

DOI: 10.15393/j2.art.2022.6365

УДК 630*378.33

Статья

Расчёт транспортно-эксплуатационных показателей усовершенствованной плоской сплотовой единицы

Васильев Владимир Викторович

кандидат технических наук, Филиал АО «УК ЭФКО» в г. Алексеевке (Российская Федерация), vasiliev.vladimir87@mail.ru

Получена: 26 апреля 2022 / Принята: 17 октября 2022 / Опубликовано: 8 ноября 2022

Аннотация: Реализация транспортировки древесины по водным объектам Российской Федерации специализированными транспортно-технологическими схемами, функционирующими на базе плоских сплотовых единиц, требует совершенствования данных сплотовых единиц по направлению сокращения затрат на их изготовление. Рассмотрена усовершенствованная плоская сплотовая единица, приспособленная к сплотке в специальной сплотовой машине. Конструктивной особенностью сплотовой единицы является соединение гибкими связями рядов круглых лесоматериалов, уложенных перпендикулярно друг другу, с обязательной фиксацией между собой крайних круглых лесоматериалов первого (нижнего) и третьего рядов, а также второго и четвертого рядов с помощью скоб. Это даёт возможность снизить затраты на изготовление плоской сплотовой единицы с обеспечением высокой жёсткости, а следовательно, и волноустойчивости конструкции. Для осуществления планирования сплава древесины в плоских сплотовых единицах и обеспечения дальнейшего безопасного выполнения сплавных работ предложена методика расчёта основных транспортно-эксплуатационных показателей усовершенствованной сплотовой единицы. В приведённой методике представлен расчёт габаритных размеров сплотовой единицы, объёма содержания в ней древесины, коэффициента полндревесности, коэффициента запаса плавучести, осадки, волноустойчивости, жёсткости, прочности, расхода сплотового такелажа. Каждый из этих показателей рассчитывается с учётом конструктивных особенностей усовершенствованной плоской сплотовой единицы, габаритов сплавного хода, размера используемых круглых лесоматериалов, плотности сплаваемой древесины и всех внешних сил, действующих на сплотовую единицу при её эксплуатации. Приведённые показатели обеспечивают плоскую сплотовую единицу определёнными характеристиками, на основании которых

осуществляется первоначальное планирование транспортировки лесоматериалов по водным объектам и рассчитывается эффективность сплава древесины на базе усовершенствованной плоской сплочной единицы. Выполнение сплава древесины на базе рассмотренной усовершенствованной плоской сплочной единицы с предварительным расчётом её основных транспортно-эксплуатационных показателей по представленной методике даст возможность ввести в эксплуатацию малые и средние реки, обеспечив этим выполнение полного цикла поставок древесины потребителям водным транспортом.

Ключевые слова: круглые лесоматериалы; плоская сплочная единица; габаритные размеры; объём; коэффициент полндревесности; коэффициент запаса плавучести; осадка; волноустойчивость; жёсткость; прочность; расход сплочного такелажа

DOI: 10.15393/j2.art.2022.6365

Article

Calculation of transportation and operation indicators of an improved flat raft unit

Vladimir Vasiliev

*Ph. D. in engineering, Branch of JSC «UK EFKO» in Alekseevka
(Russian Federation), vasiliev.vladimir87@mail.ru*

Received: 26 April 2022 / Accepted: 17 October 2022 / Published: 8 November 2022

Abstract: The implementation of the transportation of wood through the water bodies of the Russian Federation by specialized transport and technological schemes operating on the basis of flat units requires reducing the cost of their manufacture. An improved flat raft unit manufactured in a special bundling machine is considered. A proposed flat raft design features the connection of round timber rows laid perpendicular to each other with flexible links. The extreme logs of the first (lower) and third rows, as well as the second and fourth rows must be fastened with clamps. This allows reducing the cost of manufacturing a flat raft unit with high rigidity, and consequently, the raft wave resistance of the structure. The authors propose a method for calculating the main transport and operational indicators of an improved raft unit that will ensure water logging planning in flat raft units and its safe practicing. They present the calculation of the overall dimensions of the flat raft unit, its wood content volume, stacking factor, buoyancy coefficient, coefficients of draft, wave resistance, stiffness, strength, and floating implements expenditure. Each of these indicators is calculated taking into account the design features of the improved flat raft unit, its external dimensions, the size of the round timber used, floating wood density and all external forces acting on the raft unit during its operation. These indicators allow the initial planning of timber transportation through water bodies and the efficiency of wood rafting is calculated on the basis of an improved flat raft unit. Wood rafting based on the proposed improved flat raft unit with a preliminary calculation of its main transportation and operation indicators according to the presented methodology will make it possible to put small and medium-sized rivers into operation, thereby ensuring the implementation of a full cycle of wood supplies to consumers by water transportation.

Keywords: round timber; flat raft unit; overall dimensions; volume; full-wood ratio; buoyancy reserve coefficient; draft; wave resistance; stiffness; strength; floating implements expenditure

1. Введение

Современное развитие водного транспорта лесоматериалов на территории Российской Федерации должно осуществляться на опыте проведения сплавных работ, как на территории страны, так и за рубежом, с учётом всех требований [1], [2], предъявляемых при эксплуатации различных видов водных объектов. Многолетний опыт проведения сплавных работ показал [2—11], что на первоначальном сплаве древесины рационально использовать различного рода сплоточные единицы, обладающие малой осадкой и высоким содержанием древесины, которые способны транспортироваться самостоятельно, т. е. самосплавом, или в составе плота. Такими лесотранспортными единицами являются плоские сплоточные единицы. На магистральном сплаве древесины целесообразно осуществлять сплав лесоматериалов [2], [5], [7—9], [12—23] в крупногабаритных плотах или выполнять транспортировку лесоматериалов на баржах и судах. При этом первоначальный и магистральный сплав древесины строго должен осуществляться посредством транспортно-технологических схем, разработанных с учётом особенностей используемых сплоточных единиц.

Для выполнения транспортировки древесины на базе плоских сплоточных единиц были разработаны современные специализированные транспортно-технологические схемы [24—28], которые предусматривают все особенности транспортировки лесоматериалов не только на малых и средних реках, но и на больших и крупных водных объектах. Каждая транспортно-технологическая схема включает определённый вариант сплава лесоматериалов на первоначальном сплаве древесины. Первый вариант — это сплав лесоматериалов в плоских сплоточных единицах по несудоходным рекам самосплавом, до переформировочного или погрузочного рейда. Второй вариант — это сплав лесоматериалов в линейках, сформированных из плоских сплоточных единиц, по судоходным рекам за тягой буксировщика, до переформировочного рейда. В каждом варианте предусматривается обязательное использование плоских сплоточных единиц, конструкции которых приспособлены к машинной сборке и разборке.

Проведённый анализ всех существующих плоских сплоточных единиц показал [29], что данные сплоточные единицы имеют общий недостаток — конструктивные особенности этих сплоточных единиц не позволяют осуществлять их изготовление в сплоточных машинах. Приведённый фактор препятствует применению разработанных транспортно-технологических схем как базовых на водном транспорте древесины. В результате этого внедрение транспортно-технологических схем, функционирующих на базе плоских сплоточных единиц, ограничено и требует совершенствования существующих плоских сплоточных единиц в плане их приспособленности к изготовлению в сплоточных машинах. На основании вышесказанного определена цель работы: усовершенствовать конструкцию плоской сплоточной единицы для обеспечения возможности машинной сборки, а также

разработать методику расчёта основных транспортно-эксплуатационных показателей данной сплочной единицы.

2. Материалы и методы

На базе прототипа — плоской сплочной единицы, выполненной по типу безбабочной клетки, разработана усовершенствованная плоская сплочная единица, представленная на рисунке 1 [30], которая содержит ряды 1—4 круглых лесоматериалов, уложенных в разнокомелицу, причём круглые лесоматериалы второго 2 и четвёртого 4 рядов уложены перпендикулярно лесоматериалам первого (нижнего) 1 и третьего 3 рядов. Первый 1 и третий 3 ряды круглых лесоматериалов соединены между собой гибкими связями 5, второй 2 и четвёртый 4 ряды круглых лесоматериалов соединены между собой гибкими связями 6, расположенными перпендикулярно гибким связям 5, соединяющим первый 1 и третий 3 ряды круглых лесоматериалов. Гибкие связи 5 оснащены соединительными устройствами 7, а гибкие связи 6 — соединительными устройствами 8.

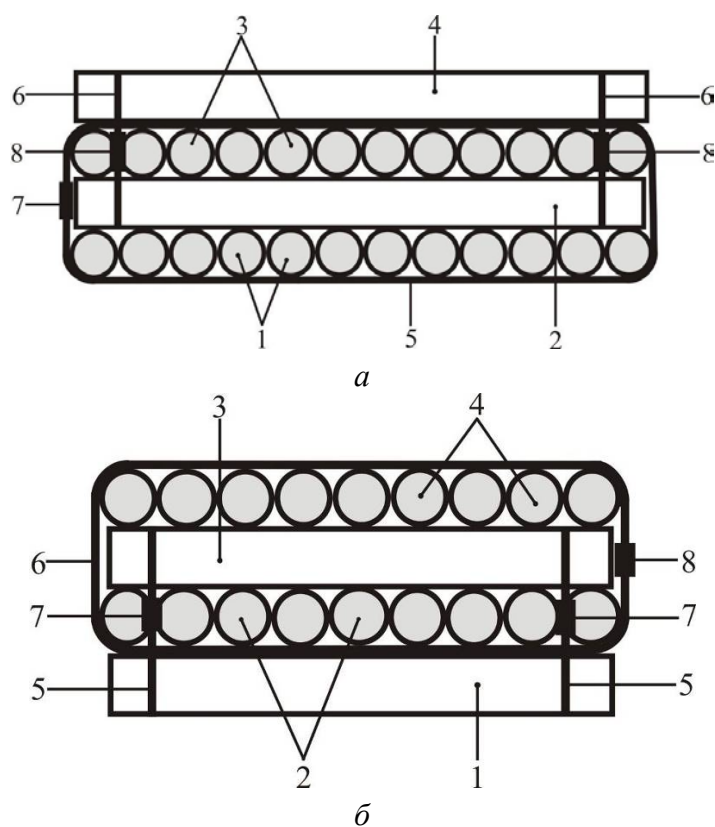


Рисунок 1. Усовершенствованная плоская сплочная единица [30]: *a* — вид спереди; *б* — вид сбоку

Figure 1. Improved flat raft unit [30]: (a) front view; (b) side view

Для повышения жёсткости, а следовательно, и волноустойчивости плоской сплочной единицы, изображённой на рисунке 1, была проведена модернизация данной сплочной единицы, в результате этого получена новая конструкция усовершенствованной плоской сплочной единицы, которая приведена на рисунке 2.

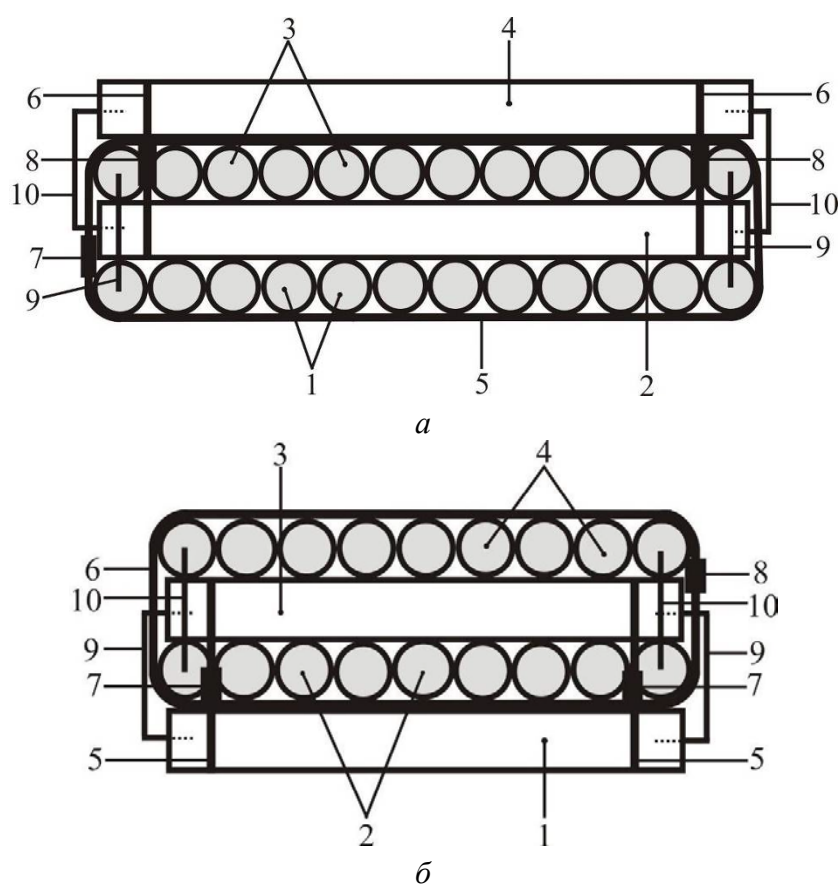


Рисунок 2. Усовершенствованная плоская сплочная единица: *a* — вид спереди; *б* — вид сбоку

Figure 2. Improved flat raft unit: (a) front view; (b) side view

Усовершенствованная плоская сплочная единица включает ряды 1—4 круглых лесоматериалов, уложенных в разнокомелицу, причём круглые лесоматериалы второго 2 и четвёртого 4 рядов уложены перпендикулярно лесоматериалам первого (нижнего) 1 и третьего 3 рядов. Первый 1 и третий 3 ряды круглых лесоматериалов соединены между собой гибкими связями 5, второй 2 и четвёртый 4 ряды круглых лесоматериалов соединены между собой гибкими связями 6, расположенными перпендикулярно гибким связям 5, соединяющим первый 1 и третий 3 ряды круглых лесоматериалов. Гибкие связи 5 оснащены соединительными устройствами 7, а гибкие связи 6 — соединительными устройствами 8. Крайние круглые лесоматериалы первого (нижнего) 1 и третьего 3 рядов соединены между

собой скобами 9, а крайние круглые лесоматериалы второго 2 и четвертого 4 рядов соединены между собой с помощью скоб 10.

Конструктивные особенности плоской сплочной единицы, изображённой на рисунке 2, позволяют осуществлять её изготовление в специальных сплочных машинах с минимальными трудовыми и финансовыми затратами. При этом практическая эксплуатация данной сплочной единицы требует от конструкции не только обеспечения высокой жёсткости и волноустойчивости, но и другие ключевые транспортно-эксплуатационные показатели, которые будут обеспечивать безаварийную транспортировку лесоматериалов в рассматриваемой сплочной единице.

Обоснование методики расчёта основных транспортно-эксплуатационных показателей усовершенствованной плоской сплочной единицы основывается на методах теоретического исследования.

3. Результаты

Основными транспортно-эксплуатационными показателями плоской сплочной единицы, представленной на рисунке 2, являются: габаритные размеры, объём содержания древесины, коэффициент полндревесности, коэффициент запаса плавучести, осадка, волноустойчивость, жёсткость, прочность и расход сплочного такелажа. Каждый из приведённых показателей обеспечивает плоской сплочной единице определённый уровень надёжности при сплаве данной сплочной единицы самосплавом или в составе плота, а также при перемещении её на береговых складах, на переформировочных и погрузочных рейдах и рейдах приплава.

Габаритные размеры плоской сплочной единицы определяются тремя показателями, а именно: длиной $L_{ПСЕ}$, шириной $B_{ПСЕ}$ и высотой $H_{ПСЕ}$. Длина плоской сплочной единицы $L_{ПСЕ}$ будет равна длине круглых лесоматериалов, уложенных в первом (нижнем) 1 ряду или третьем 3 ряду. В свою очередь, ширина плоской сплочной единицы $B_{ПСЕ}$ регламентируется двумя условиями. Если плоская сплочная единица сплавляется самосплавом, то её ширина будет равна:

$$B_{ПСЕ} = \sqrt{(b_{\min,ЛХ} - C_{Ш})^2 - L_{ПСЕ}^2}, \quad (1)$$

где $b_{\min,ЛХ}$ — минимальная ширина сплавного хода, м; $C_{Ш}$ — запас для безопасного сплава сплочных единиц, равный 2—3 м [16].

При условии сплава плоской сплочной единицы в составе плота её ширина $B_{ПСЕ}$ будет определяться транспортно-эксплуатационными показателями (габаритные размеры) малогабаритных плотов (линеек), предназначенных для сплава по малым и средним рекам. Также ширина сплочной единицы может устанавливаться произвольно, но она не должна превышать расчётную максимально допустимую ширину линейки, определяемую для рассматриваемого водного объекта.

Высоту плоской сплottedной единицы $H_{ПСЕ}$ рекомендуется [17] определять из выражения

$$H_{ПСЕ} = \frac{T_{ПСЕ} \rho_B}{\rho_D} = \frac{T_{ПСЕ} \rho_B}{\rho_{ППК} k_{ПП} + \rho_{ОПК} k_{ОП}}, \quad (2)$$

где $T_{ПСЕ}$ — допустимая осадка плоской сплottedной единицы, м; ρ_B — плотность воды, кг/м³; ρ_D — плотность древесины, кг/м³; $\rho_{ППК}$ — плотность лесоматериалов повышенной плавучести, кг/м³; $k_{ПП}$ — коэффициент учёта процентного соотношения древесины повышенной плавучести в сплottedной единице; $\rho_{ОПК}$ — плотность лесоматериалов ограниченной плавучести, кг/м³; $k_{ОП}$ — коэффициент учёта процентного соотношения древесины ограниченной плавучести в сплottedной единице.

При этом допустимая осадка плоской сплottedной единицы определяется из выражения [16]

$$T_{ПСЕ} = h_{\min.ЛХ} - Z_D, \quad (3)$$

где $h_{\min.ЛХ}$ — минимальная глубина сплавного хода, м; Z_D — донный запас, равный 0,2—0,3 м [16].

Так как наиболее правильно выполнять укладку рядов круглых лесоматериалов таким образом, чтобы в каждом ряду присутствовали сортименты одинакового диаметра в верхнем отрезе, то высоту плоской сплottedной единицы наиболее точно можно определить следующим образом:

$$H_{ПСЕ} = \sum_{i=1}^n d_{iC}, \quad (4)$$

где d_{iC} — диаметр в нижнем отрезе применяемого сортимента i -го ряда, м.

Используя выражения (2)—(4), можно определить количество укладываемых рядов круглых лесоматериалов с определённым диаметром и плотностью древесины в плоскую сплottedную единицу, чтобы обеспечить безопасное выполнение сплавных работ.

Объём плоской сплottedной единицы определяется из выражения

$$V_{ПСЕ} = L_{ПСЕ} B_{ПСЕ} H_{ПСЕ} K_{ППСЕ}, \quad (5)$$

где $K_{ППСЕ}$ — коэффициент полнодревесности плоской сплottedной единицы.

Анализируя выражение (5), можно сделать однозначный вывод, что объём плоской сплottedной единицы зависит не только от её габаритных размеров, но и от коэффициента полнодревесности.

Коэффициент полнодревесности определяется по формуле

$$K_{ППСЕ} = \frac{V_{ДПСЕ}}{V_{ГПСЕ}}, \quad (6)$$

где $V_{ДПСЕ}$ — объём древесины в плоской сплottedной единице, м³; $V_{ГПСЕ}$ — геометрический объём плоской сплottedной единицы, м³.

Объём древесины в плоской сплottedной единице равен:

$$V_{\text{ДПСЕ}} = \sum_{i=1}^n V_{iC}, \quad (7)$$

где V_{iC} — объём i -го сорта в плоской сплottedной единице, м³.

Геометрический объём плоской сплottedной единицы составит:

$$V_{\text{ГПСЕ}} = L_{\text{ПСЕ}} B_{\text{ПСЕ}} H_{\text{ПСЕ}}. \quad (8)$$

Из выражений (6)—(8) видно, что чем больше древесины в плоской сплottedной единице, тем больше коэффициент полндревесности. При этом коэффициент полндревесности не может быть больше единицы, т. е. $K_{\text{ПСЕ}} \leq 1$, в практических условиях он определяется экспериментальным путём.

Коэффициент запаса плавучести определяет ряд показателей, основным из которых является продолжительность нахождения плоской сплottedной единицы на плаву. Данный показатель является основным при установлении наиболее оптимальной начальной средневзвешенной плотности плоской сплottedной единицы перед спуском её на воду, чтобы она оставалась на плаву на всём протяжении запланированной транспортировки. Таким образом, согласно исследованию [2], коэффициент запаса плавучести $K_{\text{ЗП}}$ составляет:

$$K_{\text{ЗП}} = 1 - \frac{\rho_{\text{СВПСЕ}}}{\rho_{\text{В}}}, \quad (9)$$

где $\rho_{\text{СВПСЕ}}$ — средневзвешенная плотность плоской сплottedной единицы, кг/м³.

Используя методику определения коэффициента запаса плавучести, приведённую в источнике [2], которая учитывает вес плоской сплottedной единицы и архимедову силу, получим коэффициент запаса плавучести сплottedной единицы после спуска её на воду, т. е. в первоначальный момент времени. Конечная формула расчёта коэффициента запаса плавучести плоской сплottedной единицы будет иметь следующий вид:

$$K_{\text{ЗП}} = 1 - \frac{V_{\text{ППК}} \rho_{\text{ППК}} + V_{\text{ОПК}} \rho_{\text{ОПК}} + m_{\text{СТ}}}{V_{\text{ОПСЕ}} \rho_{\text{В}}}, \quad (10)$$

где $V_{\text{ППК}}$ — объём лесоматериалов повышенной плавучести с учётом коры, м³; $V_{\text{ОПК}}$ — объём лесоматериалов ограниченной плавучести с учётом коры, м³; $m_{\text{СТ}}$ — масса сплottedного такелажа, кг; $V_{\text{ОПСЕ}}$ — общий объём плоской сплottedной единицы, включающий объём древесины и коры круглых лесоматериалов повышенной плавучести и ограниченной плавучести, а также объём сплottedного такелажа, м³.

Так как с течением времени древесина, находящаяся в плоской сплottedной единице, при контакте с водой будет увеличивать свою плотность, то коэффициент запаса плавучести будет уменьшаться. На основании сказанного и с учётом данных, приведённых в работе [2], коэффициент запаса плавучести плоской сплottedной единицы в конкретный период времени рассчитывается по формуле

$$K_{3П} = 1 - \frac{V_{ППК}(\rho_{ППК} + b_{ПСИП}t_H) + V_{ОПК}(\rho_{ОПК} + b_{ОСИП}t_H) + m_{СТ}}{V_{ОПСЕ}\rho_B}, \quad (11)$$

где $b_{ПСИП}$ — средняя интенсивность поглощения жидкости лесоматериалами повышенной плавучести, кг/(м³·сутки); $b_{ОСИП}$ — средняя интенсивность поглощения жидкости лесоматериалами ограниченной плавучести, кг/(м³·сутки); t_H — время намокания, сут.

Учитывая зависимость (11) и методику определения осадки плоских сплottedных единиц, которая приведена в работах [2], [8—10], [11], запишем формулу расчёта осадки плоской сплottedной единицы в конкретный период времени:

$$T_{ПСЕ} = \frac{V_{ППК}(\rho_{ППК} + b_{ПСИП}t_H) + V_{ОПК}(\rho_{ОПК} + b_{ОСИП}t_H) + m_{СТ}}{L_{ПСЕ}B_{ПСЕ}\rho_B K_{ППСЕ}}. \quad (12)$$

Если плоская сплottedная единица собирается только из круглых лесоматериалов одинаковой плотности, то равенство (12) запишется следующим образом:

$$T_{ПСЕ} = \frac{V_{ДПСЕ}(\rho_{ДПСЕ} + b_{ДПСЕ}t_H) + m_{СТ}}{L_{ПСЕ}B_{ПСЕ}\rho_B K_{ППСЕ}}, \quad (13)$$

где $V_{ДПСЕ}$ — общий объём древесины с корой в плоской сплottedной единице, м³; $\rho_{ДПСЕ}$ — средняя плотность древесины в плоской сплottedной единице, кг/м³; $b_{ДПСЕ}$ — средняя интенсивность поглощения жидкости древесиной в плоской сплottedной единице, кг/(м³/сут.).

Преобразуем зависимость (13), выразим максимальное время намокания плоской сплottedной единицы до момента потери плавучести, т. е. максимальное время нахождения лесотранспортной единицы в воде:

$$t_{H \max} = \frac{T_{ПСЕ}L_{ПСЕ}B_{ПСЕ}\rho_B K_{ППСЕ} - V_{ДПСЕ}\rho_{ДПСЕ} - m_{СТ}}{V_{ДПСЕ}b_{ДПСЕ}}. \quad (14)$$

Волноустойчивость — это способность плоской сплottedной единицы противостоять выплыванию отдельных круглых лесоматериалов или разрушению при транспортировке на волнении. Также волноустойчивость плоской сплottedной единицы обуславливается жёсткостью конструкции. Волноустойчивость рассматриваемой плоской сплottedной единицы зависит от трёх условий, а именно: от плотности укладки в рядах круглых лесоматериалов, силы прижатия рядов друг к другу при натягивании и соединении обвязок, а также от качества крепления между собой крайних круглых лесоматериалов в рядах. Таким образом, для обеспечения волноустойчивости сплottedной единицы необходимо укладывать круглые лесоматериалы в разнокомлицу с одинаковым диаметром в верхнем отрезе или с допустимым диапазоном варьирования диаметра круглых лесоматериалов, который устанавливается экспериментальным путём. При этом прижатие рядов друг к другу обязательно выполняется в специализированной сплottedной машине, разработанной для

сплотки рассматриваемой сплочной единицы. Соединение между собой крайних круглых лесоматериалов первого (нижнего) 1 и третьего 3 рядов и крайних круглых лесоматериалов второго 2 и четвёртого 4 рядов необходимо осуществлять с помощью скоб оптимального поперечного сечения, которые забиваются в торцы соединяющихся лесоматериалов. В качестве скоб могут использоваться брус или железная пластина, которые закрепляются к торцам лесоматериалов гвоздями или саморезами.

Прочность плоской сплочной единицы зависит от прочности используемого сплочного такелажа, т. е. от прочности гибких связей. Определяем, что расчёт на прочность гибких связей будет осуществляться при возникновении в них продольной растягивающей силы. При этом все изгибающие моменты, возникающие в сплочном такелаже, а также растягивающую силу из-за собственного веса, выразим через коэффициент $k_{ПГС}$. Так как планируется поднимать и опускать сплочную единицу при спуске её на воду и выгрузке из воды, а также при транспортировке за гибкие связи, то сила растяжения, действующая на сплочный такелаж $P_{СРСТ}$, будет складываться из силы распора, т. е. из веса сплочной единицы $G_{ПСЕ}$. На основании вышесказанного и с учётом основных условий прочности [31—40], которые справедливы для всех видов материала, запишем условие прочности гибких связей

$$\sigma_{\max ГС} = \frac{N_{\max ГС}}{F_{ГС}} \leq [\sigma_P], \quad (15)$$

где $\sigma_{\max ГС}$ — максимальное напряжение, возникающее в поперечном сечении гибкой связи, Па; $N_{\max ГС}$ — максимальная продольная растягивающая сила, возникающая в поперечном сечении гибкой связи, Н; $F_{ГС}$ — площадь поперечного сечения гибкой связи, м²; $[\sigma_P]$ — допускаемое напряжение при растяжении, Па.

Площадь поперечного сечения гибкой связи $F_{ГС}$ из условия (15) равна:

$$F_{ГС} = \frac{N_{\max ГС}}{[\sigma_P]}. \quad (16)$$

В зависимости (16) допустимое напряжение при растяжении $[\sigma_P]$ для гибких связей рассчитывается по формуле

$$[\sigma_P] = \frac{\sigma_{P_{\text{прд}}}}{[k_{ЗПР}]k_{ПГС}}, \quad (17)$$

где $\sigma_{P_{\text{прд}}}$ — предельно допускаемое напряжение при растяжении, Па; $[k_{ЗПР}]$ — коэффициент запаса прочности при растяжении; $k_{ПГС}$ — понижающий коэффициент для гибкой связи.

Для данных условий коэффициент запаса прочности $[k_{ЗПР}]$ для проволоки следует принимать 3 [16]. Понижающий коэффициент $k_{ПГС}$ для гибкой связи данной плоской сплочной единицы устанавливается 1,5—2,0.

Максимальная продольная растягивающая сила $N_{\max GC}$ рассчитывается по формуле

$$N_{\max GC} = P_{CPCT} = 0,5G_{ПСЕ}. \quad (18)$$

В равенстве (18) вес плоской сплottedной единице равен:

$$G_{ПСЕ} = g (V_{ППК} \rho_{ППК} + V_{ОПК} \rho_{ОПК} + m_{СТ}), \quad (19)$$

где g — ускорение свободного падения, м/с²; $V_{ППК}$ — объём лесоматериалов повышенной плавучести с учётом коры, м³; $\rho_{ППК}$ — плотность лесоматериалов повышенной плавучести, кг/м³; $V_{ОПК}$ — объём лесоматериалов ограниченной плавучести с учётом коры, м³; $\rho_{ОПК}$ — плотность лесоматериалов ограниченной плавучести, кг/м³; $m_{СТ}$ — масса сплottedного такелажа, кг.

Так как гибкая связь может представлять собой трос единой структуры, т. е. трос из одной проволоки, стальные проволочные канаты или тросы и канаты, изготовленные из полимерных материалов [41], то расчёт площади поперечного сечения гибкой связи, с учётом рекомендаций работы [42], выполняется по формуле

$$F_{GC} = z_{ПГС} \frac{\pi d_{ПГС}^2}{4}, \quad (20)$$

где $z_{ПГС}$ — число проволоки в гибкой связи; π — число пи, постоянное, приблизительно равно 3,14; $d_{ПГС}$ — диаметр одной проволоки в гибкой связи, м.

В зависимости (20) диаметр одной проволоки в гибкой связи $d_{ПГС}$ будет равен диаметру гибкой связи d_{GC} , тогда когда гибкая связь будет представлять единую структуру в поперечном сечении, т. е. состоять, например, из одной проволоки с отсутствием пустот в поперечном сечении.

Подставив зависимости (18)—(20) в равенство (17), при этом сделав ряд преобразований, выразим минимальный допустимый диаметр проволоки в гибкой связи, который будет равен:

$$d_{\min ПГС} = \sqrt{\frac{2[k_{ЗПР}]k_{ПГС}G_{ПСЕ}}{\pi z_{ПГС}\sigma_{Ппрд}}}. \quad (21)$$

Из равенства (21) минимальный допустимый диаметр гибкой связи составит:

$$d_{\min GC} = \sqrt{\frac{2[k_{ЗПР}]k_{ПГС}G_{ПСЕ}}{\pi\sigma_{Ппрд}}}. \quad (22)$$

Зависимости (21) и (22) справедливы для гибкой связи, которая соединяет между собой второй и четвёртый ряды круглых лесоматериалов, т. к. при поднятии плоской сплottedной единицы она воспринимает основную нагрузку от её веса. В свою очередь, гибкая связь, соединяющая первый и третий ряды круглых лесоматериалов, при поднятии сплottedной единицы будет воспринимать нагрузку только от веса первого (нижнего) ряда круглых

лесоматериалов. Таким образом, минимальный допустимый диаметр проволоки в гибкой связи и минимальный допустимый диаметр гибкой связи рассчитываются соответственно по формулам:

$$d_{\min ПГС} = \sqrt{\frac{2[k_{зПР}]k_{ПГС}G_{РКЛ}}{\pi z_{ПГС}\sigma_{Рнр\delta}}}, \quad (23)$$

$$d_{\min ПГС} = \sqrt{\frac{2[k_{зПР}]k_{ПГС}G_{РКЛ}}{\pi\sigma_{Рнр\delta}}}, \quad (24)$$

где $G_{РКЛ}$ — вес первого (нижнего) ряда круглых лесоматериалов, Н.

Если известно, что первый (нижний) ряд собирается из круглых лесоматериалов определённого диаметра, следовательно, зная длину сортиментов и их диаметр в верхнем отрезе, можно определить объём каждого круглого лесоматериала, то вес первого (нижнего) ряда можно рассчитать по формуле

$$G_{РКЛ} = g\rho_d \sum_{i=1}^n V_{iСРКЛ}, \quad (25)$$

где ρ_d — плотность древесины первого ряда, кг/м³; $V_{iСРКЛ}$ — объём i -го сортимента в первом (нижнем) ряду плоской сплочной единицы, м³.

В практических условиях гибкая связь может представлять собой сложную структуру в поперечном сечении, т. е. состоять из нескольких сплетённых материалов, в т. ч. и полимерных. Следовательно, подбор гибких связей, соединяющих между собой второй и четвёртый ряды круглых лесоматериалов, с учётом рекомендаций работы [16], необходимо выполнять согласно условию

$$0,5[k_{зПР}]k_{ПГС}G_{ПСЕ} \leq P_{днгс}, \quad (26)$$

где $P_{днгс}$ — допускаемая нагрузка для применяемого вида гибкой связи, Н.

В свою очередь, подбор гибких связей, соединяющих первый и третий ряды круглых лесоматериалов, следует выполнять по условию

$$0,5[k_{зПР}]k_{ПГС}G_{РКЛ} \leq P_{днгс}. \quad (27)$$

Концы гибких связей фиксируются соединительными устройствами. Подбор соединительных устройств для гибких связей, соединяющих между собой второй и четвёртый ряды круглых лесоматериалов и первый и третий ряды круглых лесоматериалов, следует осуществлять по неравенствам соответственно:

$$0,5[k_{зПР}]k_{ПГС}G_{ПСЕ} \leq P_{днсу}; \quad (28)$$

$$0,5[k_{зПР}]k_{ПГС}G_{РКЛ} \leq P_{днсу}, \quad (29)$$

где $P_{днсу}$ — допускаемая нагрузка для соединительных устройств, Н.

Сплоточный такелаж для данной плоской сплоточной единицы: цепные комплекты или обвязочные комплекты, которые рекомендуется применять при сплотке пучков [15]. Таким образом, изготовление плоской сплоточной единицы, в случае использования в качестве сплоточного такелажа цепных или обвязочных комплектов для соединения между собой второго и четвёртого рядов круглых лесоматериалов, первого и третьего рядов круглых лесоматериалов, выполняется по неравенствам соответственно:

$$0,5[k_{зп}]k_{пгс}G_{псе} \leq P_{днсо}; \quad (30)$$

$$0,5[k_{зп}]k_{пгс}G_{ркл} \leq P_{днсо}, \quad (31)$$

где $P_{днсо}$ — допускаемая нагрузка для цепных или обвязочных комплектов, Н.

Так как цепные и обвязочные комплекты имеют в своей конструкции цепи, то в неравенствах (30), (31) коэффициент $[k_{зп}] = 4$ [16].

Расход сплоточного такелажа, а именно потребная длина четырёх гибких связей, две из которых соединяют первый и третий ряды круглых лесоматериалов, а остальные две — второй и четвёртый ряды круглых лесоматериалов, зависит от высоты $H_{псе}$, длины $L_{псе}$ и ширины $B_{псе}$ плоской сплоточной единицы.

Длина гибких связей, соединяющих первый и третий ряды круглых лесоматериалов, при условии, что все ряды круглых лесоматериалов собираются из сортиментов одного диаметра, определяется из выражения

$$L_{гс123} = n_{гс123} (L_{гс123} (1 + m_{зс})) = n_{гс123} \left(\left(\frac{3}{2} H_{псе} + 2B_{псе} \right) (1 + m_{зс}) \right), \quad (32)$$

где $n_{гс123}$ — число гибких связей, соединяющих первый и третий ряды круглых лесоматериалов; $L_{гс123}$ — длина одной гибкой связи, соединяющей первый и третий ряды круглых лесоматериалов, м; $m_{зс}$ — коэффициент запаса, принимается равным 0,08—0,10 [16].

В свою очередь, длина гибких связей, соединяющих второй и четвёртый ряды круглых лесоматериалов, при условии, что все ряды круглых лесоматериалов собираются из сортиментов одного диаметра, рассчитывается по зависимости

$$L_{гс234} = n_{гс234} (L_{гс234} (1 + m_{зс})) = n_{гс234} \left(\left(\frac{3}{2} H_{псе} + 2L_{псе} \right) (1 + m_{зс}) \right), \quad (33)$$

где $n_{гс234}$ — число гибких связей, соединяющих второй и четвёртый ряды круглых лесоматериалов; $L_{гс234}$ — длина одной гибкой связи, соединяющей второй и четвёртый ряды круглых лесоматериалов, м.

Если ряды круглых лесоматериалов собираются из сортиментов различного диаметра, т. е. каждый ряд имеет свой диаметр, то длина гибких обвязок, соединяющих первый

и третий ряды круглых лесоматериалов, и длина гибких обвязок, соединяющих второй и четвёртый ряды круглых лесоматериалов, определяются соответственно по формулам:

$$L_{ГС123} = n_{ГС123} (L_{ГС123} (1 + m_{ЗГС})) = n_{ГС123} \left(\left(2 \sum_{i=1}^n d_{iCP} + 2B_{ПСЕ} \right) (1 + m_{ЗГС}) \right); \quad (34)$$

$$L_{ГС234} = n_{ГС234} (L_{ГС234} (1 + m_{ЗГС})) = n_{ГС234} \left(\left(2 \sum_{i=1}^n d_{iCP} + 2L_{ПСЕ} \right) (1 + m_{ЗГС}) \right), \quad (35)$$

где d_{iCP} — средний диаметр круглых лесоматериалов i -го ряда, м.

Обоснование основных транспортно-эксплуатационных показателей плоской сплочной единицы, изображённой на рисунке 2, по вышеизложенной методике даёт возможность определить требуемые показатели для организации эффективного сплава лесоматериалов по водным путям.

4. Обсуждение и заключение

Усовершенствованная конструкция плоской сплочной единицы имеет определённые преимущества над существующими сплочными единицами, которые дают возможность минимизировать затраты при её изготовлении. К основным преимуществам относятся следующие показатели: простота конструкции, возможность изготовления плоской сплочной единицы в специализированных сплочных машинах, высокие жёсткость и волноустойчивость конструкции. Приведённые преимущества формируются за счёт укладки рядов круглых лесоматериалов перпендикулярно друг другу с последующим соединением данных рядов гибкими связями и обязательной фиксации крайних круглых лесоматериалов первого (нижнего) и третьего рядов между собой, а также фиксации крайних круглых лесоматериалов второго и четвёртого рядов между собой с помощью специальных скоб.

Для стабильной и безаварийной эксплуатации усовершенствованной конструкции плоской сплочной единицы в реальных условиях необходимо осуществлять расчёт её основных транспортно-эксплуатационных показателей. Предложена методика расчёта транспортно-эксплуатационных показателей сплочной единицы, где акцент был поставлен на определение габаритных размеров, объёма содержания древесины, коэффициента полндревесности, коэффициента запаса плавучести, осадки, прочности и расхода сплочного такелажа. Каждый из приведённых показателей обеспечивает плоскую сплочную единицу определёнными характеристиками, на основании которых осуществляется первоначальное планирование транспортировки лесоматериалов по водным объектам и рассчитывается эффективность сплава древесины на базе усовершенствованной плоской сплочной единицы.

Крупномасштабное внедрение предложенной плоской сплочной единицы на первоначальный сплав древесины, независимо от способа её транспортировки по водным

объектам, даст возможность возобновить сплав лесоматериалов по рекам с лимитирующими габаритами сплавного хода. В результате этого транспортировка древесины от мест заготовки к пунктам потребления будет осуществляться одним видом транспорта, а именно водным. Так как водный транспорт в настоящее время является наиболее рентабельным, то применение усовершенствованной плоской сплотовой единицы позволит снизить затраты на перевозки древесины из эксплуатационных лесов.

Список литературы

1. Водный кодекс Российской Федерации: текст с последними изм. и доп. на 2022 г. М.: Эксмо, 2022. 64 с. (Законы и кодексы).
2. *Васильев В. В., Афоничев Д. Н.* Усовершенствованные системы плотового сплава лесоматериалов: монография. Saarbrucken (Германия): Изд-во LAP LAMBERT Academic Publishing, 2014. 284 с.
3. Патент 199681 Р. Ф., МПК В65G 69/00, 57/18. Сплотовая машина / В. В. Васильев, Д. Н. Афоничев, В. А. Морковин, Е. В. Позняков; 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.
4. Brevet 2882723 FR, Int. CI.8 B 63 B 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.
5. *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.
6. *Васильев В. В., Афоничев Д. Н.* Использование плоских сплотовых единиц на первоначальном сплаве лесоматериалов // Известия вузов. Лесной журнал. 2022. № 1. С. 128—142. DOI: 10.37482/0536-1036-2022-1-128-142.
7. *Митрофанов А. А.* Лесосплав. Новые технологии, научное и техническое обеспечение. Архангельск: Изд-во АГТУ, 2007. 492 с.
8. *Васильев В. В.* Модернизированный плот для рек с малыми глубинами // Вестник ПГТУ. Серия: Лес. Экология. Природопользование. 2015. № 1. С. 45—58.
9. *Васильев В. В., Гонтарев С. М., Афоничев Д. Н.* Обоснование инерционных характеристик плотов со сплотовыми единицами стабилизированной плавучести // Лесотехнический журнал ВГЛТА. 2014. Т. 4, № 2 (14). С. 110—115.
10. *Васильев В. В.* Особенности формирования осадки плоской сплотовой единицы // Лесотехнический журнал ВГЛТА. 2014. № 1 (13). С. 79—84.
11. *Васильев В. В.* Плоская сплотовая единица для первоначального и магистрального плотового сплава круглых лесоматериалов // Актуальные проблемы развития лесного комплекса: Материалы междунар. научно-технич. конф. / ВоГТУ. Вологда, 2015. С. 66—68.
12. Brevet 1461583 FR, Int. CI. B 63 b, B 65 g. Remorquage de billes de bois / société anonyme dite: compagnie maritime des chargeurs réunis résidant en France (Seine). No. 36,157; la date de la demandé 26.10.1965; la date de publié 02.10.1966. 4 p.

13. Brevet 1286734 FR, Int. CI. B 65 g. Procédé de flottage des bois en grumes et dispositif d'attache pour la mise en oeuvre de se procédé / M. Roger Jandin résidant en France; la date de la demandé 23.01.1961; la date de publié 29.01.1962. 4 p.
14. *Васильев В. В.* Анализ распространённых транспортно-технологических схем водного транспорта лесоматериалов // Научный журнал молодых учёных ФГБОУ ВО «Орловский ГАУ». 2019. № 4 (17). С. 48—52.
15. *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.
16. *Донской И. П.* Водный транспорт леса. М.: Гослесбумиздат, 1955. 332 с.
17. *Лебедев А. Н.* Водный транспорт леса. Л.: Гослестехиздат, 1939. 464 с.
18. Patent 57167892 JP, Int. CI. B 63 B 35/58, B 65 G 1/00. Water surface receiving tools for driftwood / Kitai Toshiro; Kitai Tekkoshokk. No. 56053830; date of filing 10.04.1981; date of publication of application 15.10.1982.
19. Patent 3662413 USA, Int. CI.2 B 63 b 35/00. Metal ring for fastening parts by means of ocean wave force / Toshiro Andoh; Toshiro Andoh. No. 10, 354; filed: 13.04.1970; date application 16.05.1972.
20. Patent 5119529 USA, Int. CI.5 B 63 B 35/62. Cable hook / Wire Rope Industries Ltd., Pointe-Claire, Canada. No. 703,844; filed: 21.05.1991; date application 09.06.1992.
21. Patent 2961671 USA, Int. CI.9-15 B 63 B 35/62. Bundle raft with quick detachable fitting / William A. Meighan, Portland, Oreg. No. 684,450; filed: 17.09.1957; date application 29.11.1960.
22. Patent 3556319 USA, Int. CI. B 63 b 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.
23. Patent 3971309 USA, Int. CI.2 B 63 B 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.
24. *Васильев В. В.* Обоснование параметров транспортно-технологической схемы поставки древесины в плоских сплочных единицах по принципу плот (линейка) — плот // Resources and Technology. 2021. Т. 18, № 2. С. 48—78. DOI: 10.15393/j2.art.2021.5603.
25. *Васильев В. В.* Усовершенствованная транспортно-технологическая схема поставки древесины водным транспортом в плоских сплочных единицах по принципу плот (линейка) — 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. 341—346.
26. *Васильев В. В.* Транспортно-технологическая схема поставки древесины водным транспортом в плоских сплочных единицах по принципу плоская сплочная 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.
27. *Васильев В. В., Аксенов И. И.* Транспортно-технологическая схема поставки лесоматериалов потребителям в плоских сплочных единицах по принципу плоская сплочная 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.

28. Васильев В. В., Афоничев Д. Н. Особенности расчёта параметров погрузочного рейда при использовании на сплаве плоских сплочных единиц // Современные машины, оборудование и IT-решения лесопромышленного комплекса: теория и практика: Материалы Всерос. научно-практич. конф. г. Воронеж, 17 июня 2021 г. Воронеж: ФГБОУ ВО «Воронежский государственный лесотехнический университет имени Г. Ф. Морозова», 2021. С. 40—48. DOI: 10.34220/ММЕИТСIC2021_40-48.
29. Васильев В. В., Аксенов И. И. Анализ конструкций перспективных плоских сплочных единиц // Повышение эффективности использования ресурсов при производстве сельскохозяйственной продукции — новые технологии и техника нового поколения для АПК: Сб. науч. докл. XX междунар. научно-практич. конф. г. Тамбов, 26—27 сентября 2019 г. Тамбов: Изд-во «Студия печати Галины Золотовой», 2019. С. 188—191.
30. Патент 210485 Р. Ф., МПК В 63 В 35/62. Плоская сплочная единица / В. В. Васильев, Д. Н. Афоничев, В. А. Морковин, В. В. Абрамов, Е. В. Поздняков; заявитель и патентообладатель ФГБОУ ВО «Воронежский государственный лесотехнический университет имени Г. Ф. Морозова». № 2021125409; заявл. 19.10.2020; опубл. 18.04.2022, бюл. № 11. 5 с.
31. Belyayev N. M. Problems in strength of materials. Elsevier, 1966. 539 p.
32. Stephens R. C. Strength of materials. Theory and examples. Edward Arnold, 1970. 314 p.
33. Vitor Dias da Silva. Mechanics and strength of materials. Springer, 2006. 531 p.
34. Patnaik S., Hopkins D. Strength of materials: a new unified theory for the 21st century. Butterworth; Heinemann (Elsevier), 2004. 771 p.
35. Borezi A. P., Schmidt R. J., Sidebottom O. M. Advanced mechanics of materials. Wiley, 1993. 827 p.
36. Strength of Materials and Structures, Fourth Edition / Carl T. F. Ross BSc PhD DSc CEng FRINA, The late John Case, A. Chilver. Arnold, 1999. 719 p.
37. Broutman L. Interfaces in composites. ASTM, 1968. 198 p.
38. Den Hartog J. P. Strength of materials. Dover Publications, 1961. 346 p.
39. Skalmierski B. Mechanics and strength of materials. Academic Press, Elsevier, 1979. 435 p.
40. Komarovskiy A. A., Astakhov V. P. Physics of strength and fracture control: adaptation of engineering materials and structures. CRC Press, 2002. 629 p.
41. Липман Д. Н. Такелаж из полимеров: Обзор. М.: ВНИПИЭИлеспром, 1975. 20 с.
42. Заводчиков Д. А. Грузоподъёмные машины. Второе изд., доп. и перераб. М.: Гос. научно-техн. изд-во «Машиностроительная литература», 1962. 312 с.

References

1. The Water Code of the Russian Federation: the text with the latest amendments and additions for 2022. Moscow, Eksmo, 2022. 64 p. (Laws and Codes). (In Russ).
2. Vasiliev V. V., Afonichev D. N. *Improved systems of raft timber alloy: monograph*. Saarbrucken (Germany): Publishing house LAP LAMBERT Academic Publishing, 2014. 284 p. (In Russ).
3. Vasiliev V. V., Afonichev D. N., Morkovin V. A., Poznyakov 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, Bul. No. 26. 5 p. (In Russ.).

4. Patent 2882723 FR, Int. THIS.8 B 63 B 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.
5. 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.
6. 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.).
7. Mitrofanov A. A. *Lesosplav. New technologies, scientific and technical support*. Arkhangel'sk, Publishing House of ASTU, 2007. 492 p. (In Russ.).
8. 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.).
9. Vasiliev V. V., Goptarev S. M., Afonichev D. N. Substantiation of inertial characteristics of rafts with cohesive units of stabilized buoyancy. *Forestry Journal VGLTA*, 2014, vol. 4, no. 2 (14), pp. 110—115. (In Russ.).
10. Vasiliev V. V. Features of the formation of the precipitation of a flat flat unit. *Forestry journal VGLTA*, 2014, no. 1 (13), pp. 79—84. (In Russ.).
11. Vasiliev V. V. A flat cohesive unit for the initial and main raft alloy of round timber. *Actual problems of the development of the forest complex: mater. international Scientific and Technical conference*. VoGTU. Vologda, 2015, pp. 66—68. (In Russ.).
12. Brevet 1461583 FR, Int. CI. B 63 b, B 65 g. Remorquage de billes de bois. Société anonyme dite: compagnie maritime des chargeurs réunis résidant en France (Seine). No. 36,157; la date de la demandé 26.10.1965; la date de publié 02.10.1966. 4 p.
13. Brevet 1286734 FR, Int. CI. B 65 g. Procédé de flottage des bois en grumes et dispositif d'attache pour la mise en oeuvre de se procédé. M. Roger Jandin résidant en France; la date de la demandé 23.01.1961; la date de publié 29.01.1962. 4 p.
14. Vasiliev V. V. Analysis of common transport and technological schemes of water transport of timber. *Scientific Journal of Young scientists of the Oryol State Agrarian University*, 2019, no. 4 (17), pp. 48—52. (In Russ.).
15. Ovchinnikov M. M., Polishchuk V. P., Grigoriev G. V. *Forest transport: In 2 t. T. 2. Timber and ship transportation: Textbook for students. higher. studies. institutions*. Moscow, Publishing center «Academy», 2009. 208 p. (In Russ.).
16. Donskoy I. P. *Water transport of the forest*. Moscow, Goslesbumizdat, 1955. 332 p. (In Russ.).
17. Lebedev A. N. *Water transport of the forest*. Leningrad, Goslestehizdat, 1939. 464 p. (In Russ.).
18. Kitai Toshiro; Kitai Tekkoshokk. Patent 57167892 JP, Int. CI. B 63 B 35/58, B 65 G 1/00. Water surface receiving tools for driftwood. No. 56053830; date of filing 10.04.1981; date of publication of application 15.10.1982.
19. Toshiro Andoh; Toshiro Andoh. Patent 3662413 USA, Int. CI.2 B 63 b 35/00. Metal ring for fastening parts by means of ocean wave force. No. 10,354; filed: 13.04.1970; date application 16.05.1972.
20. Wire Rope Industries Ltd., Pointe-Claire, Canada. Patent 5119529 USA, Int. CI.5 B 63 B 35/62. Cable hook. No. 703,844; filed: 21.05.1991; date application 09.06.1992.
21. William A. Meighan, Portland, Oreg. Patent 2961671 USA, Int. CI.9-15 B 63 B 35/62. Bundle raft with quick detachable fitting. No. 684,450; filed: 17.09.1957; date application 29.11.1960.
22. M. Ray Holden, P. O. Box 716, Ketchikan, Alaska. Patent 3556319 USA, Int. CI. B 63 b 27/16. Log-bundling apparatus. No. 857,247; filed: 30.06.1969; date application 19.01.1971.

23. Wilfred Spry Brodie, P. O. Box 175, Gibsons, British Columbia, VON 1V0, 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.
24. 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.).
25. Vasiliev V. V. Improved transport and technological scheme for the supply of wood by water transport in flat-flow units on the principle of raft (ruler) — 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. 341—346. (In Russ.).
26. 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.).
27. 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.).
28. Vasiliev V. V., Afonichev D. N. Features of calculating the parameters of a loading raid when using flat raft units on an alloy. *Modern machines, equipment and IT solutions of the timber industry complex: theory and practice: materials of the All-Russian Scientific and Practical Conference. Voronezh, June 17, 2021*. Voronezh, FSBEI VO «Voronezh State Forestry Engineering University named after G. F. Morozov», 2021, pp. 40—48. doi: 10.34220/MMEITSIC2021_40-48. (In Russ.).
29. Vasiliev V. V., Aksenov I. I. Analysis of the designs of promising flat cohesive units. *Improving the efficiency of the use of resources in the production of agricultural products – new technologies and equipment of a new generation for the agro-industrial complex: collection of scientific reports of the XX International Scientific and practical Conference. Tambov, September 26—27, 2019*. Tambov, Publishing House «Printing Studio Galina Zolotova», 2019, pp. 188—191. (In Russ.).
30. Vasiliev V. V., Afonichev D. N., Morkovin V. A., Abramov V. V., Pozdnyakov E. V. Patent 210485 RF, IPC B 63 B 35/62. Flat cohesive unit. Applicant and patent holder of the Voronezh State Forestry University named after G. F. Morozov. No. 2021125409; application 19.10.2020; publ. 18.04.2022, bul. No. 11. 5 p. (In Russ.).
31. Belyayev N. M. *Problems in strength of materials*. Elsevier, 1966. 539 p.
32. Stephens R. C. *Strength of materials. Theory and examples*. Edward Arnold, 1970. 314 p.
33. Vitor Dias da Silva. *Mechanics and strength of materials*. Springer, 2006. 531 p.
34. Patnaik S., Hopkins D. *Strength of materials: a new unified theory for the 21st century*. Butterworth; Heinemann (Elsevier), 2004. 771 p.
35. Boresi A. P., Schmidt R. J., Sidebottom O. M. *Advanced mechanics of materials*. Wiley, 1993. 827 p.
36. Carl T. F. Ross BSc PhD DSc CEng FRINA, The late John Case, A. Chilver. *Strength of Materials and Structures, Fourth Edition*. Arnold, 1999. 719 p.
37. Broutman L. *Interfaces in composites*. ASTM, 1968. 198 p.
38. Den Hartog J. P. *Strength of materials*. Dover Publications, 1961. 346 p.

39. Skalmierski B. *Mechanics and strength of materials*. Academic Press, Elsevier, 1979. 435 p.
40. Komarovskiy A. A., Astakhov V. P. *Physics of strength and fracture control: adaptation of engineering materials and structures*. CRC Press, 2002. 629 p.
41. Lipman D. N. *Polymer rigging: review*. Moscow, Vniptiesprom, 1975. 20 p. (In Russ.).
42. Breeders D. A. *Lifting machines: second edition supplemented and revised*. Moscow, State Scientific and Technical Publishing house machine-building literature, 1962. 312 p. (In Russ.).

© Васильев В. В., 2022