

## Разработка способа водной доставки измельченной древесины в плавучих контейнерах с естественным воздушным подплавом

И. В. Четверикова<sup>1</sup>

Воронежская государственная лесотехническая академия

### АННОТАЦИЯ

Проведены теоретические исследования интенсивности водопоглощения и воздуховыделения измельченной древесины. Изучены основные факторы, влияющие на эти процессы, капиллярно-пористая структура древесины, интенсивность потери влаги при сублимации. Приведены принципиальные схемы контейнеров с естественным воздушным подплавом и способы формирования из них лесотранспортных единиц.

**Ключевые слова:** водная доставка, контейнеры с воздушным подплавом, сублимация.

### SUMMARY

The article studies theoretical researches of intensity by water absorption of the crushed wood. The article studies the major factors influencing these processes, wood structure, intensity of loss of a moisture at sublimation. Basic schemes of containers with natural air and ways of formation from them wood-transport units are resulted.

**Keywords:** water delivery, containers with air, sublimation.

### ПОСТАНОВКА ПРОБЛЕМЫ

Современное состояние лесопромышленного комплекса характеризуется ростом дефицита сырья. В последние годы отмечается уменьшение площади лесопокрытых территорий, что приводит к уменьшению запасов лесных ресурсов. Необходимо разрабатывать технологии, которые позволят использовать всю древесную массу и использовать дополнительное древесное сырье. В данной статье дано теоретическое и экспериментальное обоснование технологий водной доставки технологической щепы в плавучих контейнерах. Предложенная технология базируется на способе формирования лесотранспортных единиц из контейнеров с естественным воздушным подплавом.

### ОБЪЕКТЫ И МЕТОДИКА ИССЛЕДОВАНИЯ

Щепа по общим формулам теории рассматривается как сферическая гранула, состоящая из системы эквивалентных капилляров радиусом  $r$ , с условным радиусом  $R_{\text{усл}}$  и поверхностью, равной боковой поверхности технологической щепы. В первый период

времени при погружении гранул (технологической щепы) в воду происходит смачивание твердой фазы и проникновение влаги в капилляры. Изменение плотности технологической щепы в результате этих процессов будет равно

$$\rho = \rho_{no} + \Delta\rho_{cmt} + \Delta\rho_{cml}, \quad (1)$$

где  $\rho_{no}$  – плотность щепы перед погружением в воду;  $\Delta\rho_{cmt}$  – приращение плотности щепы за счет смачивания твердой фазы;  $\Delta\rho_{cml}$  – приращение плотности щепы за счет мгновенного впитывания или смачивания пор.

В первый момент капилляры рассматриваются как сквозные, так как часть воздуха выходит через крупные капилляры. При полном погружении щепы в жидкость капилляры становятся тупиковыми. В них движение жидкости будет продолжаться до тех пор, пока существует перепад давлений. Скорость движения жидкости в тупиковом капилляре, растворения и диффузии защемленного в нем воздуха выражается уравнением впитывания

$$\frac{dl}{dt} = \frac{\alpha k D R T}{\sqrt{\pi D t}}, \quad (2)$$

где  $\alpha$  – коэффициент, зависящий от атмосферного давления  $P_a$  и капиллярного  $P_k$ ;  $k$  – постоянная Генри, моль/см<sup>3</sup>·Н;  $R$  – универсальная газовая постоянная, Дж/моль·К;  $T$  – температура защемленного газа, °С;  $D$  – коэффициент диффузии защемленного газа, см<sup>2</sup>/с.

По аналогии с водопоглощением бревен уравнение первого этапа увлажнения щепы можно записать

$$\rho_1 = \rho_{np} - (\rho_{np} - \rho_{ny}) e^{-2\xi\sqrt{t_1}}, \quad (3)$$

где  $\rho_{np}$  – предельная плотность щепы, кг/м<sup>3</sup>;  $\rho_{ny}$  – начальная плотность щепы первого периода увлажнения, кг/м<sup>3</sup>;  $t_1$  – продолжительность первого периода увлажнения, сут.;  $\xi$  – коэффициент интенсивности водопоглощения в зависимости от породы древесины и фракционного состава (экспериментальный)

$$\xi = \frac{3 \cdot r}{R_{\text{усл}}} \sqrt{\frac{\Delta P}{16 \cdot \mu}}, \quad (4)$$

где  $\Delta P$  – действующее давление намокания, Н/м<sup>2</sup>;  $\mu$  – коэффициент динамической вязкости, Н·с/м<sup>2</sup>.

Используя зависимость В. И. Пятакина, уравнение изменения плотности щепы на втором этапе увлажнения будет иметь вид

<sup>1</sup> Автор – доцент кафедры деталей машин и инженерной графики.

$$\rho_{II} = \rho_{np} - (\rho_{np} - \rho_{ny_2}) \times \left( e^{-2\xi\sqrt{t_2}} + e^{-2\xi\sqrt{t_2}} - \frac{1}{2\xi\sqrt{t_2}} \right), \quad (5)$$

изменение плотности щепы на третьем этапе увлажнения находится по формуле

$$\rho_{III} = \rho_{np} - (\rho_{np} - \rho_{ny_3}) e^{-2\xi_{nc}\sqrt{t_3}}, \quad (6)$$

где  $\rho_{ny_2}, \rho_{ny_3}$  – начальная плотность щепы второго и третьего периода увлажнения соответственно;  $t_2, t_3$  – продолжительность второго и третьего периода увлажнения.

По мере заполнения пор жидкостью из щепы также будет выделяться определенное количество воздуха, находящегося как между частицами щепы, так и в самой щепе. Используя теорию водопоглощения для дальнейших экспериментов, можно с уверенностью сказать, что теоретически основное количество воздуха выделится в первый период намокания сферических гранул (выходит свободный воздух), на втором этапе начнет действовать давление защемленного воздуха, затем процесс воздуховыделения по мере заполнения капилляров жидкостью будет уменьшаться, пока не наступит период полного насыщения. Определить процентное количество выделяемого воздуха в зависимости от изменения плотности технологической щепы  $\rho_{\Delta}$  можно по формуле

$$v_g = \frac{\rho_{\Delta}}{\rho_g} \cdot 100\%, \quad (7)$$

где  $\rho_g$  – плотность воды, кг/м<sup>3</sup>.

Существующие модели контейнеров имеют ряд недостатков: водопроницаемые контейнеры имеют большую осадку, срок нахождения на воде у них низкий, возникает необходимость создания подплова. Для водопроницаемых контейнеров с подплавом каждый подплав создается искусственно, что требует дополнительных средств и времени с применением специального оборудования для заполнения подплавов воздухом с последующей их герметизацией. Это усложняет весь технологический процесс в целом. Известный способ транспортировки измельченной древесины в герметичных водонепроницаемых контейнерах неудачен тем, что, хотя такие контейнеры могут удерживаться на воде длительное время, но процессы, происходящие с древесиной, оказывают отрицательное влияние на прочностные характеристики транспортируемого груза, щепа теряет свое качество вследствие задыхания и загнивания. Существующие большегрузные контейнеры имеют существенный недостаток – сложность конструкции, сезонность применения, при моделировании носовой части процесс использования таких контейнеров не всегда экономически целесообразен.

В данной работе впервые предложен способ водной доставки технологической щепы в плавучих контей-

нерах с естественным воздушным подплавом (схема контейнера представлена на рисунке 1).

Смысл данного способа состоит в том, что используются естественные процессы, происходящие со щепой при ее водопоглощении и воздуховыделении, без применения дополнительных средств и оборудования. После заполнения контейнеров щепой 1 из них на затопляемых плотбищах формируются плоттоединицы с обязательным условием поворота контейнеров отверстиями 2 вниз, чтобы при транспортировке они оказались под водой.

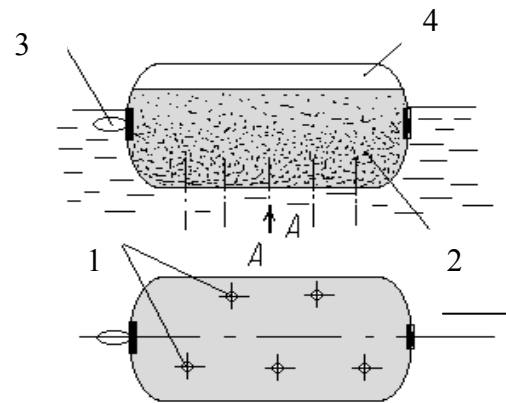


Рис. 1. Схема плавучего водопроницаемого контейнера с естественным воздушным подплавом: 1 – измельченная древесина; 2 – отверстия; 3 – естественный подплав; 4 – грузозахватные петли

Через эти отверстия влага постепенно начнет проникать в измельченную древесину, вытесняя имеющийся в щепе и между ее частицами свободный воздух, который, поднимаясь через древесину снизу вверх, создаст сверху контейнера слой – естественный воздушный подплав 3, поддерживающий лесотранспортную единицу на плаву в навигацию. Так как герметичный контейнер с помощью отверстий становится водопроницаемым, это решит проблему сохранения качества перевозимой древесины, особенно при транспортировке на большие расстояния. Для решения проблемы зимнего межнавигационного хранения после загрузки контейнеры можно оставить на площадке в положении отверстиями вверх для доступа воздуха. Контейнер имеет небольшой диаметр, около 1 м, поэтому щепа в отличие от традиционного хранения в кучах будет более равномерно подвергаться замораживанию, во время хранения щепы в зимний межнавигационный период экспериментальным путем весовым методом установлено, что измельченная древесина теряет от 15 до 20 % влаги. С открытием навигации будет создан дополнительный запас плавучести в виде воздуха, выделяющегося в результате сублимации свободной влаги. Чтобы определить запас плавучести, обеспечивающийся с помощью предлагаемого способа транспортировки, при проведении эксперимента учитывалось изменение плотности технологической щепы в зависимости от времени нахождения контейнера на

воде. Запас плавучести ( $ZП$ ) зависит, прежде всего, от плотности измельченной древесины и определяется как разность между критической  $\rho_{кр}$  и начальной  $\rho_H$  плотностью

$$ZП = \rho_{кр} - \rho_H. \quad (8)$$

При выборе геометрических параметров контейнеров необходимо, чтобы длина контейнера на сброске при массе, кратной грузоподъемности оборудования, находилась в пределах 2,2 ÷ 4,4 м, длина более 5 м уже вносит ряд трудностей при погрузке и выгрузке, где чаще всего используют различные краны с грузоподъемностью, кратной 5. Возможные длины контейнера со щепой можно рассчитать по формуле

$$l_k = \frac{m_K}{\frac{\pi}{4} d_k K_\delta \rho_{Щ}}, \quad (9)$$

где  $m_K$  – масса контейнера, т;  $d_K$  – диаметр контейнера, м;  $K_\delta$  – коэффициент полнодревесности;  $\rho_{Щ}$  – плотность щепы, т/м<sup>3</sup>.

Надводная часть контейнеров с естественным воздушным подплавом, определяющая запас плавучести, находилась исходя из известных формул для плавучих контейнеров с искусственным подплавом, но доля подплава рассчитывалась не через первоначальные геометрические размеры контейнера, а через изменение плотности технологической щепы в зависимости от времени намокания.

Предлагаемые контейнеры можно транспортировать как с открытием навигации после зимнего межнавигационного периода, что повышает запас плавучести, так и в летний период, используя их вторично, укладывая сверху на плот из круглых лесоматериалов с помощью крепежных элементов или увязывая в самостоятельный плот-контейнер и транспортируя его за тягой буксировщика. Это решает проблему сезонности применения.

## РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЯ И ОСНОВНЫЕ ВЫВОДЫ

Использование предложенного принципиально нового способа водной доставки технологической щепы позволяет избавиться от недостатков ранее существующих способов транспортировки измельченной древесины в герметичных контейнерах и в водонепроницаемых контейнерах с искусственным подплавом. Впервые предложен способ формирования лесотранспортных единиц из контейнеров с естественным воздушным подплавом (патент РФ № 39585).

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Четверикова И. В. Производство измельченной древесины и ее гидротранспорт [Текст] / И. В. Четверикова. ВГЛТА. Воронеж, 2004. 53 с. – Деп. в ВИНТИ 23.06.04, № 1074 – В 2004.
2. Чубов Н. И. Водный транспорт технологической щепы [Текст] / Н. И. Чубов, Д. Н. Афоничев, И. В. Переславцева. ВГЛТА. Воронеж, 1994. 15 с. – Деп. в ВИНТИ 10.03.94, № 554 – В 94.