

DOI: 10.15393/j2.art.2023.6763

УДК 630*378.33

Статья

Обоснование геометрических параметров высокоэффективной плоской сплочной единицы

Васильев Владимир Викторович

*кандидат технических наук, доцент, Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Воронежский государственный аграрный университет имени императора Петра I» (Российская Федерация),
vasiliev.vladimir87@mail.ru*

Афоничев Дмитрий Николаевич

*доктор технических наук, профессор, Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Воронежский государственный аграрный университет имени императора Петра I» (Российская Федерация),
dmafonichev@yandex.ru*

Получена: 8 февраля 2023 / Принята: 19 апреля 2023 / Опубликовано: 4 мая 2023

Аннотация: Для реализации экономически выгодного первоначального и магистрального сплава лесоматериалов в сплочных единицах требуется разработка современных плоских сплочных единиц, имеющих высокие транспортно-эксплуатационные показатели. Рассмотрена высокоэффективная плоская сплочная единица, обладающая простотой конструкции и высоким коэффициентом полндревесности. Приведённые преимущества плоской сплочной единицы образуются из-за особенности укладки круглых лесоматериалов в рядах сплочной единицы, когда каждый круглый лесоматериал верхнего ряда укладывается между двумя круглыми лесоматериалами нижнего ряда, а также наличия внутренних и наружных поперечных прокладок. Использование рассмотренной высокоэффективной плоской сплочной единицы, независимо от условий её эксплуатации, требует в обязательном порядке правильного расчёта её габаритных размеров. Предложена методика обоснования геометрических параметров разработанной плоской сплочной единицы, где акцент поставлен на определение проектной и фактической длины, ширины и высоты сплочной единицы. Обоснование геометрических параметров плоской сплочной единицы осуществлялось с учётом конструктивных особенностей сплочной единицы, характера укладки

круглых лесоматериалов в рядах, минимальной ширины и глубины сплавного хода. В результате этого были получены зависимости для расчёта проектной и фактической ширины, длины и высоты высокоэффективной плоской сплочной единицы. Полученные зависимости для расчёта проектной ширины, длины и высоты плоской сплочной единицы позволяют определить максимально возможные габаритные размеры сплочной единицы. В свою очередь, полученные зависимости для расчёта фактической длины, ширины и высоты плоской сплочной единицы являются рабочими формулами, которые учитывают максимально возможную укладку круглых лесоматериалов в ряду и количество укладываемых рядов и используются при расчёте габаритных размеров изготавливаемой плоской сплочной единицы для конкретных условий плавания. Применение предложенной высокоэффективной плоской сплочной единицы на первоначальном и магистральном сплаве лесоматериалов позволит обеспечить экономически выгодную доставку древесины потребителям из труднодоступных мест, где отсутствует развитая сеть автомобильных и железных дорог.

Ключевые слова: плоская сплочная единица; круглые лесоматериалы; ряды; коэффициент полндревесности; осадка; габаритные размеры

DOI: 10.15393/j2.art.2023.6763

Article

Calculation of transport and operational indicators of an improved flat-flow unit

Vladimir Vasiliev

Ph. D. in engineering, associate professor, Federal State Budget Education Institution of Higher Education «Voronezh State Agrarian University named after Emperor Peter the Great» (Russian Federation), vasiliev.vladimir87@mail.ru

Dmitry Afonichev

D. Sc. in engineering, professor, Federal State Budget Education Institution of Higher Education «Voronezh State Agrarian University named after Emperor Peter the Great» (Russian Federation), dmafonichev@yandex.ru

Received: 8 February 2023 / Accepted: 19 April 2023 / Published: 4 May 2023

Abstract: To implement an economically profitable initial and main timber rafting in raft units, the development of modern flat-raft units with high transport and operational performance is required. A highly efficient flat raft unit with a simple design and a high coefficient of raft section density is considered. The above advantages of a flat raft unit are formed due to the specific design of round timber laying in the rows of a flat unit, when each round timber of the upper row is stacked between two round timbers of the lower row with internal and external transverse gaskets. The use of the considered highly efficient flat-flow unit, regardless of its operating conditions, necessarily requires the correct calculation of its overall dimensions. The method to substantiate geometric parameters of the developed flat raft unit is proposed, where the emphasis is placed on determining the design and actual length, width and height of the raft unit. The geometric parameters of the flat raft unit were justified by taking into account the design features of the raft unit, the design of round timber laying in rows, the minimum width and depth of the floating road. The obtained dependences for calculating the design width, length and height of a flat raft unit allow the authors to determine the maximum possible overall dimensions of a flat unit. In turn, the obtained dependences for calculating the actual length, width and height of a flat raft unit are working formulas that take into account the maximum possible laying of round timber in a row and the number of stacked rows, and are used in calculating the overall dimensions of the manufactured flat raft unit for specific navigation conditions. The use of the proposed highly efficient flat-flow unit for the initial and main timber rafting will make it possible

to ensure cost-effective delivery of wood to consumers from hard-to-reach places that lack a developed network of roads and railways.

Keywords: flat raft unit; round timber; rows; raft section density; draft; overall dimensions

1. Введение

Развитие лесной отрасли Российской Федерации с учётом опыта ведения лесного хозяйства за рубежом [1—9] предусматривает комплекс мероприятий, связанных с посадкой лесных культур, выращиванием лесных культур или лесных насаждений, появившихся в результате естественного возобновления, с заготовкой древесины и её транспортировкой до места потребления [10—15]. Каждое из указанных мероприятий требует разработки новых технологических процессов и технических средств, с помощью которых будет осуществляться реализация ведения рационального лесного хозяйства. При этом следует уделять внимание минимизации потребления материальных и денежных ресурсов на каждом этапе выращивания спелой и высококачественной древесины, при заготовке лесоматериалов и их транспортировке. Основные затраты, как правило, образуются во время заготовки древесины и транспортировки лесоматериалов к потребителю, где затраты на транспортировку лесоматериалов зависят от вида используемого транспорта.

В настоящее время при транспортировке лесоматериалов применяется автомобильный, железнодорожный и водный транспорт [14—24]. Автомобильный транспорт наиболее эффективен при перевозке лесоматериалов на расстояние до 200 км при обязательном наличии или строительстве автомобильных дорог [15], [20—22]. В свою очередь, железнодорожный и водный виды транспорта будут эффективными, когда расстояние транспортировки лесоматериалов превышает 200 км. Использование железнодорожного транспорта требует обязательного строительства или наличия железнодорожных путей, что соответственно предусматривает значительные дополнительные капитальные вложения [15], [25]. Водный транспорт не требует строительства транспортных путей, т. к. используется естественный водный путь в виде существующей сети различных водных объектов [14], [16—17], [23—24]. Таким образом, с экономической точки зрения наиболее рационально применять водный транспорт, когда сети автомобильных и железных дорог отсутствуют или развиты недостаточно для обеспечения полноценной и своевременной поставки лесоматериалов потребителям.

Использование водного транспорта древесины в современных условиях требует [16], [26—30] обязательной эксплуатации малых, средних, крупных и больших рек, которые позволят реализовать всю технологическую цепочку транспортировки лесоматериалов от места заготовки к пункту потребления. Реализацию всей технологической цепочки транспортировки лесоматериалов необходимо выполнять по специально разработанным транспортно-технологическим схемам [31—33], функционирующим на базе плоских сплотовых единиц. Данные транспортно-технологические схемы требуют разработки высокоэффективных плоских сплотовых единиц, характеризующихся следующими показателями: простота конструкции; большая жёсткость; высокий коэффициент полндревесности; машинная реализация процессов изготовления и разборки, спуска на воду и выгрузки из воды. На основании вышесказанного определена цель работы: разработать высокоэффективную конструкцию плоской сплотовой единицы и методику обоснования её геометрических параметров.

2. Материалы и методы

Для полноценной реализации транспортно-технологических схем [31—33], функционирующих на базе плоских сплочных единиц, разработаны конструкции плоских сплочных единиц [30], [34], [35], которые могут изготавливаться в сплочной машине [36] или в грузовой платформе [37]. Каждая конструкция плоской сплочной единицы имеет свои преимущества и недостатки, влияющие на эффективность выполнения сплава лесоматериалов. Учитывая недостатки известных плоских сплочных единиц и взяв за прототип сплочную единицу, выполненную по типу костромской кошмы, осуществили разработку конструкции плоской сплочной единицы, на которую получен патент РФ № 2777676 [38]. Указанная сплочная единица была подвергнута дополнительной модернизации, в результате чего получена высокоэффективная плоская сплочная единица, которая представлена на рисунке 1.

Высокоэффективная плоская сплочная единица (см. рисунок 1) состоит из рядов круглых лесоматериалов 1, внутренних поперечных прокладок 2 и наружных поперечных прокладок 3. Внутренние поперечные прокладки 2 и наружные поперечные прокладки 3 выполнены в виде круглых лесоматериалов. Поперечные прокладки 2 и 3 уложены в пазы, образованные смещением рядов круглых лесоматериалов 1 относительно друг друга на диаметр наружной поперечной прокладки 3. Ряды круглых лесоматериалов 1 соединены между собой гибкими связями 4. Гибкие связи 4 оснащены соединительными устройствами 5. Каждая поперечная прокладка 2 и 3 соединена с крайними круглыми лесоматериалами ряда с помощью горизонтальных скоб 6. При этом внутренняя поперечная прокладка 2 и наружная поперечная прокладка 3, находящиеся спереди и сзади сплочной единицы, дополнительно соединены между собой с помощью вертикальных скоб 7.

Высокая эффективность рассмотренной плоской сплочной единицы заключается в том, что она характеризуется простотой конструкции, высоким коэффициентом полндревесности и изготавливается машинным способом, а следовательно, снижается трудоёмкость изготовления данной сплочной единицы. При этом изготовление разработанной плоской сплочной единицы может осуществляться как в сплочных машинах, так и на грузовой платформе [37], установленной на транспортном средстве, в качестве которого может выступать форвардер, автомобиль, прицепное транспортное средство. Процесс изготовления плоской сплочной единицы обязательно требует информации о её габаритных размерах для конкретных условий плавания, где правильное обоснование геометрических параметров сплочной единицы будет являться залогом эффективного выполнения сплавных работ. Особенно это важно при выполнении первоначального сплава лесоматериалов, когда при каждом изменении транспортных условий должен выполняться расчёт максимально допустимой длины, ширины и высоты плоской сплочной единицы с последующим установлением их фактических значений.

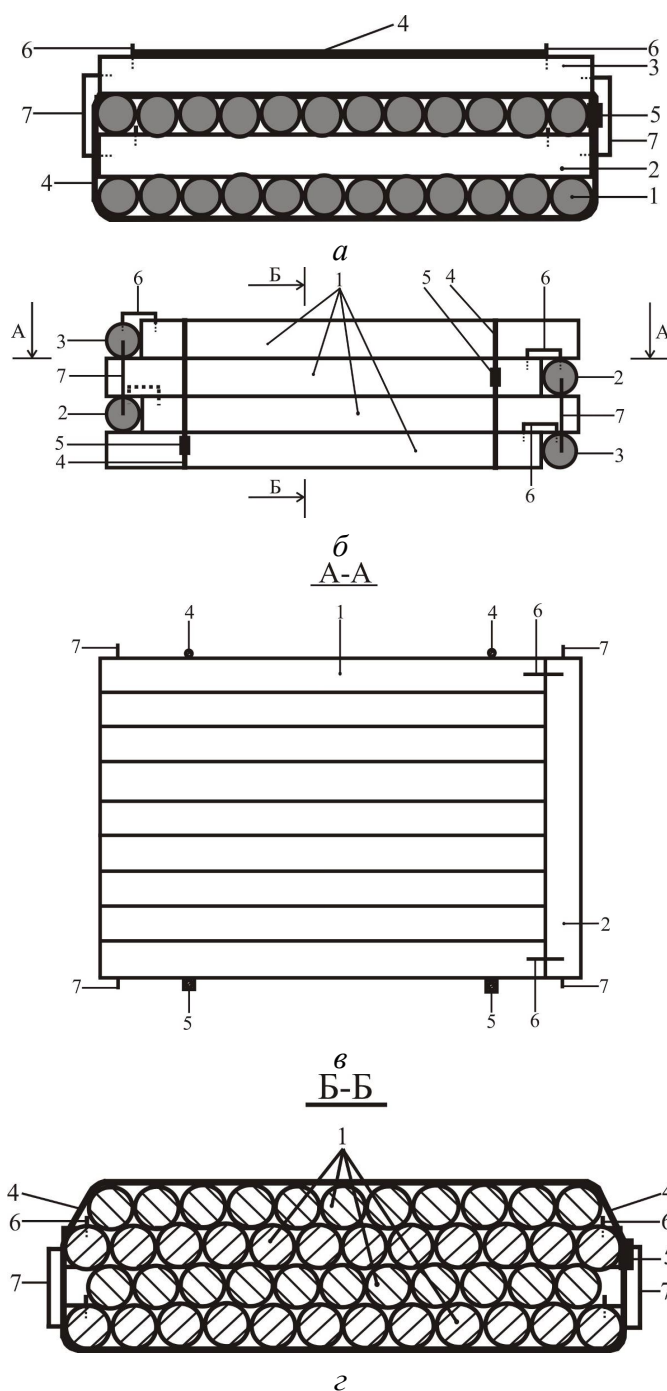


Рисунок 1. Высокоэффективная плоская плоточная единица: *a* — вид спереди; *б* — вид сверху; *в* — разрез А—А; *г* — разрез Б—Б

Figure 1. High-performance flat unit: (a) front view; (b) top view; (c) section A—A; (d) section B—B

Обоснование геометрических параметров высокоэффективной плоской плоточной единицы основывается на теоретическом подходе.

3. Результаты

При использовании высокоэффективной плоской сплottedной единицы на первоначальном сплаве лесоматериалов в первую очередь требуется обоснование её геометрических параметров. К обоснованию геометрических параметров плоской сплottedной единицы относится расчёт её проектной (максимальной) ширины $B_{\text{ППСЕ}}$, длины $L_{\text{ППСЕ}}$ и высоты $H_{\text{ППСЕ}}$ с последующим установлением фактической ширины $B_{\text{ФПСЕ}}$, длины $L_{\text{ФПСЕ}}$ и высоты $H_{\text{ФПСЕ}}$ сплottedной единицы. При этом $B_{\text{ППСЕ}}$, $L_{\text{ППСЕ}}$ и $H_{\text{ППСЕ}}$ плоской сплottedной единицы зависят от габаритов эксплуатируемого водного объекта, т. е. от показателей минимальной ширины $b_{\text{min.ЛХ}}$ и глубины $h_{\text{min.ЛХ}}$ сплавного хода на лимитирующем участке водного пути. В свою очередь, $B_{\text{ФПСЕ}}$, $L_{\text{ФПСЕ}}$ и $H_{\text{ФПСЕ}}$ устанавливаются средним диаметром круглых лесоматериалов $d_{1\text{Ср}}$, укладываемых в первом (нижнем) ряду, максимально допустимой укладкой круглых лесоматериалов в первом (нижнем) ряду $n_{\Gamma_{\text{max}}}$ и максимально допустимой укладкой рядов круглых лесоматериалов $n_{B_{\text{max}}}$.

Проектная (максимальная) ширина плоской сплottedной единицы $B_{\text{ППСЕ}}$ зависит от минимальной ширины сплавного хода $b_{\text{min.ЛХ}}$ и способа транспортировки плоской сплottedной единицы по малым и средним рекам. Если при планировании сплава лесоматериалов предполагается, что транспортировка плоских сплottedных единиц будет осуществляться в составе линейки (плота) за тягой буксировщика, то проектная ширина сплottedной единицы $B_{\text{ППСЕ}}$ будет равна расчётной ширине линейки (плота) $B_{\text{ЛП}}$, т. е. $B_{\text{ЛП}} = B_{\text{ППСЕ}}$. При указанных обстоятельствах проектная ширина плоской сплottedной единицы $B_{\text{ППСЕ}}$ будет кратна ширине линейки (плота) $B_{\text{ЛП}}$, тогда $B_{\text{ППСЕ}}$ рассчитывается следующим образом:

$$B_{\text{ППСЕ}} = \frac{B_{\text{ЛП}}}{n_{\text{Ш}}}, \quad (1)$$

где $B_{\text{ЛП}}$ — ширина линейки (плота), м; $n_{\text{Ш}}$ — количество плоских сплottedных единиц, устанавливаемых по ширине линейки (плота), шт.

В случае, когда при планировании сплава лесоматериалов предполагается, что плоские сплottedные единицы будут сплавливаются самосплавом без тяги буксировщика, то проектная ширина плоской сплottedной единицы равна [30]:

$$B_{\text{ППСЕ}} = \sqrt{(b_{\text{min.ЛХ}} - C_{\text{Ш}})^2 - L_{\text{ППСЕ}}^2}, \quad (2)$$

где $b_{\text{min.ЛХ}}$ — минимальная ширина сплавного хода, м; $C_{\text{Ш}}$ — запас для безопасного сплава сплottedных единиц, равный 2—3 м [30]; $L_{\text{ППСЕ}}$ — проектная длина плоской сплottedной единицы, м.

Фактическая ширина плоской сплottedной единицы устанавливается средним диаметром круглых лесоматериалов $d_{1\text{Ср}}$, укладываемых в первом (нижнем) ряду, и максимально

допустимой укладкой круглых лесоматериалов в первом (нижнем) ряду $n_{\Gamma_{\max}}$. На основании сказанного максимально допустимая укладка круглых лесоматериалов в первом (нижнем) ряду составит:

$$n_{\Gamma_{\max}} = \frac{B_{\text{ППСЕ}}}{d_{1Cp}}, \quad (3)$$

где d_{1Cp} — средний диаметр круглых лесоматериалов, укладываемых в первом (нижнем) ряду, м.

Расчётное значение, полученное по формуле (3), округляется до целого числа в меньшую сторону. При этом средний диаметр круглых лесоматериалов необходимо рассчитывать следующим образом:

$$d_{1Cp} = \frac{d_B + d_H}{2}, \quad (4)$$

где d_B — средний диаметр круглых лесоматериалов в верхнем отрезе, м; d_H — средний диаметр круглых лесоматериалов в нижнем отрезе, м.

Фактическая ширина плоской сплottedной единицы определяется по формуле

$$B_{\text{ФПСЕ}} = d_{1Cp} n_{\Gamma_{\max}}. \quad (5)$$

Проектная (максимальная) длина плоской сплottedной единицы $L_{\text{ППСЕ}}$ зависит от длины заготавливаемых круглых лесоматериалов $L_{\text{КЛ}}$ и от среднего диаметра наружной поперечной прокладки $d_{\text{СрНПП}}$ в середине своей длины, тогда $L_{\text{ППСЕ}}$ рассчитывается по формуле

$$L_{\text{ППСЕ}} = L_{\text{КЛ}} + d_{\text{СрНПП}}, \quad (6)$$

где $L_{\text{КЛ}}$ — длина круглых лесоматериалов, укладываемых в рядах плоской сплottedной единицы, м; $d_{\text{СрНПП}}$ — средний диаметр наружной поперечной прокладки, м.

В практических условиях фактическая длина плоской сплottedной единицы также будет определяться $L_{\text{КЛ}}$ и $d_{\text{СрНПП}}$, тогда $L_{\text{ППСЕ}} = L_{\text{ФПСЕ}}$.

Проектная (максимальная) высота плоской сплottedной единицы $H_{\text{ППСЕ}}$ зависит от минимальной глубины сплавного хода $h_{\text{min.ЛХ}}$, тогда

$$H_{\text{ППСЕ}} = \frac{(h_{\text{min.ЛХ}} - Z_D) \rho_B}{\rho_D}, \quad (7)$$

где $h_{\text{min.ЛХ}}$ — минимальная глубина сплавного хода, м; Z_D — донный запас, равный 0,2—0,3 м [30]; ρ_B — плотность воды, кг/м³; ρ_D — плотность древесины круглых лесоматериалов, кг/м³.

При расчёте фактической высоты плоской сплottedной единицы $H_{\text{ФПСЕ}}$ обязательно учитывается особенность укладки круглых лесоматериалов в рядах плоской сплottedной единицы, а именно то, что каждый круглый лесоматериал верхнего ряда укладывается между

двумя круглыми лесоматериалами нижнего ряда. Для дальнейшего расчёта обуславливаемся, что нижний ряд круглых лесоматериалов имеет средний диаметр d_{1Cp} , второй ряд круглых лесоматериалов имеет средний диаметр d_{2Cp} , третий ряд — d_{3Cp} и четвёртый ряд — d_{4Cp} . Тогда на основании схемы, представленной на рисунке 2, расчёт высоты плоской сплочной единицы будет осуществляться с использованием теоремы подобия треугольников и теоремы Пифагора.

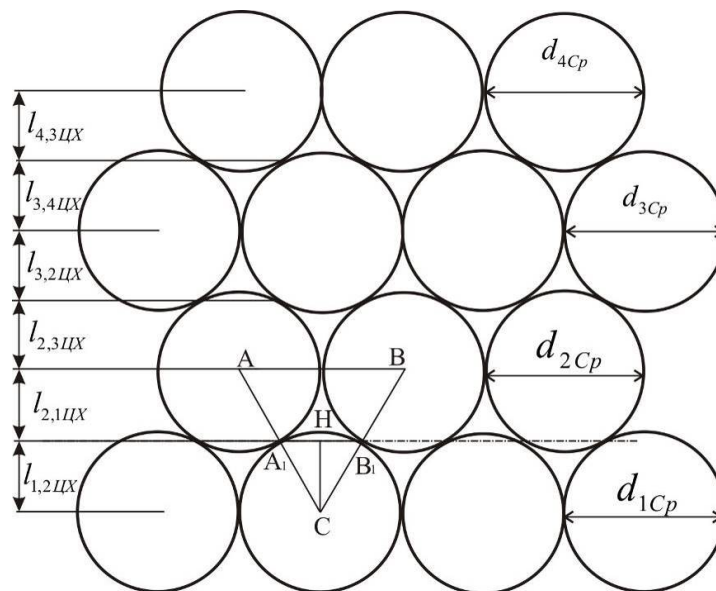


Рисунок 2. Схема для расчёта высоты плоской сплочной единицы

Figure 2. Scheme for calculating the height of a flat flat unit

Из схемы, представленной на рисунке 2, видно, что треугольники ABC и A_1B_1C подобны, откуда прямая AB — это расстояние между центрами круглых лесоматериалов. При этом прямая AB параллельна прямой A_1B_1 , где последняя соединяет точки контакта круглого лесоматериала из первого ряда с двумя круглыми лесоматериалами из второго ряда (см. рисунок 2) и дополнительно является хордой круглого лесоматериала из первого ряда. На основании вышесказанного можно записать следующее равенство:

$$\frac{AB}{A_1B_1} = \frac{BC}{B_1C}. \quad (8)$$

Так как $AB = d_{2Cp}$, $BC = \frac{d_{1Cp} + d_{2Cp}}{2}$ и $B_1C = \frac{d_{1Cp}}{2}$, то, подставив данные зависимости в равенство (8), выразим хорду A_1B_1 через средние диаметры круглых лесоматериалов, в результате чего получим следующую зависимость:

$$A_1B_1 = l_{xop} = \frac{d_{1Cp}d_{2Cp}}{d_{1Cp} + d_{2Cp}}. \quad (9)$$

На основании зависимости (9) и теоремы Пифагора расстояние CH от центра круглого лесоматериала, находящегося в первом ряду, до хорды A_1B_1 , которая является прямой, соединяющей точки контакта круглого лесоматериала из первого ряда с двумя круглыми лесоматериалами из второго ряда, будет рассчитываться следующим образом:

$$CH = l_{1,2ЦХ} = \sqrt{\left(\frac{d_{1Cp}}{2}\right)^2 - \left(\frac{d_{1Cp}d_{2Cp}}{2(d_{1Cp} + d_{2Cp})}\right)^2}. \quad (10)$$

Используя приведённую методику определения расстояния от центра круглого лесоматериала до хорды, получим формулу для расчёта расстояния от центра круглого лесоматериала, находящегося во втором ряду, до прямой (хорды), соединяющей точки контакта круглого лесоматериала из второго ряда с двумя круглыми лесоматериалами из первого ряда:

$$l_{2,1ЦХ} = \sqrt{\left(\frac{d_{2Cp}}{2}\right)^2 - \left(\frac{d_{1Cp}d_{2Cp}}{2(d_{1Cp} + d_{2Cp})}\right)^2}. \quad (11)$$

Аналогично устанавливается расстояние от центра круглого лесоматериала, находящегося во втором ряду, до прямой (хорды), соединяющей точки контакта круглого лесоматериала из второго ряда с двумя круглыми лесоматериалами из третьего ряда:

$$l_{2,3ЦХ} = \sqrt{\left(\frac{d_{2Cp}}{2}\right)^2 - \left(\frac{d_{2Cp}d_{3Cp}}{2(d_{2Cp} + d_{3Cp})}\right)^2}. \quad (12)$$

Расстояние от центра круглого лесоматериала, находящегося в третьем ряду, до прямой (хорды), соединяющей точки контакта круглого лесоматериала из третьего ряда с двумя круглыми лесоматериалами из второго ряда:

$$l_{3,2ЦХ} = \sqrt{\left(\frac{d_{3Cp}}{2}\right)^2 - \left(\frac{d_{2Cp}d_{3Cp}}{2(d_{2Cp} + d_{3Cp})}\right)^2}. \quad (13)$$

Расстояние от центра круглого лесоматериала, находящегося в третьем ряду, до прямой (хорды), соединяющей точки контакта круглого лесоматериала из третьего ряда с двумя круглыми лесоматериалами из четвёртого ряда:

$$l_{3,4ЦХ} = \sqrt{\left(\frac{d_{3Cp}}{2}\right)^2 - \left(\frac{d_{3Cp}d_{4Cp}}{2(d_{3Cp} + d_{4Cp})}\right)^2}. \quad (14)$$

Зависимость для расчёта расстояния от центра круглого лесоматериала, находящегося в четвёртом ряду, до прямой (хорды), соединяющей точки контакта круглого лесоматериала из четвёртого ряда с двумя круглыми лесоматериалами из третьего ряда, имеет вид:

$$l_{4,3ЦХ} = \sqrt{\left(\frac{d_{4Cp}}{2}\right)^2 - \left(\frac{d_{3Cp}d_{4Cp}}{2(d_{3Cp} + d_{4Cp})}\right)^2}. \quad (15)$$

Если в рядах плоской сплочной единицы круглые лесоматериалы имеют одинаковый диаметр в верхнем отрезе, то будут справедливы следующие равенства:

$$d_{Cp} = d_{1Cp} = d_{2Cp} = d_{3Cp} = d_{4Cp}; \quad (16)$$

$$l_{ЦХ} = l_{1,2ЦХ} = l_{2,1ЦХ} = l_{2,3ЦХ} = l_{3,2ЦХ} = l_{3,4ЦХ} = l_{4,3ЦХ}. \quad (17)$$

Максимально допустимая укладка рядов круглых лесоматериалов $n_{B\max}$ в плоской сплочной единице рассчитывается по формуле

$$n_{B\max} = m_{лх} - \left(\frac{m_{лх}}{2} - 1\right), \quad (18)$$

где $m_{лх}$ — расчётное количество расстояний от центра круглого лесоматериала до хорды.

В формуле (18) расчётное количество расстояний от центра круглого лесоматериала до хорды составит:

$$m_{лх} = \frac{H_{ПлСЕ} - d_{Cp}}{l_{ЦХ}}. \quad (19)$$

Полученное по формуле (19) расчётное значение округляется в меньшую сторону до целого числа. Причём если $m_{лх}$ — чётное число, то данное значение используется в зависимости (18) без изменений. В том случае, когда $m_{лх}$ — нечётное число, зависимость (18) примет следующий вид:

$$n_{B\max} = (m_{лх} - 1) - \left(\frac{(m_{лх} - 1)}{2} - 1\right). \quad (20)$$

На основе равенств (16) и (17) и с учётом того, что при расчёте $m_{лх}$ по формуле (19) полученное значение является чётным числом, фактическая высота плоской сплочной единицы будет рассчитываться по формуле

$$H_{ФлСЕ} = d_{Cp} + m_{лх} l_{ЦХ}. \quad (21)$$

Когда $m_{лх}$, рассчитанное по формуле (19), будет нечётным числом, фактическая высота плоской сплочной единицы определяется из выражения

$$H_{ФлСЕ} = d_{Cp} + (m_{лх} - 1) l_{ЦХ}. \quad (22)$$

Обоснование геометрических параметров высокоэффективной плоской сплочной единицы по представленной методике позволит наиболее рационально определить

проектные и фактические габаритные размеры сплочной единицы для определённых условий плавания, которые необходимо использовать при изготовлении данной транспортной единицы.

4. Обсуждение и заключение

Предложенная плоская сплочная единица является высокоэффективной, т. к. имеет простую конструкцию, высокий коэффициент полндревесности из-за того, что каждый круглый лесоматериал верхнего ряда укладывается между двумя круглыми лесоматериалами нижнего ряда и изготавливается в сплочной машине или на грузовой платформе. Данные факторы обеспечивают низкие затраты на изготовление плоской сплочной единицы при максимальном содержании древесины в габаритном объёме.

Предложена методика обоснования геометрических параметров плоской сплочной единицы, которая учитывает конструктивные особенности сплочной единицы, характер укладки круглых лесоматериалов в её рядах, а также минимальную ширину и глубину сплавного хода на эксплуатируемых водных объектах.

Приведённая методика даёт возможность наиболее точно рассчитать проектную (максимально возможную) ширину, длину и высоту плоской сплочной единицы с последующим установлением фактической (рабочей) ширины, длины и высоты сплочной единицы, которые должны использоваться при изготовлении плоской сплочной единицы для конкретных транспортных условий. Таким образом, практическое использование расчётных значений фактической ширины, длины и высоты плоской сплочной единицы даст возможность выполнить экономически выгодный первоначальный и магистральный сплав лесоматериалов на базе разработанной плоской сплочной единицы с максимальным использованием пропускной способности водного пути.

Список литературы

1. *Heinze M., Fiedler H. J.* Water Consumption, Nutrition and Growth of Pine Seedlings under the Conditions of Different Radiation Intensity, Watering and Fertilization // *Flora*. 1980. Vol. 169, is. 1. P. 89—103. DOI: [https://doi.org/10.1016/S0367-2530\(17\)31167-2](https://doi.org/10.1016/S0367-2530(17)31167-2).
2. The Role of Vegetation Management for Enhancing Productivity of the World's Forests / R. G. Wagner, K. M. Little, B. Richardson [et al.] // *Forestry*. 2006. Vol. 79, is. 1. P. 57—79. DOI: <https://doi.org/10.1093/forestry/cpi057>.
3. Thinning Effect on Height and Radial Growth of *Pinus thunbergii* Parlat. Trees with Special Reference to Trunk Slenderness in a Matured Coastal Forest in Hokkaido, Japan / K. Masaka, H. Sato, H. Torita [et al.] // *Journal of Forest Research*. 2013. Vol. 18, is. 6. P. 475—481. DOI: 10.1007/s10310-012-0373-y.
4. Simulated Productivity of One- and Two-Armed Tree Planting Machines / B. T. Ersson, L. Jundén, U. Bergsten [et al.] // *Silva Fennica*. Vol. 47, no. 2, art. 958. DOI: 10.14214/sf.958.
5. Competitiveness of Mechanized Tree Planting in Finland / H. Hallongren, T. Laine, J. Rantala [et al.] // *Scandinavian Journal of Forest Research*. 2014. Vol. 29, is. 2. P. 144—151. DOI: 10.1080/02827581.2014.881542.

6. *Nieuwenhuis M., Egan D.* An Evaluation and Comparison of Mechanised and Manual tree Planting on Afforestation and Reforestation Sites in Ireland // *International Journal of Forest Engineering*. 2002. Vol. 13, is. 2. P. 11—23. DOI: 10.1080/14942119.2002.10702459.
7. *Rantala J., Laine T.* Productivity of the M-Planter Tree-Planting Device in Practice // *Silva Fennica*. 2010. Vol. 5, no. 44. P. 859—869. DOI: 10.14214/sf.125.
8. Factors Affecting the Success of Direct Seeding for Lowland Afforestation in the UK / I. Willoughby, R. L. Jinks, G. Kerr [et al.] // *Forestry*. 2004. Vol. 77, is. 5. P. 467—482. DOI: 10.1093/forestry/77.5.467.
9. Economic Analysis of Stand Establishment for Scots Pine / K. Huuhtinen, S. Ilomäki, A. Mäkelä [et al.] // *Canadian Journal of Forest Research*. 2006. Vol. 36, no. 5. P. 1179—1189. DOI: 10.1139/x06-023.
10. Лесоэксплуатация: Учебник для студ. высш. учеб. заведений / В. И. Пятякин [и др.]. М.: Издательский центр «Академия», 2006. 320 с.
11. *Шелгунов Ю. В., Шейнин Я. Г., Ларионов Л. А.* Лесоэксплуатация. М.: Лесн. пром-сть, 1975. 304 с.
12. *Rukomajnikov K. P., Vedernikov S. V., Gabdrahmanov M. G.* A Method for Delimiting Tree-Trunks and a Device for Applying the Method // *Journal of Applied Engineering Science*. 2018. Vol. 16, no. 2. P. 263—266. DOI: <https://doi.org/10.5937/jaes16-16442>.
13. *Сеннов С. В.* Лесоведение и лесоводство: Учебник для студ. вузов. М.: Издательский центр «Академия», 2005. 256 с.
14. *Овчинников М. М., Полищук В. П., Григорьев Г. В.* Транспорт леса: В 2 т. Т. 2. Лесосплав и судовые перевозки: Учебник для студ. высш. учеб. заведений. М.: Издательский центр «Академия», 2009. 208 с.
15. Транспорт леса: В 2 т. Т. 1. Сухопутный транспорт / Под ред. Э. О. Салминена. М.: Издательский центр «Академия», 2009. 368 с.
16. *Васильев В. В., Афоничев Д. Н.* Усовершенствованные системы плотового сплава лесоматериалов: [монография]. Saarbrücken (Германия): Изд-во LAP LAMBERT Academic Publishing, 2014. 284 с.
17. *Perfiliev P., Zadrauskaite N., Rybak G.* Study of hydrodynamic resistance of a raft composed of the flat rafting units of various draft // *International Multidisciplinary Scientific GeoConference Surveying Geology and Mining Ecology Management, SGEM 18 (1.5)*, Austria, 2018. P. 765—772.
18. Patent 5119529 USA, Int. Cl.5 B63B 35/62. Cable hook / Wire Rope Industries Ltd., PointeClaire, Canada. No. 703,844; filed: 21.05.1991; date application 09.06.1992.
19. Brevet 2882723 FR, Int. Cl.8 B63B 35/00, 3/08, 7/02. Embarcation modulaire pour le transport des grumes par voie d'eau / demandeur Roumengas Jonsa Guy; Mandataire SCHMITT. No. 0502132; la date de la demande 03.03.05; la date de parution 21.10.2005, bulletin 06/36. 14 p.
20. Feasibility study of geometrical parameters of wood transportation roads including prediction of optimum terms of construction and retrofitting sequence / A. V. Skrypnikov, V. G. Kozlov, V. A. Zelikov [et al.] // *Civil Engineering and Architecture*. 2021. No. 9 (6). P. 2077—2083. DOI: 10.13189/cea.2021.090635.
21. A linear model of the forest transport network and an algorithm for assessing the influence of the density of points and the length of links in developing multi-forested areas / V. V. Nikitin, A. V. Skrypnikov, V. G. Kozlov [et al.] // *International Journal of Engineering Trends and Technology*. 2021. No. 69 (12). P. 175—178. DOI: 10.14445/22315381/IJETT-V69I12P220.
22. Algorithm for determining the curvature of the project line of a truck haul road and the rate of change in its curvature / A. O. Borovlev, A. V. Skrypnikov, V. G. Kozlov

- [et al.]// Civil Engineering and Architecture. 2021. No. 9 (5). P. 1582—1589. DOI: 10.13189/CEA.2021.090528.
23. Patent 3556319 USA, Int. Cl. B63b 27/16. Log-bundling apparatus / M. Ray Holden, P. O. Box 716, Ketchikan, Alaska. No. 857,247; filed: 30.06.1969; date application 19.01.1971.
24. Patent 3971309 USA, Int. Cl. B63B 27/16. Log bundling apparatus and method of bundling logs / Wilfred Spry Brodie, P. O. Box 175, Gibsons, British Columbia, VON 1VO, Canada. No. 566,904; filed: 10.04.1975; date application 27.07.1976.
25. Машины и механизмы для лесовозных железных дорог / Ю. Л. Шевченко, В. Н. Еремичев, Д. Ю. Почтарь [и др.]. М.: Гослесбумиздат, 1980. 144 с.
26. Васильев В. В., Афоничев Д. Н. Обоснование показателя гибкости плота из сплоченных единиц // Известия вузов. Лесной журнал. 2022. № 4. С. 146—155. DOI: 10.37482/0536-1036-2022-4-146-155.
27. Васильев В. В. Модернизированный плот для рек с малыми глубинами // Вестник ПГТУ. Серия: Лес. Экология. Природопользование. 2015. № 1. С. 45—58.
28. Васильев В. В., Афоничев Д. Н. Использование плоских сплоченных единиц на первоначальном сплаве лесоматериалов // Известия вузов. Лесной журнал. 2022. № 1. С. 128—142. DOI: 10.37482/0536-1036-2022-1-128-142.
29. Васильев В. В., Афоничев Д. Н. Расчёт прочности гибкого водонепроницаемого материала плоских сплоченных единиц со стабилизированным запасом плавучести // Resources and Technology. 2022. Т. 19, № 2. С. 77—102. DOI: 10.15393/j2.art.2022.6203.
30. Васильев В. В. Расчёт транспортно-эксплуатационных показателей усовершенствованной плоской сплоченной единицы // Resources and Technology. 2022. Т. 19, № 4. С. 1—22. DOI: 10.15393/j2.art.2022.6365.
31. Васильев В. В. Обоснование параметров транспортно-технологической схемы поставки древесины в плоских сплоченных единицах по принципу плот (линейка) — плот // Resources and Technology. 2021. Т. 18, № 2. С. 48—78. DOI: 10.15393/j2.art.2021.5603.
32. Васильев В. В. Транспортно-технологическая схема поставки древесины водным транспортом в плоских сплоченных единицах по принципу плоская сплоченная единица – плот // Арктика: инновационные технологии, кадры, туризм: Материалы междунар. научно-практич. онлайн-конф.; г. Воронеж, 17—19 ноября 2020 г. Воронеж: ФГБОУ ВО «Воронежский государственный лесотехнический университет имени Г. Ф. Морозова», 2020. С. 335—340.
33. Васильев В. В., Аксенов И. И. Транспортно-технологическая схема поставки лесоматериалов потребителям в плоских сплоченных единицах по принципу плоская сплоченная единица — баржа // Наука и образование на современном этапе развития: опыт, проблемы и пути их решения: Материалы междунар. научно-практич. конф. г. Воронеж 24—25 ноября 2020 г. Воронеж: ФГБОУ ВО «Воронежский ГАУ», 2020. С. 30—33.
34. Патент 210485 Р. Ф., МПК В63В 35/62. Плоская сплоченная единица / В. В. Васильев, Д. Н. Афоничев, В. А. Морковин, В. В. Абрамов, Е. В. Поздняков; заявитель и патентообладатель Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Воронежский государственный лесотехнический университет имени Г. Ф. Морозова» (RU). № 2021125409; заявл. 19.10.2020; опубл. 18.04.2022, Бюл. № 11. 5 с.
35. Патент 2777674 Р. Ф., МПК В65В 35/02, В65G 69/20. Плоская сплоченная единица / В. В. Васильев, Д. Н. Афоничев, В. А. Морковин, В. В. Абрамов, Е. В. Поздняков; заявитель и патентообладатель Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Воронежский государственный

- лесотехнический университет имени Г. Ф. Морозова» (RU). № 2021140068; заявл. 30.12.2021; опубл. 08.08.2022, Бюл. № 22. 8 с.
36. Патент 199681 Р. Ф., МПК В65G 69/00, 57/18. Сплоточная машина / В. В. Васильев, Д. Н. Афоничев, В. А. Морковин, Е. В. Поздняков; заявитель и патентообладатель Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Воронежский государственный лесотехнический университет имени Г. Ф. Морозова» (RU). № 2020119839; заявл. 08.06.2020; опубл. 14.09.2020, Бюл. № 26. 5 с.
37. Патент 213802 Р. Ф., МПК В60Р 3/41. Грузовая платформа / В. В. Васильев, Д. Н. Афоничев, А. В. Лощенко; заявитель и патентообладатель Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Воронежский ГАУ» (RU). № 2022123837; заявл. 08.09.2022; опубл. 29.09.2022, Бюл. № 28. 10 с.
38. Патент 2777676 Р. Ф., МПК В65В 35/02. Плоская сплоточная единица / В. В. Васильев, Д. Н. Афоничев, В. А. Морковин, В. В. Абрамов, Е. В. Поздняков; заявитель и патентообладатель Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Воронежский государственный лесотехнический университет имени Г. Ф. Морозова» (RU). № 2021140062; заявл. 30.12.2021; опубл. 08.08.2022, Бюл. № 22. 8 с.

References

1. Heinze M., Fiedler H. J. Water Consumption, Nutrition and Growth of Pine Seedlings under the Conditions of Different Radiation Intensity, Watering and Fertilization. *Flora*, 1980, vol. 169, is. 1, pp. 89—103. doi: [https://doi.org/10.1016/S0367-2530\(17\)31167-2](https://doi.org/10.1016/S0367-2530(17)31167-2).
2. Wagner R. G., Little K. M., Richardson B., McNabb K. The Role of Vegetation Management for Enhancing Productivity of the World's Forests. *Forestry*, 2006, vol. 79, is. 1, pp. 57—79. doi: <https://doi.org/10.1093/forestry/cpi057>.
3. Masaka K., Sato H., Torita H., Kon H., Fukuchi M. Thinning Effect on Height and Radial Growth of *Pinus thunbergii* Parlat. Trees with Special Reference to Trunk Slenderness in a Matured Coastal Forest in Hokkaido, Japan. *Journal of Forest Research*, 2013, vol. 18, is. 6, pp. 475—481. doi: 10.1007/s10310-012-0373-y.
4. Ersson B. T., Jundén L., Bergsten U., Servin M. Simulated Productivity of One- and Two-Armed Tree Planting Machines. *Silva Fennica*, vol. 47, no. 2, art. 958. doi: 10.14214/sf.958.
5. Hallongren H., Laine T., Rantala J., Saarinen V.-M., Strandström M., Hämäläinen J., Poikela A. Competitiveness of Mechanized Tree Planting in Finland. *Scandinavian Journal of Forest Research*, 2014, vol. 29, is. 2, pp. 144—151. doi: 10.1080/02827581.2014.881542.
6. Nieuwenhuis M., Egan D. An Evaluation and Comparison of Mechanised and Manual tree Planting on Afforestation and Reforestation Sites in Ireland. *International Journal of Forest Engineering*, 2002, vol. 13, is. 2, pp. 11—23. doi: 10.1080/14942119.2002.10702459.
7. Rantala J., Laine T. Productivity of the M-Planter Tree-Planting Device in Practice. *Silva Fennica*, 2010, vol. 5, no. 44, pp. 859—869. doi: 10.14214/sf.125.
8. Willoughby I., Jinks R.L., Kerr G., Gosling P. G. Factors Affecting the Success of Direct Seeding for Lowland Afforestation in the UK. *Forestry*, 2004, vol. 77, is. 5, pp. 467—482. doi: 10.1093/forestry/77.5.467.

9. Hyytiäinen K., Ilomäki S., Mäkelä A., Kinnunen K. Economic Analysis of Stand Establishment for Scots Pine. *Canadian Journal of Forest Research*, 2006, vol. 36, no. 5, pp. 1179—1189. doi: 10.1139/x06-023.
10. Patyakin V. I., Salminen E. O., Bit Yu. A., Birman A. R., Avdashkevich S. V., Bessarab G. A., Katsadze V. A., Grigoriev I. V., Kamusin A. A., Shelgunov Yu. V., Yartsev I. V. *Forest exploitation*. Textbook for students. higher. studies. Institutions. Moscow, Publishing center «Academy», 2006. 320 p. (In Russ).
11. Shelgunov Yu. V., Sheinin Ya. G., Larionov L. A. *Forest exploitation*. Moscow, Lesn. prom-st, 1975. 304 p. (In Russ).
12. Rukomojnikov K. P., Vedernikov S. V., Gabdrahmanov M. G. A Method for Delimiting Tree-Trunks and a Device for Applying the Method. *Journal of Applied Engineering Science*, 2018, vol. 16, no. 2, pp. 263—266. doi: <https://doi.org/10.5937/jaes16-16442>.
13. Sennov S. V. *Forestry and forestry*. Textbook for students. Moscow, Publishing Center «Academy», 2005. 256 p. (In Russ).
14. Ovchinnikov M. M., Polishchuk V. P., Grigoriev G. V. *Forest transport. In 2 t. T. 2. Logging and ship transportation*. Textbook for students. higher. studies. Moscow, Publishing Center «Academy», 2009. 208 p. (In Russ).
15. *Forest transport. In 2 t. T. 1. Land transport*. Ed. by E. O. Salminen. Moscow, Publishing Center «Academy», 2009. 368 p. (In Russ.).
16. Vasiliev V. V., Afonichev D. N. *Improved systems of raft timber alloy*: [monograph]. Saarbrücken (Germany), Publishing house LAP LAMBERT Academic Publishing, 2014. 284 p. (In Russ).
17. Perfiliev P., Zadrauskaite N., Rybak G. Study of hydrodynamic resistance of a raft composed of the flat rafting units of various draft. *International Multidisciplinary Scientific GeoConference Surveying Geology and Mining Ecology Management, SGEM 18 (1.5)*. Austria, 2018, pp. 765—772.
18. Wire Rope Industries Ltd., Pointe-Claire, Canada. Patent 5119529 USA, Int. CI.5 B63B 35/62. Cable hook. No. 703,844; filed: 21.05.1991; date application 09.06.1992.
19. Patent 2882723 FR, Int. THIS.8 B63B 35/00, 3/08, 7/02. Modular boat for the transport of logs by water. Applicant Roumengas Jonsa Guy; Agent SCHMITT. No. 0502132; the date of application 03.03.05; the date of publication 21.10.2005, bulletin 06/36. 14 p.
20. Skrypnikov A. V., Kozlov V. G., Zelikov V. A., Tikhomirov P. V., Levushkin D. M., Nikitin V. V., Sokol P. A. Feasibility study of geometrical parameters of wood transportation roads including prediction of optimum terms of construction and retrofitting sequence. *Civil Engineering and Architecture*, 2021, no. 9 (6), pp. 2077—2083. doi: 10.13189/cea.2021.090635.
21. Nikitin V. V., Skrypnikov A. V., Kozlov V. G., Bryukhovetsky A. N., Manukovsky A. Y., Vysotskaya I. A., Sapelkin R. S. A linear model of the forest transport network and an algorithm for assessing the influence of the density of points and the length of links in developing multi-forested areas. *International Journal of Engineering Trends and Technology*, 2021, no. 69 (12), pp. 175—178. doi: 10.14445/22315381/IJETT-V69I12P220.
22. Borovlev A. O., Skrypnikov A. V., Kozlov V. G., Teterleva E. V., Burmistrov V. A., Mikheevskaya M. A., Chemshikova Y. M. Algorithm for determining the curvature of the project line of a truck haul road and the rate of change in its curvature. *Civil Engineering and Architecture*, 2021, no. 9 (5), pp. 1582—1589. doi: 10.13189/CEA.2021.090528.
23. Ray Holden M., P. O. Box 716, Ketchikan, Alaska. Patent 3556319 USA, Int. CI. B63b 27/16. Log-bundling apparatus. No. 857, 247; filed: 30.06.1969; date application 19.01.1971.

24. Wilfred Spry Brodie, P. O. Box 175, Gibsons, British Columbia, VON 1VO, Canada. Patent 3971309 USA, Int. Cl.2 B 63 B 27/16. Log bundling apparatus and method of bundling logs. No. 566,904; filed: 10.04.1975; date application 27.07.1976.
25. Shevchenko Y. L., Eremichev V. N., Pochtar D. Yu., Syundyukov H. H. *Machines and mechanisms for logging railways*. Moscow, Goslesbumizdat, 1980. 144 p. (In Russ.).
26. Vasiliev V. V., Afonichev D. N. Substantiation of the indicator of the flexibility of a raft of raft units. *Izvestiy vuzov. Lesnoi zhurnal*, 2022, no. 4, pp. 146—155. doi: 10.37482/0536-1036-2022-4-146-155. (In Russ.).
27. Vasiliev V. V. Modernized raft for rivers with shallow depths. *Vestnik PSTU. Series: Forest Ecology. Environmental management PSTU*, 2015, no. 1, pp. 45—58. (In Russ.).
28. Vasiliev V. V., Afonichev D. N. The use of flat splice units on the initial timber alloy. *Izvestiy vuzov. Lesnoi zhurnal*, 2022, no. 1, pp. 128—142. doi: 10.37482/0536-1036-2022-1-128-142. (In Russ.).
29. Vasiliev V. V., Afonichev D. N. Calculation of the strength of a flexible waterproof material of flat flat units with a stabilized buoyancy reserve. *Resources and Technology*, 2022, vol. 19, no. 2, pp. 77—102. doi: 10.15393/j2.art.2022.6203. (In Russ.).
30. Vasiliev V. V. Calculation of transport and operational indicators of an improved flat-flow unit. *Resources and Technology*, 2022, vol. 19, no. 4, pp. 1—22. doi: 10.15393/j2.art.2022.6365. (In Russ.).
31. Vasiliev V. V. Substantiation of the parameters of the transport and technological scheme for the supply of wood in flat raft units according to the raft (ruler) — raft principle. *Resources and Technology*, 2021, vol. 18, no. 2, pp. 48—78. doi: 10.15393/j2.art.2021.5603. (In Russ.).
32. Vasiliev V. V. Transport and technological scheme of wood supply by water transport in flat-flow units according to the principle of flat-flow unit — raft. *Arctic: innovative technologies, personnel, tourism: materials of international scientific practice. Online conferences. Voronezh, November 17—19, 2020*. Voronezh, Voronezh State Forestry University named after G. F. Morozov, 2020, pp. 335—340. (In Russ.).
33. Vasiliev V. V., Aksenov I. I. Transport and technological scheme of timber supply to consumers in flat-flow units according to the principle of flat-flow unit — barge. *Science and education at the present stage of development: experience, problems and solutions: materials of the international scientific and practical conference. Voronezh 24—25 November 2020*. Voronezh, Voronezh State Agrarian University, 2020, pp. 30—33. (In Russ.).
34. Vasiliev V. V., Afonichev D. N., Morkovin V. A., Abramov V. V., Pozdnyakov E. V. Patent 210485 R. F., IPC B63B 35/62. Flat splice unit. Applicant and patent holder Federal State Budgetary Educational Institution of Higher Education «Voronezh State Forestry University named after G. F. Morozov» (RU). No. 2021125409; application 19.10.2020; publ. 18.04.2022, Byul. No. 11. 5 p. (In Russ.).
35. Vasiliev V. V., Afonichev D. N., Morkovin V. A., Abramov V. V., Pozdnyakov E. V. Patent 2777674 R. F., IPC B65B 35/02, B65G 69/20. Flat splice unit. Applicant and patent holder Federal State Budgetary Educational Institution of Higher Education «Voronezh State Forestry University named after G.F. Morozov» (RU). No. 2021140068; application 30.12.2021; publ. 08.08.2022, Byul. No. 22. 8 p. (In Russ.).
36. Vasiliev V. V., Afonichev D. N., Morkovin V. A., Pozdnyakov E. V. Patent 199681 R. F., IPC B65G 69/00, 57/18. The Splotch machine. Applicant and patent holder Federal State Budgetary Educational Institution of Higher Education «Voronezh State Forestry University named after G. F. Morozov» (RU). No. 2020119839; application. 08.06.2020; publ. 14.09.2020, Byul. No. 26. 5 p. (In Russ.).

37. Vasiliev V. V., Afonichev D. N., Loschenko A. V. Patent 213802 R. F., IPC B60P 3/41. Cargo platform. Applicant and patent holder Federal State Budgetary Educational Institution of Higher Education «Voronezh State Agrarian University» (RU). No. 2022123837; application 08.09.2022; publ. 29.09.2022, Byul. No. 28.10 p. (In Russ.).
38. Vasiliev V. V., Afonichev D. N., Morkovin V. A., Abramov V. V., Pozdnyakov E. V. Patent 2777676 R. F., IPC B65B 35/02. Flat splice unit. Applicant and patent holder Federal State Budgetary Educational Institution of Higher Education «Voronezh State Forestry Engineering University named after G. F. Morozov» (RU). No. 2021140062; application 30.12.2021; publ. 08.08.2022, Byul. No. 22. 8 p. (In Russ.).

© Васильев В. В., Афоничев Д. Н., 2023