесотранспорта не обеспечивается. С принятием Государственной Думой 18 октября 1995 г. Водного кодекса Российской Федерации молевой лесосплав запрещен.

При *кошельном* сплаве круглые лесоматериалы в виде не связанных между собой сортиментов обносятся плавучим ограждением — оплотником и перемещаются по водному пути специальными катерами или буксирными судами. Кошельный лесосплав применяют на озерах, водохранилищах и участках лесосплавных рек с недостаточными скоростями течения. Кошельный лесосплав имеет ограниченное применение.

При сплаве леса в *сплоточных единицах* по несудоходным рекам сортименты сплачивают в межнавигационный период на берегу или на льду в пучки объемом 5 ... 30 м<sup>3</sup> или в микропучки объемом до 5 м<sup>3</sup>, а иногда в плоские сплоточные единицы и транспортируют вниз по течению лесосплавной реки.

При *плотовом* лесосплаве из сортиментов или хлыстов сплачивают пучки или плоские единицы, на берегу или на воде формируют из них плоты, которые транспортируют буксирными судами.

В отдельных случаях плоты транспортируют вниз по течению реки самосплавом, без тяги, с применением специального такелажа для управления плотом и его остановки. Этот вид лесосплава малоэффективен и применяется редко — если недостаточно буксирного флота.

Лесосплав молевой, в сплоченных единицах и кошельный, проводимый по несудоходным водным путям, относят к первоначальному лесосплаву.

Плотовой лесосплав подразделяется на первоначальный и магистральный.

*Первоначальный плотовой лесосплав* осуществляют по несудоходным и временно судоходным водным путям с использованием флота лесосплавных предприятий.

*Магистральным плотовым лесосплавом* называют лесосплав по магистральным судоходным рекам с использованием флота специализированных организаций.

Для водного транспорта леса используют следующие виды транспортных единиц: пучки, плитки, плоты, сигары и др., обладающие плавучестью и другими транспортными свойствами, обеспечивающими водную доставку лесоматериалов до потребителя.

*Пучок* — сплоченная единица цилиндрической формы из параллельно расположенных круглых лесоматериалов, соединенных пучковыми обвязками.

*Сплоченная единица* — лесоматериалы, соединенные между собой в определенном порядке и форме.

*Плитка* — плоская лесотранспортная единица прямоугольной формы, состоящая из одного или нескольких рядов круглых лесоматериалов.

*Плот* — однорейсовая грузовая транспортная единица из сплоченных круглых лесоматериалов, предназначенная для буксировки по водным путям.

*Сигара* — лесотранспортная единица эллипсоидной формы в поперечном сечении, сигарообразная — по длине, с перекрытием стыков в вертикальной и горизонтальной плоскостях.

*Судовые перевозки леса* — перевозки лесоматериалов по водным путям в судах, на самоходных и несамоходных баржах.

К основным достоинствам водного транспорта леса следует отнести сравнительно малые эксплуатационные и капитальные затраты, отнесенные на 1 м<sup>3</sup> груза или на 1 м<sup>3</sup>·км транспортной работы. К факторам, определяющим дешевизну водного лесотранспорта и его малую капиталоемкость, относят:

- наличие готового пути;
- отсутствие необходимости в подвижном составе при молевом и плотовом лесосплаве;
- сравнительно малую массу подвижного состава на 1 т груза при перевозках леса в судах;
- отсутствие необходимости в средствах тяги при лесосплаве в сплоченных единицах;
- сниженная потребность в тяге на 1 т груза при плотовом лесосплаве и судовых перевозках из-за сравнительно малого удельного сопротивления движению по воде.

К основным недостаткам водного транспорта леса относится его сезонность, сравнительно малые скорости доставки грузов, потери леса при лесосплаве. Перерыв в лесосплаве на длительный срок вызывает необходимость создания складов большой емкости в пунктах отправления и приплава. Сезонность водного транспорта приводит к неравномерности распределения работ в течение года.

Малые скорости доставки грузов и сезонность водного транспорта леса требуют значительного объема оборотных средств, необходимых для нормального функционирования лесозаготовительных и лесосплавных предприятий.

На процесс лесосплава оказывают большое влияние разнообразные природные и климатические условия, гидрологическая характеристика бассейна и отдельной реки, характер размещения лесозаготовительных и лесобрабатывающих предприятий.

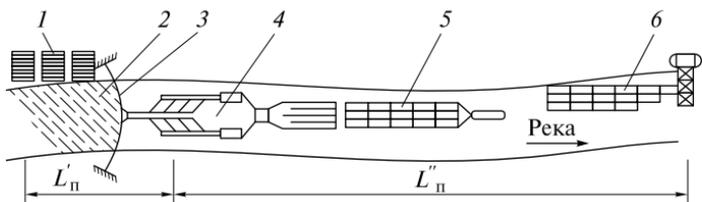
## **1.2. Транспортно-технологические схемы водного транспорта леса**

Водный транспорт леса по внутренним водным путям организуют по транспортно-технологическим схемам, приведенным на рис. 1.1.

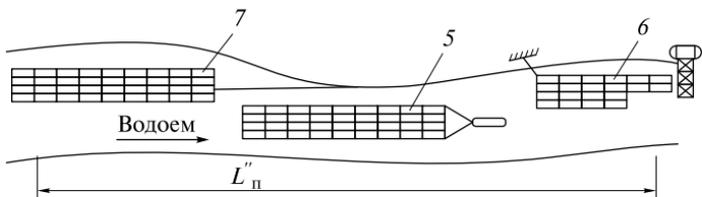
*Схема а* — лесоматериалы молевым лесосплавом по первоначальным путям сплава на расстояние  $L'_п$  доставляют до лесосплавных путевых рейдов, где сортируют, сплачивают в пучки, формируют в секции и плоты и отправляют по магистральным рекам до пунктов приплава на расстоянии  $L''_п$ . Расстояние  $L'_п$  может быть различным и в некоторых случаях равно нулю, когда рейдовые работы организуют прямо у береговых складов.

В пути следования вследствие изменения путевых условий плоты могут переформировывать (изменять габаритные размеры). На рейде приплава плоты расформируют у специальных причалов и производят выгрузку древесины на берег. В случае необходимости роспуск сплоченных единиц на воде осуществляют с применением специальных размолочных агрегатов.

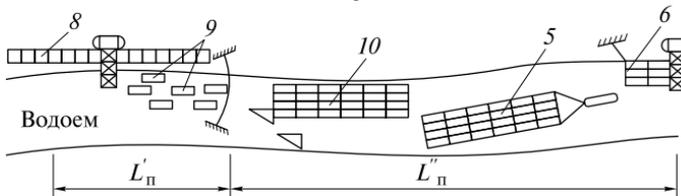
*Схемы б и в* предусматривают организацию сплотки на береговых складах лесовозных дорог. Водный транспорт леса по этим схемам позволяет сократить потери древесины по сравнению с молевым сплавом, использовать более высокие весенние горизонты воды в реке, что ускоряет доставку леса потребителю. *Схема б* возможна при наличии затопляемых в весенний период плотбищ или участков реки, имеющих достаточную толщину льда в зимний период. Древесину из лесонакопителей у продольных конвейеров в объеме полного пучка транспортируют и укладывают в секцию



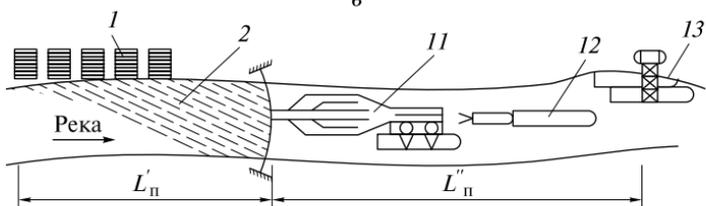
a



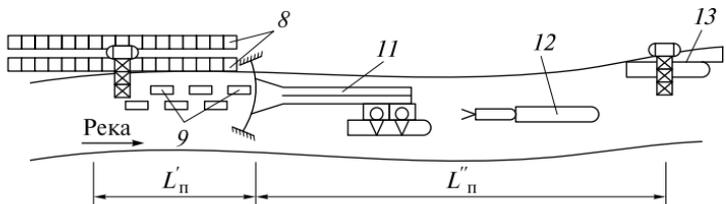
б



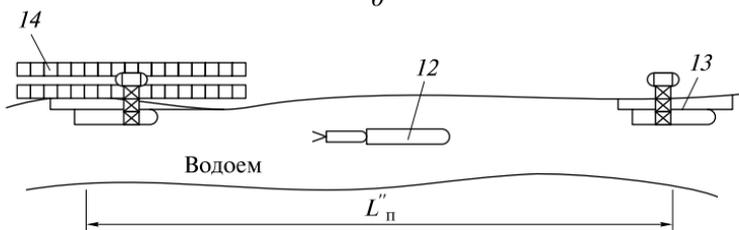
в



г



д



е

плота, которую полностью формируют на берегу. С открытием навигации секции плотов отдельно или в составе плота буксируют до пунктов приплава, где древесину выгружают на берег. По *схеме в* древесину формируют в пучки в лесонакопителях конвейеров и хранят в штабелях на берегу реки. Такую схему применяют на реках, где возможен плотовой лесосплав, но отсутствуют затопляемые плотбища.

С началом навигационного периода пучки при помощи кранов сбрасывают на воду. Пучки вольницей проплавливают на расстояние  $L'_п$  до запани, где их сортируют и формируют в секции плотов. Секции самостоятельно или в составе плота буксируют до пунктов приплава, где пучки выгружают на берег. Расстояние  $L'_п$  может быть очень незначительным или равным нулю, тогда схема видоизменяется в схему с береговой сплоткой и плотовым лесосплавом с незатопляемым береговым складом.

*Схема г* отличается от *схемы а* только тем, что на магистральных путях осуществляется погрузка древесины в суда.

*Схема д* отличается от *схемы в* только тем, что на магистральных путях осуществляется погрузка пучков в суда.

По *схеме е* древесину грузят в суда кранами непосредственно с берега.

В зависимости от гидрологических условий названные транспортно-технологические схемы могут применяться в различных комбинациях или с определенной очередностью во времени, т.е. при высоких горизонтах — одна транспортно-технологическая схема, а с падением уровня воды — другая.

Любая транспортно-технологическая схема лесосплава представляет собой целый комплекс разнообразных работ, включая мелиоративно-строительные работы на путях сплава, патрулирование специальными судами на реке в целях обеспечения беспрепятственного проплава древесины, буксировочные работы с плотами и секциями плотов, транспортные работы с различными грузами и такелажем, в том числе работы по уходу за такелажем, погрузочно-разгрузочные и транспортные работы с круглыми лесоматериалами с применением кранов, погрузчиков, а также рейдовые работы.



Рис. 1.1. Транспортно-технологические схемы (*а—е*) доставки лесоматериалов водным транспортом:

1 — береговой склад; 2 — молевой лесосплав; 3 — лесозадерживающие сооружения; 4 — сортировочно-сплоточный рейд; 5 — лесотранспортная единица — плот; 6 — рейд приплава; 7 — затопляемое плотбище; 8 — незатопляемое плотбище; 9 — сплоточные единицы; 10 — формировочный участок; 11 — участок (рейд) погрузки леса в суда; 12 — перевозка в судах; 13 — рейд (участок) выгрузки лесоматериалов из судов; 14 — береговой склад с причалом

### 1.3. Плавуемость и непотопляемость лесотранспортных единиц

*Плавуемостью* круглых лесоматериалов, хлыстов или их совокупностей — сплочных единиц — называется их способность плавать в заданном положении относительно водной поверхности в течение определенного времени.

*Запасом плавуемости* лесотранспортных единиц называется их способность, впитав определенное количество влаги, сохранять допустимое для лесосплава положение относительно водной поверхности, т. е. держаться на плаву. Уменьшение запаса плавуемости ведет к нарушению их положения относительно водной поверхности и утопу. Поэтому мероприятия, предусматривающие увеличение запаса плавуемости или его поддержания на определенный период, чрезвычайно важны.

Запас плавуемости зависит прежде всего от плотности древесины. Плотность древесины, при которой лесоматериалы уже не сохраняют заданного положения относительно водной поверхности и начинают тонуть, называется *критической плотностью*  $\rho_{кр}$ . Установлено, что плавуемость лесоматериалов зависит от начальной плотности древесины  $\rho_n$  и интенсивности ее изменения в процессе намокания  $d\rho/dt$ .

Плотность древесины  $\rho$  отдельных деревьев в свежесрубленном состоянии, как и отдельных бревен, перед сброской в воду различна и колеблется в различных пределах, определяемых размахом колебания  $\omega = \rho_{max} - \rho_{min}$ . В любой партии лесоматериалов, характеризующейся средней плотностью  $\rho_{cp}$  древесины в пределах размаха колебаний, имеется вполне определенное количество лесоматериалов, плотность древесины которых отличается от ее среднего значения, как в меньшую, так и в большую сторону. Это свидетельствует о том, что плотность близка к нормальному распределению. Для организации лесосплава без потерь от утопа необходимо знать вероятность появления в партии тех бревен, которые не имеют запаса плавуемости. Отклонение плотности  $\Delta\rho$  таких бревен от среднего ее значения  $\rho_{cp}$  составляет

$$\Delta\rho = \rho_{кр} - \rho_{cp},$$

а в долях среднеквадратического отклонения  $\sigma$

$$x = \Delta\rho/\sigma.$$

Древесина лиственных пород, лиственницы, хвойных тонкомерных сортиментов обладает высокой плотностью. В партиях леса этих пород в отдельные месяцы заготовки содержится большое количество бревен, не обладающих плавуемостью (т.е. имеющих плотность, превышающую критическую).

**Водопоглощение древесины при намокании.** Чтобы разобраться в процессе намокания лесоматериалов вследствие поглощения жидкости древесиной, необходимо знать ее микроструктуру. Древесина представляет собой сложное капиллярно-пористое тело, состоящее из древесинного вещества, образующего ее структуру, и заполнителей — воды и воздуха. Взаимное соотношение этих трех элементов и определяет плотность древесины. Количество древесинного вещества не изменяется, а количество воды и воздуха в процессе намокания изменяется. Вода, проникая в капилляры древесины, вытесняет воздух, часть которого защемляется, часть растворяется, а основная часть диффундирует через воду.

При продолжительности нахождения древесины в воде, стремящейся к бесконечности, плотность древесины достигает предельного значения  $\rho_{\text{пр}}$  и в этот момент в древесине остаются только два компонента — вода и древесинное вещество. Плотность круглых лесоматериалов при намокании изменяется:

$$d\rho/dt = \xi(\rho_{\text{пр}} - \rho)/\sqrt{t},$$

где  $t$  — время нахождения древесины в воде;  $\xi$  — коэффициент интенсивности водопоглощения.

После интегрирования уравнения получим зависимость для расчета плавучести:

$$t = \frac{1}{4\xi^2} \ln^2[(\rho_{\text{пр}} - \rho_{\text{н.в}})/(\rho_{\text{пр}} - \rho)], \quad (1.1)$$

где  $\rho_{\text{н.в}}$  — плотность древесины перед сброской в воду.

Расчет плавучести сплаваемых единиц (бревен и их любой совокупности) с одинаковой плотностью при  $\rho = \rho_{\text{кр}}$  и партии сплаваемых единиц (бревен) или их совокупностей (пучков, плиток и т. д.) с учетом размаха колебания плотности ведется по формуле (1.1).

**Способы повышения плавучести сплаваемых лесотранспортных единиц.** Плавучесть лесоматериалов повышают, применяя атмосферную сушку, транспирационное обезвоживание, а также механические способы обезвоживания.

*Атмосферная сушка лесоматериалов* — испарение воды через боковую и торцовые поверхности бревна под воздействием метеорологических факторов, из которых наибольшее значение имеют температура и влажность окружающего воздуха.

Плотность после атмосферной сушки определяется по формуле

$$\rho = \rho_p + (\rho_{\text{н.с}} - \rho_p)e^{-2\xi_{\text{са}}\sqrt{t}}$$

где  $\rho_p$  — плотность при равновесной влажности (устойчивой предельной влажности),  $\text{кг/м}^3$ , соответствующей определенным параметрам воздуха — температуре и влажности;  $\rho_{\text{н.с}}$  — плотность

древесины в начале сушки,  $\text{кг}/\text{м}^3$ ;  $t$  — продолжительность сушки, сут;  $\xi_{\text{с.а}}$  — коэффициент интенсивности при сушке, определяемый по уравнению

$$\xi_{\text{с.а}} = v\sqrt{6D'}/d,$$

где  $D'$  — коэффициент влагопроводности древесины,  $\text{см}^2/\text{сут}$ ;  $d$  — средний диаметр сортамента, см;  $v$  — поправочный коэффициент.

Правила подготовки рекомендуют атмосферную сушку бревен, окоренных пятнами, хвойных пород и малоценных сортиментов лиственных пород в течение 60 сут теплого периода года.

Достоинства атмосферной сушки: использование естественного источника теплоты; обеспечение снижения плотности древесины на 10...20 %; технологическое совмещение периода хранения с периодом сушки.

Недостатки атмосферной сушки: зависимость от метеоусловий; длительность периода сушки; снижение качества, особенно при сушке лиственной древесины; неравномерность сушки (верхние и нижние ряды высыхают по-разному и, как следствие, увеличение размаха колебания плотности  $\omega$ ).

*Транспирационное обезвоживание* — удаление влаги за счет ее испарения кроной дерева в период транспирации (испарение воды растением) при перерезанных путях подачи влаги от корневой системы.

Плотность древесины в конце транспирационной сушки определяют по уравнению

$$\rho = \rho_{\text{т}} + (\rho_{\text{н}} - \rho_{\text{т}})e^{-2\xi_{\text{ст}}\sqrt{t}},$$

где  $\rho_{\text{т}}$  — предельная плотность при транспирационном обезвоживании, теоретически равная плотности древесины при гигроскопической влажности ( $W=30\%$ );  $\rho_{\text{н}}$  — начальная плотность;  $\xi_{\text{ст}}$  — коэффициент интенсивности обезвоживания ствола; транспирационное обезвоживание достигается в результате перерезания кольца коры, заболони и части ядра для ядровых пород, повала деревьев и оставления с кроной на лесосеке вплоть до пожелтения листьев или хвои для остальных пород.

Достижимые пределы снижения плотности при транспирационной сушке через 10—25 сут составляют: березы —  $830 \text{ кг}/\text{м}^3$  в насаждениях I и II бонитета,  $780 \text{ кг}/\text{м}^3$  в насаждениях III и V бонитетов; осины — в среднем  $740 \text{ кг}/\text{м}^3$ ; ольхи —  $700 \text{ кг}/\text{м}^3$ ; липы —  $710 \text{ кг}/\text{м}^3$ ; лиственницы (через 30—45 сут) —  $720...750 \text{ кг}/\text{м}^3$ .

Достоинства транспирационного способа обезвоживания: использование естественного источника энергии; лучшее сохране-

ние качества древесины по сравнению с атмосферной сушкой; снижение плотности до величины, обеспечивающей лесосплав с минимальными потерями; повышение рейсовой нагрузки на подвижной состав на 15...20 % за счет снижения плотности древесины.

Недостатки транспирационного способа обезвоживания: зависимость от климатических условий; ограничение по срокам применения (период транспирации); большие сроки обезвоживания; повышенная водопоглощаемость сортиментов лиственных пород, заготовленных из деревьев, прошедших транспирационное обезвоживание; увеличение размаха колебания плотности в конце сушки.

*Механические способы обезвоживания* — это способы удаления свободной влаги при воздействии центробежных сил, а также гравитационного, электрического или других полей. Наиболее эффективен способ обезвоживания под воздействием центробежных сил, за счет вращения пачки круглых лесоматериалов в центробежном поле так, чтобы центр тяжести пачки проходил через ось вращения.

Экспериментально установлено, что время обезвоживания должно составлять 5 мин для лиственной древесины и 15...20 мин для хвойной. За этот период плотность снижается на 100...300 кг/м<sup>3</sup>.

Достоинства центробежного способа обезвоживания: высокая интенсивность процесса; сохранение качества древесины; снижение плотности до величины, обеспечивающей лесосплав без потерь минимум в течение одной навигации; возможность утилизации удаляемых в процессе обезвоживания древесных соков и смолы; сокращение размаха колебания плотности и повышение критической плотности; снижение интенсивности водопоглощения древесины некоторых пород.

Недостатки центробежного способа обезвоживания: период применения ограничивается периодом положительных температур; необходим дополнительный источник энергии.

Для повышения плавучести партии бревен применяют *отсортировку бревен с необеспеченной плавучестью*. Если отобрать бревна с необеспеченной для заданного срока лесосплава плавучестью, то партия сплавляемых единиц не будет иметь потерь от утопа. Этим способом повышается средняя плотность партии и снижается размах колебания плотности. При этом меняется закон распределения плотности: после отсортировки распределение становится *пирсоновским I типа*.

Для отсортировки определяют начальную плотность бревен, которые могут утонуть при заданной продолжительности лесосплава.

Для хвойных тонкомерных сортиментов возможно определение плотности по диаметру ядровой (спелой) древесины. Сущность

способа основана на существенной разнице как в плотности заболонной и ядровой древесины, так и в интенсивности водопоглощения этих составляющих. Чем больше процентное содержание ядровой древесины, тем дольше этот сортимент будет плавать. Плотность бревна в конце сплава  $\rho_{б.к}$ , обеспечивающая нахождение сортимента на плаву,

$$\rho_{б.к} = (\rho_{з.к} \Pi_з + \rho_{я.с.к} \Pi_{я.с}) / 100, \quad (1.2)$$

где  $\rho_{з.к}$  и  $\rho_{я.с.к}$  — плотность соответственно заболонной и ядровой (спелой) древесины в конце срока намокания, кг/м<sup>3</sup>;  $\Pi_з$  и  $\Pi_{я.с}$  — процентное содержание соответственно заболонной и ядровой (спелой) древесины в бревне.

Процентное содержание ядровой (спелой) древесины

$$\Pi_{я.с} = [(\rho_{з.к} - \rho_{б.к}) / (\rho_{з.к} - \rho_{я.с.к})] 100. \quad (1.3)$$

Из выражения (1.3) можно определить минимальный диаметр  $d_{я.с}$  ядровой (спелой) древесины, обеспечивающий нахождение сортимента на плаву при заданном сроке сплава:

$$d_{я.с} = d_{бр} \sqrt{(\rho_{з.к} - \rho_{б.к}) / (\rho_{з.к} - \rho_{я.с.к})},$$

где  $d_{бр}$  — диаметр бревна.

Сокращение размаха колебания плотности может быть достигнуто:

в результате отсортировки бревен с необеспеченной плавучестью;

в результате сплотки в пучки или микропакеты, так как при сплотке уменьшается размах распределения. При этом выполнение условия

$$\rho_{к.с} \leq \rho_{б.п}, \quad (1.4)$$

где

$$\rho_{б.п} = \rho_{кр} - \omega / (2\sqrt{n-1}), \quad (1.5)$$

зависит от числа  $n$  бревен в пучке. Здесь  $\rho_{к.с}$  — плотность древесины в конце сплава;  $\rho_{б.п}$  — плотность древесины, при которой гарантируется сплав без утопа.

Минимальное число бревен, обеспечивающее сохранение плавучести, определяется из выражений (1.4) и (1.5):

$$n \geq \frac{0,25\omega^2}{(\rho_{кр} - \rho_{к.с})^2} + 1. \quad (1.6)$$

Снижение интенсивности водопоглощения через торцовые поверхности обеспечивает гидроизоляционное покрытие торцовых

поверхностей. Для этого применяют нефтебитум или раствор петралатума в уайт-спирите. Наиболее эффективен последний, так как он обладает лучшими гидроизоляционными свойствами и позволяет производить обработку механизированным способом (распылением).

Раствор петралатума (40 % петралатума и 60 % уайт-спирита) наносят с помощью гидропульта при температуре не ниже  $-10^{\circ}\text{C}$  один или два раза. Гидропульт на базе бензиномоторной пилы имеет устройство подогрева состава и «удочку» со сменными наконечниками.

*Коэффициент гидроизоляции состава  $m$* , представляющий собой отношение интенсивностей водопоглощения после и до обработки, составляет 0,15 при двукратном и 0,4 при однократном покрытиях петралатумом; 0,3 — при двукратном покрытии нефтебитумом.

Увеличение длины сплавляемых сортиментов приводит к снижению интенсивности водопоглощения, так как последняя обратно пропорциональна длине сплавляемых единиц.

Для сохранения плавучести в течение заданного срока применяют *сплотку круглых лесоматериалов в совокупности* (плитки, пучки, микропучки, пакеты и т.д.). Минимальное число бревен, обеспечивающее сохранение плавучести, определяют по формуле (1.6).

Применение *подплава* для повышения плавучести как отдельных лесоматериалов, так и их совокупностей — пучков (или других видов сплоченных единиц) — предполагает использование материалов с меньшей плотностью и водопоглощаемостью по сравнению с доставляемыми водным путем лесоматериалами.

Подплавы принято подразделять на однородные и разнородные. *Однородный подплав* — это материал, однородный по природе со сплавляемыми лесоматериалами, но с меньшими плотностью и интенсивностью водопоглощения. Например, для водной доставки березовых лесоматериалов применяют хвойные круглые лесоматериалы. *Разнородный подплав* — это материал, отличающийся по природе от доставляемых водой круглых лесоматериалов. Например, для водной доставки лесотранспортных единиц используют конструктивные решения из металла, синтетических веществ и т.д.

Процент подплава устанавливают расчетом по зависимости

$$P_{\text{пп}} = \frac{(\rho_{\text{л.в}} - \rho_{\text{п.в}})}{(\rho_{\text{л.в}} - \rho_{\text{п.п.в}})} 100,$$

где  $P_{\text{пп}}$  — процент подплава;  $\rho_{\text{л.в}}$  — плотность доставляемого водой (лесосплавом) леса перед выгрузкой из воды;  $\rho_{\text{п.в}}$  — плотность лесотранспортной единицы, допустимая для условий лесосплава;