

DOI: 10.15393/j2.art.2022.6203

УДК 630*378.33

Статья

Расчёт прочности гибкого водонепроницаемого материала плоских сплочных единиц со стабилизированным запасом плавучести

Васильев Владимир Викторович

*кандидат технических наук, Филиал АО «УК ЭФКО» в г. Алексеевке
(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», г. Воронеж (Российская Федерация),
dmafonichev@yandex.ru*

Получена: 3 марта 2022 / Принята: 26 мая 2022 / Опубликована: 29 мая 2022

Аннотация: Современное развитие водного транспорта лесоматериалов на территории Российской Федерации требует выполнения ряда условий, одним из которых является обеспечение экологической безопасности эксплуатируемых водных объектов. Реализуемые мероприятия по обеспечению экологической безопасности эксплуатируемых водных объектов повлекли отмену молевого сплава древесины, который являлся ключевым на реках с малыми глубинами. Альтернативой возобновления сплава древесины на малых и средних реках послужила разработка современных сплочных единиц с высокими транспортно-эксплуатационными показателями. Предложена конструкция плоской сплочной единицы со стабилизированным запасом плавучести, основной отличительной особенностью которой является обёртывание в гибкий водонепроницаемый материал. Данным материалом также могут обёртываться и другие разработанные плоские сплочные единицы для обеспечения стабилизации плавучести. Гибкий водонепроницаемый материал препятствует прямому контакту древесины с водой, что придаёт плоской сплочной единице малую осадку, стабилизированный запас плавучести и сохраняет качество поставляемой древесины. Обеспечение высоких транспортно-эксплуатационных показателей плоских сплочных единиц стабилизированной плавучести регламентируется правильным выбором гибкого водонепроницаемого материала. Приведена методика расчёта требуемой

прочности гибкого водонепроницаемого материала, где особое внимание уделено вариантам укладки круглых лесоматериалов в плоских сплочных единицах и действию на них внешних сил при транспортировке по водному объекту, а также при перемещениях их на береговых складах и рейдах приплова. Полученные условия прочности гибкого водонепроницаемого материала и основные зависимости по определению сил, действующих на плоские сплочные единицы при их эксплуатации в различных условиях, дают возможность определить механические и геометрические характеристики материала, требуемого для обёртывания сплочных единиц. Внедрение конструкций современных плоских сплочных единиц со стабилизированным запасом плавучести на сплав круглых лесоматериалов с обязательным использованием представленной методики расчёта прочности гибкого водонепроницаемого материала позволит осуществлять эффективное выполнение сплава данных плоских сплочных единиц самосплавом или в составе плота.

Ключевые слова: круглые лесоматериалы; плоская сплочная единица; гибкий водонепроницаемый материал; стабилизированный запас плавучести; осадка, максимальное напряжение; допускаемое напряжение; предел прочности

DOI: 10.15393/j2.art.2022.6203

Article

Calculation of a flexible waterproof material strength for flat float units with a stabilized buoyancy reserve

Vladimir Vasiliev

*Ph. D. in engineering, Branch of JSC «UK EFKO» in Alekseevka (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», Voronezh (Russian
Federation), dmafonichev@yandex.ru*

Received: 3 March 2022 / Accepted: 26 May 2022 / Published: 29 May 2022

Abstract: The development of timber products water transportation on the territory of the Russian Federation should comply with a number of conditions, one of which is to ensure the environmental safety of operational water bodies. Log drifting has been prohibited on shallow rivers to ensure ecological safety of these rivers. Development of modern float units with high transportation and operational indicators presents an alternative solution for log drifting on small and medium-sized rivers. The authors propose a design of a flat float unit with a stabilized buoyancy reserve that is wrapped in a flexible waterproof material. The flexible waterproof material prevents direct contact of wood with water, provides light draft to the flat-float unit, a stable buoyancy reserve and preserves the quality of the supplied wood. Ensuring high transportation and operational performance of flat float units of stabilized buoyancy is regulated by the correct choice of flexible waterproof material. The authors present a method of calculating the required strength of a flexible waterproof material, where special attention is paid to the options for laying round timber in flat float units. The method accounts for action of external forces on units during their transportation through a water body and moving to coastal warehouses and logs receiving ports. The obtained strength indicators of the flexible waterproof material and the main dependences for determining the forces acting on the flat float units during their operation in various conditions make it possible to determine the mechanical and geometric characteristics of the material required for wrapping the float units. The introduction of modern flat float units design with a stabilized buoyancy reserve for round log drifting with the mandatory use of the presented methodology for calculating flexible waterproof

material strength will make it possible to effectively drift these flat float units independently or as part of a raft.

Keywords: round timber; flat float unit; flexible waterproof material; stabilized buoyancy reserve; draft, maximum stress; allowable stress; tensile strength

1. Введение

Для обеспечения экологической безопасности водных объектов, эксплуатируемых в качестве транспортных путей, по которым сплавается древесина, было принято решение о прекращении молевого сплава древесины на всей территории Российской Федерации [1], [2]. Запрет молевого сплава древесины повлѣк за собой сокращение объѣмов заготовки спелой древесины в эксплуатационных лесах, где сеть автомобильных дорог и железнодорожных путей отсутствует или имеет низкий уровень развития. То есть малые и средние реки были выведены из эксплуатации, а береговые склады переместились на крупные реки и стали выполнять функцию формировочных и погрузочных рейдов. Соответственно, снизилось качество поставляемой древесины, а стоимость поставки заготовленной продукции увеличилась.

Решением данной проблемы, связанной с отменой молевого сплава древесины и выводом из эксплуатации малых и средних рек, является разработка новых конструкций сплоточных единиц, характеризующихся малой осадкой и стабилизированным запасом плавучести. Новыми конструкциями сплоточных единиц, удовлетворяющими предъявленным требованиям, стали современные конструкции плоских сплоточных единиц, которые были разработаны для использования на реках с малыми глубинами [3—19]. Отличительной особенностью данных плоских сплоточных единиц является то, что круглые лесоматериалы в сплоточной единице укладываются рядами параллельно или перпендикулярно друг другу, а каждый из рядов может помещаться в специальные изготовленные рамки или между пакетами круглых лесоматериалов повышенной плавучести [1], [5], [8], [9], [12]. При этом усовершенствованные плоские сплоточные единицы при необходимости дополнительно обѣртываются в гибкий водонепроницаемый материал для стабилизации запаса плавучести [1], [5], [7], [10], [11], [13], [14]. Все указанные плоские сплоточные единицы могут сплаваться вольницей или в составе плота.

Укладка круглых лесоматериалов в плоских сплоточных единицах рядами параллельно или перпендикулярно друг другу позволяет достичь две цели [1], [5], [9], [10], [15], [20—22]. Первая цель — уменьшение осадки плоской сплоточной единицы, что даёт возможность использовать их на малых и средних реках, где ранее проводился молевой сплав древесины. Вторая цель — это максимальное использование габаритов сплавного хода, что обеспечивает содержание в плоской сплоточной единице большого объѣма древесины. В свою очередь, обѣртывание плоской сплоточной единицы в гибкий водонепроницаемый материал обеспечивает плоские сплоточные единицы не только стабилизированным запасом плавучести, но и малой осадкой, а также сохранение качества древесины из-за отсутствия контакта её с водой [1], [7], [10], [11], [13].

Сохранение стабилизации плавучести плоских сплоточных единиц и обеспечение их малой осадкой в большей степени зависит от правильности выбора гибкого водонепроницаемого материала. При этом выбор гибкого водонепроницаемого материала

осуществляется на основании расчёта максимального напряжения, возникающего в данном материале от действия внешних сил, которое не должно превышать допустимого напряжения в гибком водонепроницаемом материале. В настоящее время полноценная методика расчёта требуемой прочности гибкого водонепроницаемого материала, которая позволяет осуществлять правильный выбор соответствующего материала, присутствует частично и не позволяет учесть всех основных внешних сил, действующих на него во время сплава плоских сплочных единиц самосплавом или в составе плота, а также при перемещении их на береговых складах и рейдах приплава [13]. В результате этого применение плоских сплочных единиц на сплаве древесины ограничено. На основании вышесказанного сформулирована цель работы: разработать методику расчёта требуемой прочности гибкого водонепроницаемого материала, предназначенного для обёртывания усовершенствованных плоских сплочных единиц с учётом их эксплуатации в различных условиях.

2. Материалы и методы

Плоская сплочная единица со стабилизированным запасом плавучести, разработанная для использования на реках с малыми глубинами, обладающая малой осадкой, представлена на рисунках 1 и 2.

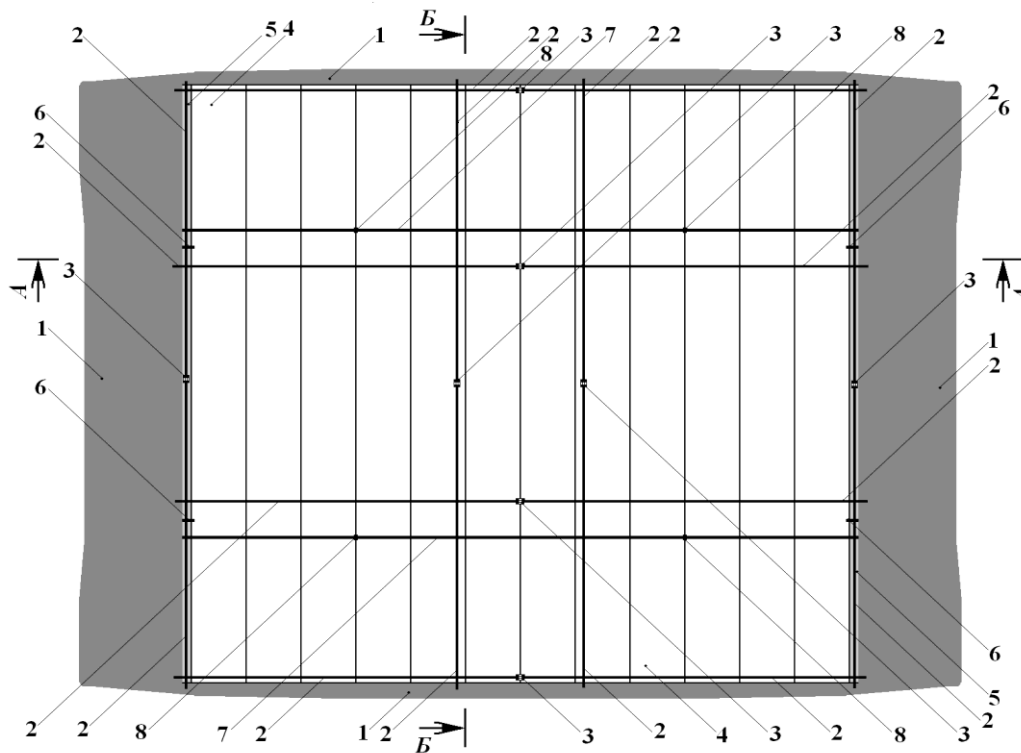


Рисунок 1. Плоская сплочная единица со стабилизированным запасом плавучести [14]

Figure 1. A flat float unit with a stabilized buoyancy reserve [14]

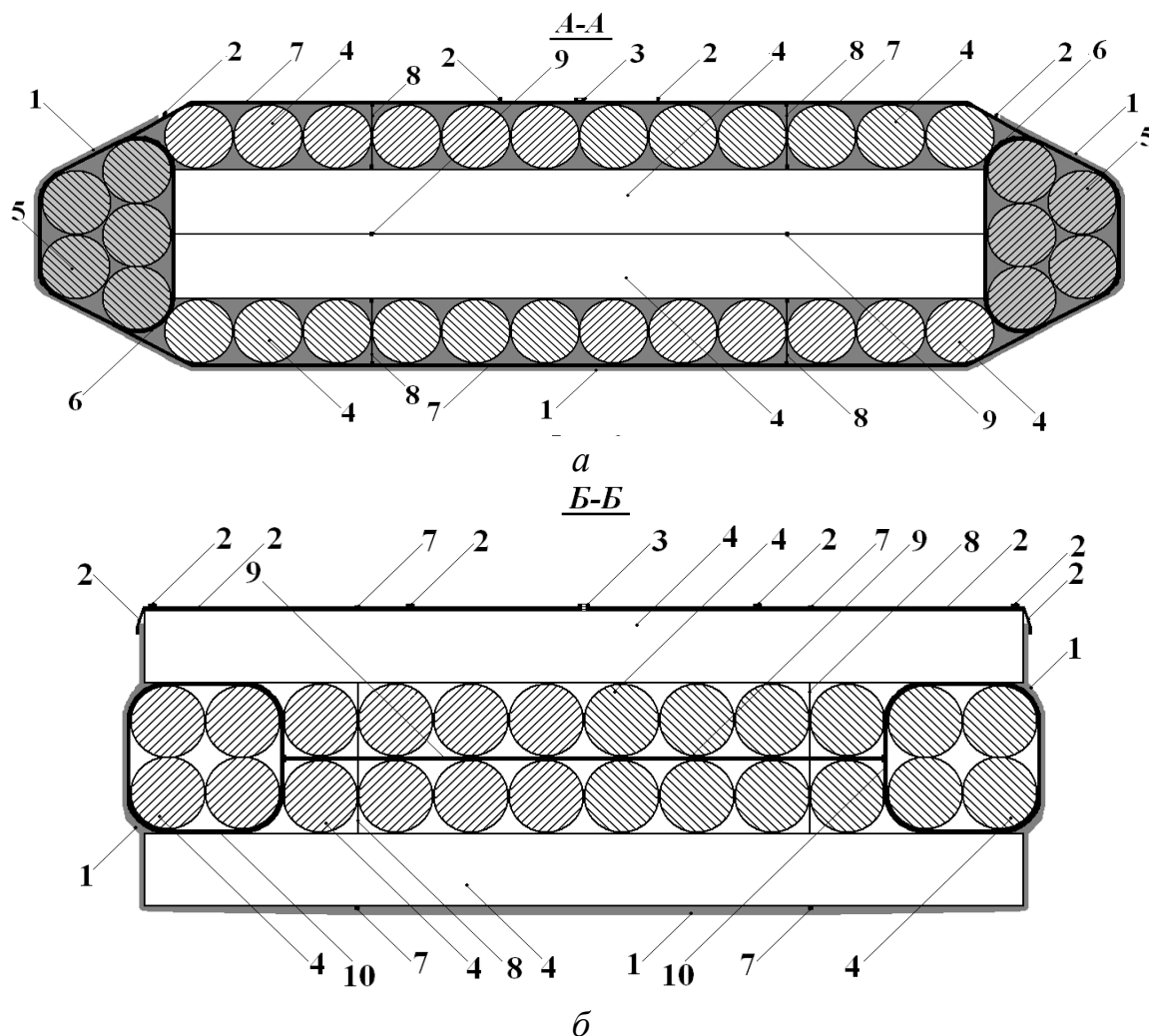


Рисунок 2. Плоская сплоточная единица со стабилизированным запасом плавучести [14]: *a* — разрез А-А на рисунке 1; *б* — разрез Б-Б на рисунке 1

Figure 2. A flat float unit with a stabilized buoyancy reserve [14]: *a* — section A-A in Figure 1; *b* — section B-B in Figure 1

Сплоточная единица [7], [14] состоит из листа гибкого водонепроницаемого материала 1, по краям которого закреплены стропы 2 с соединительными устройствами 3 на свободных концах, круглых лесоматериалов ограниченной плавучести 4, уложенных в поперечные верхний и нижний ряды и продольные средние ряды, круглых лесоматериалов повышенной плавучести 5, объединённых гибкими обвязками 6 в пакеты, расположенные в головной и хвостовой частях сплоточной единицы, гибких внешних обвязок 7, охватывающих снаружи пакеты круглых лесоматериалов повышенной плавучести 2 и ряды круглых лесоматериалов ограниченной плавучести 1, вертикальных стяжек 8, соединяющих гибкие внешние обвязки 7 и гибкие внутренние связи 9, которые вместе с гибкими внутренними обвязками 10 соединяют круглые лесоматериалы ограниченной плавучести 4 средних продольных рядов.

Сборка сплочной единицы осуществляется только на берегу на предварительно разостланном на плотбище листе из гибкого водонепроницаемого материала *1* в соответствии с процессом сборки сплочной единицы, описанным в прототипе [15]. После сборки сплочной единицы заворачивают продольные края листа из гибкого водонепроницаемого материала *1*, накладывая их на продольные борта сплочной единицы, натягивают стропы *2* и соединяют их соединительными устройствами *3*, при помощи которых также регулируется натяжение строп *2*. Заворачивают поперечные края листа из гибкого водонепроницаемого материала *1*, накладывая их на поперечные борта (торцы) сплочной единицы, при этом угловые складки листа из гибкого водонепроницаемого материала *1* заворачивают во внутрь и укладывают вдоль поперечных бортов (торцов) сплочной единицы, натягивают стропы *2* и соединяют их соединительными устройствами *3*.

В лист из гибкого водонепроницаемого материала *1* могут заворачиваться по вышеописанной методике другие усовершенствованные плоские сплочные единицы, изготовленные по патентам РФ № 2456199 [16], № 2456200 [17], № 2460679 [18] и № 2525498 [19]. Для выполнения данной процедуры необходимо на предварительно разостланный лист из гибкого водонепроницаемого материала *1* уложить собранную плоскую сплочную единицу при помощи крана или другого грузоподъемного устройства.

3. Результаты

Расчёт прочности, предъявляемой к гибкому водонепроницаемому материалу, выполняется по трём условиям. Первое условие [13] — плоская сплочная единица находится на воде, скорость течения которой равна нулю, на неё действуют две силы: гидростатическое давление воды и архимедова сила [23—28], причём архимедова сила действует на дно сплочной единицы, выталкивая её, а гидростатическое давление — на борта. Второе условие [13] связано с движением сплочной единицы в жидкости, когда скорость её больше или меньше скорости течения реки. В данном случае, кроме гидростатического давления воды и архимедовой силы, на неё дополнительно действует сила сопротивления движению [23—28], т. е. гидродинамическое давление воды. Третье условие регламентирует то, что плоскую сплочную единицу транспортируют, а также спускают на воду и выгружают из воды за гибкий водонепроницаемый материал, т. е. он воспринимает усилие от веса плоской сплочной единицы. При этом следует отметить, что в плоских сплочных единицах гибкий материал не по всей площади дна и бортов контактирует с лесоматериалами, в результате чего наибольшая вероятность разрыва гибкого материала будет в местах, где отсутствует его контакт с лесоматериалами. Значит, расчёт усилия, создаваемого от воды на гибкий материал, необходимо выполнять именно для таких мест при максимальной осадке. При этом все расчёты, производимые по определению требуемой прочности гибкого водонепроницаемого материала, должны учитывать основные условия прочности [29—39], предъявляемые для всех видов материала.

Для более подробного анализа мест с наибольшей вероятностью разрыва гибкого водонепроницаемого материала, которым могут обёртываться современные конструкции плоских сплочных единиц, были разработаны схемы расчёта прочности материала для различных вариантов укладки рядов круглых лесоматериалов в сплочных единицах. Данные схемы представлены на рисунке 3. Схема, изображённая на рисунке 3а, основывается на укладке рядов круглых лесоматериалов параллельно друг другу, с присутствием дополнительной нижней прокладки. Вторая схема, приведённая на рисунке 3б, опирается на укладку рядов круглых лесоматериалов перпендикулярно друг другу. Третья схема, представленная на рисунке 3в, учитывает укладку рядов круглых лесоматериалов параллельно друг другу, но укладка каждого ряда осуществляется по принципу, приведённому в патенте РФ № 2456199 [16].

Согласно первому условию, на гибкий водонепроницаемый материал действуют гидростатическое давление воды и архимедова сила. При действии гидростатического давления воды на борта плоской сплочной единицы с учётом основ расчёта гибких нитей [29], [30], [39] условие прочности гибкого водонепроницаемого материала запишем следующим образом:

$$\sigma_{\max ГДВ} = \frac{H_{\max ГГВМ}}{F_{ГВМ}} \leq [\sigma_{ГВМ}], \quad (1)$$

где $\sigma_{\max ГДВ}$ — максимальное напряжение, возникающее в гибком водонепроницаемом материале от гидростатического давления воды, Па; $H_{\max ГГВМ}$ — максимальное составляющее усилие, одинаковое во всех сечениях, в данном случае — натяжение гибкого водонепроницаемого материала от действия гидростатического давления воды, Н; $F_{ГВМ}$ — площадь поперечного сечения гибкого водонепроницаемого материала, м²; $[\sigma_{ГВМ}]$ — допускаемое напряжение в гибком водонепроницаемом материале, Н/м².

Так как наибольшая вероятность разрыва гибкого водонепроницаемого материала от гидростатического давления воды возникает между круглыми лесоматериалами, то на основании рисунка 3 реакции опор R_A и R_B будут присутствовать соответственно в точках A и B , в местах непосредственного контакта гибкого материала с круглыми лесоматериалами. При этом точки A и B находятся в одной плоскости, а сила, возникающая от гидростатического давления воды, будет действовать равномерно на всю поверхность гибкого водонепроницаемого материала. На основании вышесказанного с учётом рисунка 3 и концепции расчёта гибких нитей [29], [30], [39] запишем зависимость для определения натяжения гибкого водонепроницаемого материала:

$$H_{\max ГГВМ} = \frac{q_{ГГВМ} l_{ГВМ}^2}{8 f_{ГВМ}}, \quad (2)$$

где $q_{ГГВМ}$ — погонная нагрузка от гидростатического давления воды, действующая на гибкий водонепроницаемый материал, Н/м; $l_{ГВМ}$ — расчётная длина гибкого

водонепроницаемого материала, по которой действует погонная нагрузка, м; $f_{ГВМ}$ — стрела провисания гибкого водонепроницаемого материала, м.

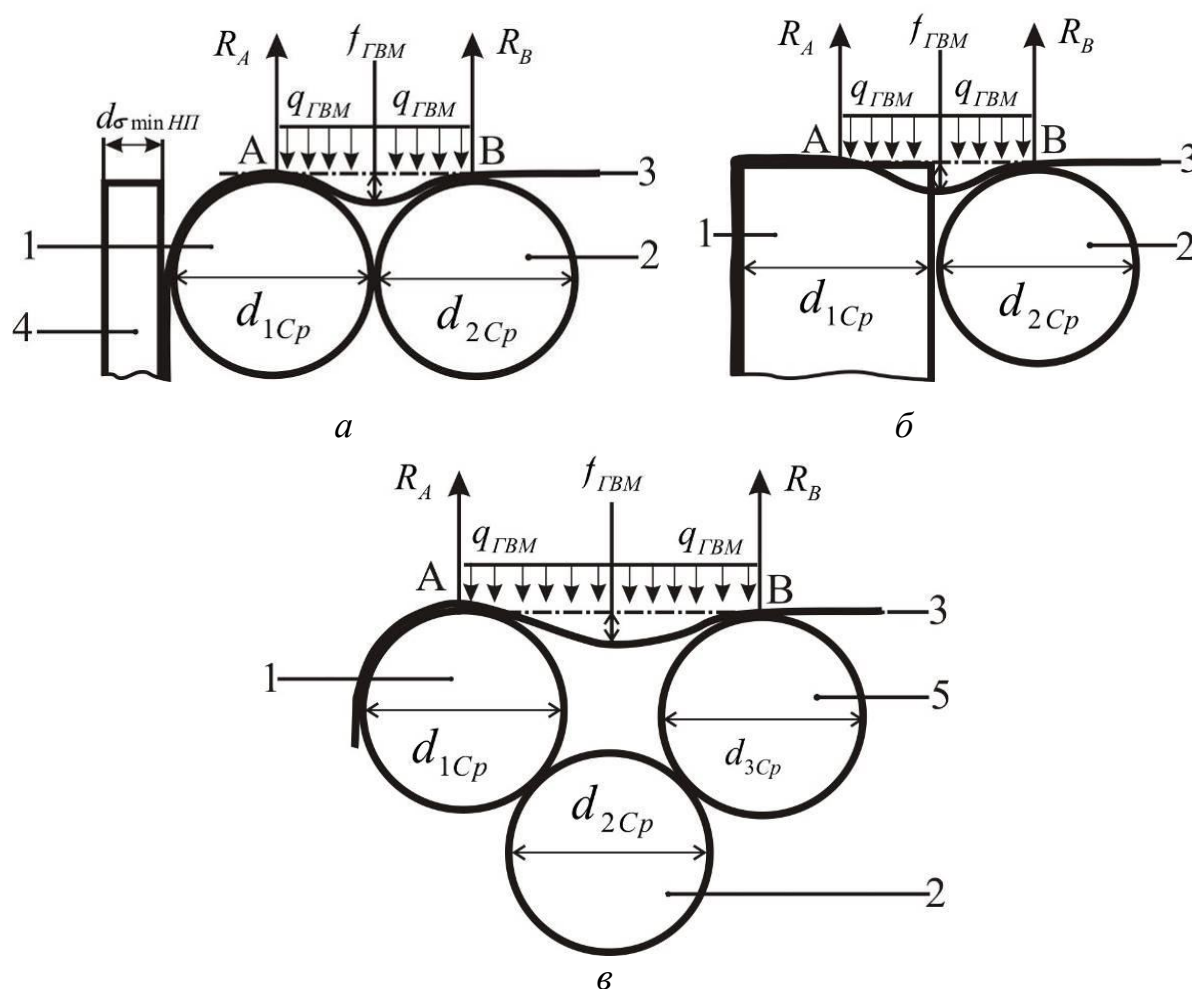


Рисунок 3. Схемы для расчёта прочности гибкого водонепроницаемого материала: *a* — параллельное расположение рядов круглых лесоматериалов; *б* — перпендикулярное расположение рядов круглых лесоматериалов; *в* — параллельное расположение рядов круглых лесоматериалов со смещением их относительно друг друга; 1 — круглый лесоматериал первого (нижнего) ряда; 2 — круглый лесоматериал второго ряда; 3 — гибкий водонепроницаемый материал; 4 — нижняя прокладка; 5 — круглый лесоматериал третьего ряда

Figure 3. Schemes for calculating the strength of flexible waterproof material: *a* — parallel arrangement of rows of round timber; *b* — perpendicular arrangement of rows of round timber; *c* — parallel arrangement of rows of round timber with their displacement relative to each other; 1 — round timber of the first (lower) row; 2 — round timber of the second row; 3 — flexible waterproof material; 4 — bottom interliner; 5 — round timber of the third row

Погонная нагрузка $q_{ГВМ}$, действующая на гибкий водонепроницаемый материал, будет складываться из гидростатического давления жидкости, которое воспринимает материал при максимальной осадке плоской сплottedной единицы. Таким образом, используя основной закон гидростатики [13], [23], [33], получим формулу расчёта погонной нагрузки:

$$q_{ГВМ} = \frac{P_{ГСД}}{l_{ГВМ}} = \frac{g \rho_B h_{\max Ц} b_{ГВМ} l_{ГВМ}}{l_{ГВМ}} = g \rho_B h_{\max Ц} b_{ГВМ}, \quad (3)$$

где $P_{ГСД}$ — гидростатическая сила, Н; g — ускорение свободного падения, м/с²; ρ_B — плотность воды, кг/м³; $h_{\max Ц}$ — максимальная глубина погружения центра тяжести смоченной части плоской поверхности, на которой гидростатическое давление жидкости в наибольшей степени действует на гибкий водонепроницаемый материал, м; $b_{ГВМ}$ — ширина гибкого водонепроницаемого материала, м.

В формуле (3) максимальная глубина погружения центра тяжести смоченной части плоской поверхности, на которой гидростатическое давление жидкости в наибольшей степени действует на гибкий водонепроницаемый материал, для каждой схемы, представленной на рисунке 3, определяется по-разному. Для схемы, изображённой на рисунке 3а, при условии, что нижние прокладки не обёртываются в гибкий водонепроницаемый материал, $h_{\max Ц}$, имеем:

$$h_{\max Ц} = T_{ПСЕ} - d_{1Cp} - d_{\sigma \min НП}, \quad (4)$$

где $T_{ПСЕ}$ — максимальная осадка плоской сплottedной единицы, м; d_{1Cp} — средний диаметр круглых лесоматериалов первого (нижнего) ряда, м; $d_{\sigma \min НП}$ — минимально допустимый диаметр в верхнем отрезе нижней прокладки, м.

Минимально допустимый диаметр в верхнем отрезе нижней прокладки $d_{\sigma \min НП}$ определяется с учётом максимальной погонной нагрузки, действующей на прокладку:

$$d_{\sigma \min НП} = \sqrt[3]{[k_{3ПП}] k_{ВД} \frac{2G_{ПСЕ} l_{PK}}{\pi \sigma_{Ипрд}}}, \quad (5)$$

где $[k_{3ПП}]$ — коэффициент запаса прочности при изгибе для прокладок, учитывающий дополнительные внешние нагрузки, действующие на плоскую сплottedную единицу; $k_{ВД}$ — коэффициент учёта влажности древесины прокладки; $G_{ПСЕ}$ — вес плоской сплottedной единицы, Н; l_{PK} — расстояние, равное сумме диаметров круглых лесоматериалов первого (нижнего) ряда, м; π — число пи, постоянное, приблизительно равно 3,14; $\sigma_{Ипрд}$ — предельно допустимое напряжение при изгибе, Н/м².

В формуле (5) коэффициент запаса прочности при изгибе $[k_{3ПП}]$ для прокладок, учитывающий дополнительные внешние нагрузки, действующие на плоскую сплottedную единицу, предусматривает обеспечение дополнительного запаса прочности, например, при спуске плоской сплottedной единицы на воду, выгрузке её из воды, когда возникает

дополнительная сила при отрыве от зеркала воды, а также при транспортировке лесотранспортных единиц по водным путям, т. к. данный процесс является нестабильным, с постоянно изменяющимися действующими внешними силами на сплотовые единицы. Поэтому $[k_{зшт}]$ вводится при расчёте предельно допустимого напряжения в прокладках и для данных условий устанавливается экспериментальным путём. Коэффициент учёта влажности древесины прокладки принимается тогда, когда предельно допускаемое напряжение при изгибе берётся при одной влажности, а фактическая влажность верхней прокладки другая. Например, предел прочности при влажности древесины 12 % больше, чем при влажности 30 % и более. Таким образом, коэффициент учёта влажности древесины прокладки принимается равным 1,7—1,8, если значение предельно допускаемого напряжения при изгибе взято для влажности 12 %, а фактическая влажность древесины больше 30 %. В свою очередь, данный коэффициент принимается равным 0,5—0,6, если значение предельно допускаемого напряжения при изгибе взято для влажности больше 30 %, а фактическая влажность древесины составляет 12 %. В том случае, когда предельно допускаемое напряжение при изгибе, например, взято для влажности 12 % и влажность древесины верхней прокладки составляет 12 %, коэффициент $k_{вд} = 1,0$.

Вес плоской сплотовой единицы $G_{ПСЕ}$ и её максимальная осадка $T_{ПСЕ}$ рассчитываются по методике, приведённой в работах [1], [11].

Максимальная глубина погружения центра тяжести смоченной части плоской поверхности, на которой гидростатическое давление жидкости в наибольшей степени действует на гибкий водонепроницаемый материал, для схемы, представленной на рисунке 3б, определяется из выражения

$$h_{\max Ц} = T_{ПСЕ} - \frac{d_{1Ср} + d_{2Ср}}{2}, \quad (6)$$

где $d_{2Ср}$ — средний диаметр круглых лесоматериалов второго ряда, м.

Для схемы, изображённой на рисунке 3в, $h_{\max Ц}$ следует рассчитывать по формуле

$$h_{\max Ц} = T_{ПСЕ} - \frac{d_{1Ср}}{2} - l_{1,2ЦХ} - l_{2,1ЦХ}, \quad (7)$$

где $l_{1,2ЦХ}$ — расстояние от центра круглого лесоматериала в первом (нижнем) ряду до хорды, которая является прямой, соединяющей точки контакта круглого лесоматериала из первого ряда с двумя круглыми лесоматериалами из второго ряда, м; $l_{2,1ЦХ}$ — 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 первого ряда, м.

В равенстве (7) $l_{1,2ЦХ}$ и $l_{2,1ЦХ}$ рассчитываются соответственно:

$$l_{1,2ЦХ} = \sqrt{\left(\frac{d_{1Cp}}{2}\right)^2 - \left(\frac{d_{1Cp}d_{2Cp}}{2(d_{1Cp} + d_{2Cp})}\right)^2}; \quad (8)$$

$$l_{2,1ЦХ} = \sqrt{\left(\frac{d_{2Cp}}{2}\right)^2 - \left(\frac{d_{1Cp}d_{2Cp}}{2(d_{1Cp} + d_{2Cp})}\right)^2}. \quad (9)$$

Ширина гибкого водонепроницаемого материала $b_{ГВМ}$ принимается равной для схем, изображённых на рисунках 3а и 3в, при длине $L_{ДКЛ}$ используемых круглых лесоматериалов, т. е. длине плоской сплочной единицы $L_{ПСЕ}$. Для схемы, приведённой на рисунке 3б, ширина гибкого водонепроницаемого материала $b_{ГВМ}$ равна ширине плоской сплочной единицы $B_{ПСЕ}$, когда $B_{ПСЕ} > L_{ПСЕ}$, если это условие не выполняется, то $b_{ГВМ} = L_{ПСЕ}$. В практических условиях при расчёте погонной нагрузки $q_{ГВМ}$ ширина гибкого водонепроницаемого материала $b_{ГВМ}$ принимается равной ширине, для которой производителем материала осуществлялось определение прочности на разрыв. Например, если производитель гибкого водонепроницаемого материала указывает в его технических характеристиках, что для материала толщиной 1,0 мм допустимая нагрузка на 1,0 м составляет n ньютонов, то $b_{ГВМ}$ принимается равным 1,0 м.

Расчётная длина гибкого водонепроницаемого материала, на которую действует погонная нагрузка, относящаяся к схемам, изображённым на рисунках 3а и 3б, устанавливается из выражения

$$l_{ГВМ} = \frac{d_{1Cp}}{2} + \frac{d_{2Cp}}{2}. \quad (10)$$

Расчётная длина гибкого материала, на длине которой действует погонная нагрузка, для схемы, представленной на рисунке 3в, определяется следующим образом:

$$l_{ГВМ} = l_{1,2ЦХ} + l_{2,1ЦХ} + l_{2,3ЦХ} + l_{3,2ЦХ}. \quad (11)$$

где $l_{2,3ЦХ}$ — 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, м; $l_{3,2ЦХ}$ — 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, м.

Из формулы (11) $l_{2,3ЦХ}$ и $l_{3,2ЦХ}$ рассчитываются соответственно:

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

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

где d_{3Cp} — средний диаметр круглых лесоматериалов второго ряда, м.

Стрела провисания гибкого водонепроницаемого материала $f_{ГВМ}$ в различных источниках рассчитывается по-разному [13], [40]. Например, в источнике [40] рекомендуется $f_{ГВМ}$ принимать равной $0,2l_{ГВМ}$.

В практических условиях для обеспечения меньшей осадки плоских сплотовых единиц необходимо обеспечивать минимальный показатель стрелы провисания гибкого водонепроницаемого материала $f_{\min ГВМ}$, что не всегда возможно. При этом максимальная стрела провисания гибкого водонепроницаемого материала $f_{\max ГВМ}$ для схем, изображённых на рисунках 3а и 3б, определяется по зависимости

$$f_{\max ГВМ} = \frac{d_{1Cp} + d_{2Cp}}{2} - 2\sqrt{\left(\frac{d_{1Cp} + d_{2Cp}}{4}\right)^2 - \left(\frac{(0,5(d_{1Cp} + d_{2Cp}))^2}{2(d_{1Cp} + d_{2Cp})}\right)^2}. \quad (14)$$

Максимальная стрела провисания гибкого водонепроницаемого материала **Ошибка! Объект не может быть создан из кодов полей редактирования.** для схемы, представленной на рисунке 3в, рассчитывается по формуле

$$f_{\max ГВМ} = \sqrt{\left(\frac{d_{2Cp}}{2}\right)^2 - (l_{2,1ЦХ})^2} = \frac{d_{1Cp}d_{2Cp}}{2(d_{1Cp} + d_{2Cp})}. \quad (15)$$

В равенстве (1) площадь поперечного сечения гибкого водонепроницаемого материала определяется следующим образом:

$$F_{ГВМ} = b_{ГВМ}h_{ГВМ}, \quad (16)$$

где $h_{ГВМ}$ — толщина гибкого водонепроницаемого материала, м.

Допускаемое напряжение в гибком водонепроницаемом материале $[\sigma_{ГВМ}]$ устанавливается из выражения

$$[\sigma_{ГВМ}] = \frac{\sigma_{ГВМ \text{ нр\o}}}{[k_{ГВМ}]}, \quad (17)$$

где $\sigma_{ГВМ\text{ прд}}$ — предельно допустимое напряжение при растяжении гибкого водонепроницаемого материала, Па; $[k_{ГВМ}]$ — коэффициент запаса прочности при растяжении гибкого водонепроницаемого материала.

Коэффициент запаса прочности $[k_{ГВМ}]$, согласно публикациям [13], [40], принимается равным 2,0.

Подставим зависимости (2), (16), (17) в неравенство (1), в результате получим:

$$\frac{q_{ГВМ} l_{ГВМ}^2}{8 f_{ГВМ} b_{ГВМ} h_{ГВМ}} \leq \frac{\sigma_{ГВМ\text{ прд}}}{[k_{ГВМ}]} \quad (18)$$

Если условие (18) выполняется, то предлагаемый гибкий водонепроницаемый материал, технические характеристики которого использовались при расчётах, пригоден для обёртывания плоских сплочных единиц. Невыполнение условия (18) предполагает осуществить выбор другого гибкого водонепроницаемого материала и выполнить его расчёт на прочность или рассчитать минимально допустимую толщину гибкого водонепроницаемого материала $h_{\min ГВМ}$, которая будет обеспечивать его прочность. Таким образом, на основании неравенства (18) минимальная допустимая толщина гибкого водонепроницаемого материала определяются по зависимости

$$h_{\min ГВМ} = \frac{[k_{ГВМ}] q_{ГВМ} l_{ГВМ}^2}{8 f_{ГВМ} b_{ГВМ} \sigma_{ГВМ\text{ прд}}} \quad (19)$$

Архимедова сила действует на дно плоских сплочных единиц, а следовательно, и на гибкий водонепроницаемый материал, который обёртывает донную часть сплочных единиц. Условие прочности гибкого водонепроницаемого материала при действии архимедовой силы запишется следующим образом:

$$\sigma_{\max AC} = \frac{H_{\max АГВМ}}{F_{ГВМ}} \leq [\sigma_{ГВМ}], \quad (20)$$

где $\sigma_{\max AC}$ — максимальное напряжение, возникающее в гибком водонепроницаемом материале от действия архимедовой силы, Па; $H_{\max АГВМ}$ — максимальное составляющее усилие, одинаковое во всех сечениях, и в данном случае — натяжение гибкого водонепроницаемого материала от действия архимедовой силы, Н.

В условии (20) натяжение гибкого водонепроницаемого материала от действия архимедовой силы рассчитывается по формуле

$$H_{\max АГВМ} = \frac{q_{АГВМ} l_{ГВМ}^2}{8 f_{ГВМ}}, \quad (21)$$

где **Ошибка! Объект не может быть создан из кодов полей редактирования.** — погонная нагрузка от архимедовой силы, действующая на гибкий водонепроницаемый материал, Н/м.

Погонная нагрузка q_{AGBM} равна:

$$q_{AGBM} = \frac{P_A}{l_{ГВМ}} = \frac{g \rho_B W_{ППСЕ}}{l_{ГВМ}}, \quad (22)$$

где $W_{ППСЕ}$ — погруженный объём плоской сплочной единицы, м³.

В зависимостях (21) и (22) $l_{ГВМ} = d_{1Ср}$, а $f_{ГВМ}$ рассчитывается по формулам (14) и (15). При этом погруженный объём плоской сплочной единицы рассчитывается по зависимости

$$W_{ППСЕ} = \frac{K_{ППСЕ} (V_{ППК} \rho_{ППК} + V_{ОПК} \rho_{ОПК} + m_{СТ} + m_{ГВМ})}{k_{ГВМ} \rho_B}, \quad (23)$$

где $K_{ППСЕ}$ — коэффициент полндревесности плоской сплочной единицы; $V_{ППК}$ — объём лесоматериалов повышенной плавучести с учётом коры, м³; $\rho_{ППК}$ — плотность лесоматериалов повышенной плавучести с учётом коры, кг/м³; $V_{ОПК}$ — объём лесоматериалов ограниченной плавучести с учётом коры, м³; $\rho_{ОПК}$ — плотность лесоматериалов ограниченной плавучести с учётом коры, кг/м³; $m_{СТ}$ — масса сплочного такелажа, кг; $m_{ГВМ}$ — масса гибкого водонепроницаемого материала, кг; $k_{ГВМ}$ — коэффициент, учитывающий увеличение геометрического объёма плоских сплочных единиц за счёт обёртывающего материала.

Подставим зависимости (16)—(17) и (21) в неравенство (20) и получим следующее условие:

$$\frac{q_{AGBM} l_{ГВМ}^2}{8 f_{ГВМ} b_{ГВМ} h_{ГВМ}} \leq \frac{\sigma_{ГВМ \text{ нр\o}}}{[k_{ГВМ}]}. \quad (24)$$

При расчётах выполнение данного условия указывает на то, что выбранный гибкий водонепроницаемый материал с определёнными техническими характеристиками пригоден для эксплуатации, а в противном случае необходимо подобрать другой водонепроницаемый материал и выполнить его расчёт на прочность или рассчитать минимально допустимую толщину гибкого водонепроницаемого материала $h_{\min ГВМ}$, которая будет обеспечивать его прочность. Из неравенства (24) $h_{\min ГВМ}$ равно:

$$h_{\min ГВМ} = \frac{[k_{ГВМ}] q_{AGBM} l_{ГВМ}^2}{8 f_{ГВМ} b_{ГВМ} \sigma_{ГВМ \text{ нр\o}}}. \quad (25)$$

Так как в соответствии с первым условием на гибкий водонепроницаемый материал действуют гидростатическое давление воды и архимедова сила, то выбор гибкого водонепроницаемого материала следует осуществлять по максимальному напряжению, возникающему в гибком водонепроницаемом материале от действия гидростатического давления или архимедовой силы, т. е. если $\sigma_{\max ГДВ} \geq \sigma_{\max АС}$, то выбор гибкого водонепроницаемого материала осуществляется по условию (18), а если $\sigma_{\max ГДВ} < \sigma_{\max АС}$, то выбор гибкого водонепроницаемого материала следует выполнять по условию (24).

По первому условию плоские сплочные единицы эксплуатируются только тогда, когда их скорость равна скорости течения воды. В практических условиях при транспортировке плоских сплочных единиц их скорость больше скорости течения реки, где кроме гидростатического давления воды на её борта дополнительно действует сила сопротивления движению, т. е. гидродинамическое давление воды. Таким образом, в соответствии со вторым условием запишем условие прочности гибкого водонепроницаемого материала при действии гидростатического и гидродинамического давления воды:

$$\sigma_{\max ГГДВ} = \frac{H_{\max ГГВМ}}{F_{ГВМ}} \leq [\sigma_{ГВМ}], \quad (26)$$

где $\sigma_{\max ГДВ}$ — максимальное напряжение, возникающее в гибком водонепроницаемом материале от гидростатического и гидродинамического давления воды, Па; $H_{\max ГГВМ}$ — максимальное составляющее усилие, одинаковое во всех сечениях, в данном случае — натяжение гибкого водонепроницаемого материала от действия гидростатического и гидродинамического давления воды, Н.

В неравенстве (26) натяжение гибкого водонепроницаемого материала от действия гидростатического и гидродинамического давления воды следует рассчитывать по зависимости

$$H_{\max ГГВМ} = \frac{q_{ГГВМ} l_{ГВМ}^2}{8 f_{ГВМ}}, \quad (27)$$

где **Ошибка! Объект не может быть создан из кодов полей редактирования.** — погонная нагрузка от гидростатической и гидродинамической сил, действующих на гибкий водонепроницаемый материал, Н/м.

Для рассматриваемого условия погонная нагрузка от гидростатической $P_{ГСД}$ и гидродинамической $P_{ГДД}$ сил рассчитывается по формуле

$$q_{ГГВМ} = \frac{P_{ГСД} + P_{ГДД}}{l_{ГВМ}}. \quad (28)$$

Силы $P_{ГСД}$ и $P_{ГДД}$ рассчитываются соответственно по формулам

$$P_{ГСД} = g \rho_B h_{\max Ц} b_{ГВМ} l_{ГВМ}; \quad (29)$$

$$P_{ГДД} = v_{ПСЕ}^2 \rho_B b_{ГВМ} l_{ГВМ}, \quad (30)$$

где $v_{ПСЕ}$ — скорость плоской сплочной единицы относительно жидкости, м/с.

В формулах (27)—(30) такие показатели, как $l_{ГВМ}$, $f_{ГВМ}$, $h_{\max Ц}$ и $b_{ГВМ}$, определяются для каждой схемы согласно вышеприведённым методикам. При этом, используя выражения (16), (17) и (27), подставим их в неравенство (26) и получим условие прочности гибкого

водонепроницаемого материала при действии на него гидростатического и гидродинамического давления жидкости:

$$\frac{q_{ГГВМ} l_{ГВМ}^2}{8 f_{ГВМ} b_{ГВМ} h_{ГВМ}} \leq \frac{\sigma_{ГВМ пр\delta}}{[k_{ГВМ}]} \quad (31)$$

Практическое выполнение условия (31) регламентирует о том, что выбор гибкого водонепроницаемого материала выполнен верно, а следовательно, плоские сплоточные единицы могут оборачиваться в данный материал, который будет обеспечивать стабилизированный запас их плавучести. Если условие (31) не выполняется, то необходимо осуществить подбор другого водонепроницаемого материала или рассчитать минимально допустимую толщину материала $h_{\min ГВМ}$, при которой выполнение условия (31) обеспечено. Таким образом, выразим из неравенства (31) минимально допустимую толщину материала $h_{\min ГВМ}$:

$$h_{\min ГВМ} = \frac{[k_{ГВМ}] q_{ГГВМ} l_{ГВМ}^2}{8 f_{ГВМ} b_{ГВМ} \sigma_{ГВМ пр\delta}} \quad (32)$$

Выбор гибкого водонепроницаемого материала необходимо осуществлять по максимальному напряжению, возникающему в гибком водонепроницаемом материале от действия выталкивающей силы, и от действия в совокупности гидростатического и гидродинамического давления воды. Когда $\sigma_{\max ГГДВ} \geq \sigma_{\max АС}$, то выбор гибкого водонепроницаемого материала осуществляется по условию (31), а если $\sigma_{\max ГГДВ} < \sigma_{\max АС}$, то выбор гибкого водонепроницаемого материала необходимо выполнять по условию (24).

Существует необходимость транспортировки плоских сплоточных единиц по суше от сплоточных машин к водному объекту, спуска их на воду и выгрузки из воды, перегрузки с воды на баржи (суда), а также транспортировки на рейдах приплава от места складирования до расформировочной машины. Перемещение может осуществляться с помощью специальных транспортных машин или, например, кранами за гибкий водонепроницаемый материал. В результате этого гибкий водонепроницаемый материал воспринимает нагрузку от веса сплоточной единицы, что регламентирует последнее условие эксплуатации. На основании вышесказанного запишем условие прочности гибкого водонепроницаемого материала следующим образом:

$$\sigma_{\max ВПСЕ} = \frac{N_{\max ГВМ}}{F_{ГВМ}} \leq [\sigma_{ГВМ}], \quad (33)$$

где $\sigma_{\max ВПСЕ}$ — максимальное напряжение, возникающее в гибком водонепроницаемом материале от веса плоской сплоточной единицы, Па; $N_{\max ГВМ}$ — максимальная продольная растягивающая сила, возникающая в поперечном сечении гибкого водонепроницаемого материала, Н.

В неравенстве (33) $[\sigma_{ГВМ}]$ определяется по формуле (17), а максимальная продольная растягивающая сила, возникающая в поперечном сечении гибкого водонепроницаемого материала, будет равна весу плоской сплottedной единицы $G_{ПСЕ}$. При этом $F_{ГВМ}$ в данном случае имеет свои особенности расчёта в зависимости от того, каким образом будут подниматься плоские сплottedные единицы за гибкий водонепроницаемый материал. Если планируется поднимать лесотранспортную единицу за две части гибкого водонепроницаемого материала, которые контактируют с её правым и левым бортами или с задней и передней частями, то расчёт площади поперечного сечения гибкого водонепроницаемого материала будет осуществляться соответственно по формулам

$$F_{ГВМ} = 2h_{ГВМ} B_{ПСЕ}; \quad (34)$$

$$F_{ГВМ} = 2h_{ГВМ} L_{ПСЕ}. \quad (35)$$

Для обеспечения более надёжной эксплуатации плоских сплottedных единиц рационально их поднимать за четыре части гибкого водонепроницаемого материала, чтобы нагрузка от веса сплottedной единицы распределялась на всю площадь поперечного сечения материала. На основании этого $F_{ГВМ}$ будет определяться по зависимости

$$F_{ГВМ} = h_{ГВМ} (2L_{ПСЕ} + 2B_{ПСЕ}). \quad (36)$$

Учитывая, что $N_{\max КРП} = G_{ПСЕ}$, и подставив зависимости (17) и (36) в условие (33), получим следующее неравенство:

$$\frac{G_{ПСЕ}}{h_{ГВМ} (2L_{ПСЕ} + 2B_{ПСЕ})} \leq \frac{\sigma_{ГВМ \text{ пр} \delta}}{[k_{ГВМ}]}. \quad (37)$$

Из неравенства (37) минимальная допустимая толщина $h_{\min ГВМ}$ гибкого водонепроницаемого материала составит:

$$h_{\min ГВМ} = \frac{[k_{ГВМ}] G_{ПСЕ}}{h_{ГВМ} (2L_{ПСЕ} + 2B_{ПСЕ})}. \quad (38)$$

Реализация неравенства (37) указывает на то, что выбор гибкого водонепроницаемого материала выполнен верно, а его технические характеристики способны обеспечивать надёжную эксплуатацию плоских сплottedных единиц. В противном случае необходимо подобрать другой материал и произвести аналогичные расчёты или с помощью зависимости (38) определить его минимально допустимую толщину.

В случае, когда при выполнении сплавных работ планируется поднимать и опускать плоские сплottedные единицы за гибкий водонепроницаемый материал, то перед тем, как осуществлять проверку условия прочности (37), следует провести проверку по максимальному напряжению, возникающему в гибком водонепроницаемом материале, от действия выталкивающей силы, гидростатического и гидродинамического давления воды,

а также от действия растягивающей силы, возникающей от веса сплочной единицы. Когда выполняются следующие неравенства $\sigma_{\max AC} \leq \sigma_{\max ГГДВ} \leq \sigma_{\max ВПСЕ}$ или $\sigma_{\max ГГДВ} \leq \sigma_{\max AC} \leq \sigma_{\max ВПСЕ}$, то проверку на прочность необходимо реализовывать по условию (37), а расчёт минимальной толщины гибкого водонепроницаемого материала — по формуле (38). Если происходит выполнение неравенств $\sigma_{\max ВПСЕ} \leq \sigma_{\max AC} \leq \sigma_{\max ГГДВ}$ или $\sigma_{\max AC} \leq \sigma_{\max ВПСЕ} \leq \sigma_{\max ГГДВ}$, то проверку на прочность следует осуществлять по условию (31), при этом расчёт минимальной толщины гибкого водонепроницаемого материала надо выполнить по формуле (32). В последнем случае, когда $\sigma_{\max ВПСЕ} \leq \sigma_{\max ГГДВ} \leq \sigma_{\max AC}$ или $\sigma_{\max ГГДВ} \leq \sigma_{\max ВПСЕ} \leq \sigma_{\max AC}$, все проверочные расчёты на прочность будут выполняться по условию (24). В свою очередь, минимальная толщина гибкого водонепроницаемого материала при необходимости определится из выражения (25). Важно отметить, что при проведении проверочных расчётов по максимальному напряжению, возникающему в гибком водонепроницаемом материале от действия вашерассмотренных сил, необходимо во всех расчётах использовать одинаковую площадь поперечного сечения $F_{ГВМ}$.

Практическая реализация технологии транспортировки круглых лесоматериалов в плоских сплочных единицах со стабилизированным запасом плавучести требует использовать синтетические гибкие водонепроницаемые материалы, которые хорошо себя зарекомендовали в промышленности [1], [13], [41], [42]. Например, для обёртывания современных плоских сплочных единиц рекомендовано использовать материал типа 23-М или брезент повышенной прочности и водоупорности, которые применяются при изготовлении пневматических строительных конструкций [1], [13]. Из данных материалов с помощью сварки [43] можно изготавливать различного рода комбинированные гибкие водонепроницаемые элементы, удовлетворяющие всем требованиям, предъявляемым к водонепроницаемым тканям, для использования на сплаве лесоматериалов [13]. Особое внимание необходимо обратить на современные [1], [41], [42] гибкие водонепроницаемые материалы (армированные брезенты повышенной прочности, тарпаулин и т. д.), которые в настоящее время характеризуются высокими физико-механическими свойствами и широкой областью применения в различных отраслях. При этом следует отметить, что для обеспечения полной сохранности гибкого материала необходимо приходить к обёртыванию внутренней части сплочных единиц, где круглые лесоматериалы, находящиеся на дне и по бортам сплочных единиц, будут сохранять водонепроницаемый материал от внешних повреждений.

4. Обсуждение и заключение

Предлагаемые мероприятия по обёртыванию современных плоских сплочных единиц в гибкий водонепроницаемый материал дали возможность достичь существенных результатов, повышающих их транспортно-эксплуатационные показатели. К данным показателям относятся: малая осадка и стабилизированный запас плавучести. Обеспечение

плоских сплочных единиц малой осадкой и стабилизированным запасом плавучести осуществляется не только за счёт гибкого водонепроницаемого материала, но и за счёт правильного его выбора с учётом всех внешних сил, действующих на сплочные единицы в различных условиях плавания.

Предложенная методика расчёта требуемой прочности гибкого водонепроницаемого материала, предназначенного для обертывания усовершенствованных плоских сплочных единиц, учитывает два основных фактора. Первый фактор — это особенности расположения круглых лесоматериалов в плоских сплочных единицах, которые способны обёртываться в гибкий водонепроницаемый материал, он выражен в схемах для расчёта прочности гибкого водонепроницаемого материала. Второй фактор учитывает действие всех внешних сил на плоскую сплочную единицу при сплаве её самосплавом или в составе плота, а также при транспортировке её на береговых складах, перемещениях на формировочных и погрузочных рейдах и рейдах приплава. Данный фактор выражен основными зависимостями по расчёту прочности гибкого водонепроницаемого материала.

Практическое использование приведённой методики расчёта требуемой прочности гибкого водонепроницаемого материала позволит полноценно обеспечить современные плоские сплочные единицы малой осадкой и стабилизированным запасом плавучести, а также поставку высококачественной древесины потребителям. При этом плоские сплочные единицы с постоянным стабилизированным запасом плавучести дают возможность возобновить транспортировку круглых лесоматериалов на реках, где ранее проводился молевой сплав древесины.

Список литературы

1. *Васильев В. В., Афоничев Д. Н.* Усовершенствованные системы плотового сплава лесоматериалов: [монография]. Saarbrücken (Германия): LAP LAMBERT Academic Publishing, 2014. 284 с.
2. Водный кодекс Российской Федерации: текст с последними изменениями и дополнениями на 2022 г. М.: Эксмо, 2022. 64 с. (Законы и кодексы).
3. *Васильев В. В.* Обоснование параметров транспортно-технологической схемы поставки древесины в плоских сплочных единицах по принципу плот (линейка) – плот // *Resources and Technology*. 2021. № 2, т. 18. С. 48—78. DOI: 10.15393/j2.art.2021.5603.
4. *Васильев В. В., Афоничев Д. Н.* Использование плоских сплочных единиц на первоначальном сплаве лесоматериалов // *Известия вузов. Лесной журнал*. 2022. № 1. С. 128—142. DOI: 10.37482/0536-1036-2022-1-128-142.
5. *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: Студия печати Галины Золотовой, 2019. С. 188—191.
6. *Митрофанов А. А.* Лесосплав. Новые технологии, научное и техническое обеспечение. Архангельск: Изд-во АГТУ, 2007. 492 с.

7. *Афоничев Д. Н., Папонов Н. Н., Васильев В. В.* Сплоточная единица стабилизированной плавучести // Известия высших учебных заведений. Лесной журнал. Архангельск: САФУ, 2010. № 6. С. 114—120.
8. *Васильев В. В.* Изменение осадки плоской плоточной единицы // Лесотехнический журнал. Воронеж: ВГЛТА, 2013. № 1 (9). С. 78—86.
9. *Васильев В. В.* Плоская плоточная единица для первоначального и магистрального плотового сплава круглых лесоматериалов // Актуальные проблемы развития лесного комплекса: Материалы междунар. научно-технич. конф. Вологда: ВоГТУ, 2015. С. 66—68.
10. *Васильев В. В.* Модернизированный плот для рек с малыми глубинами // Вестник ПГТУ. Серия: Лес. Экология. Природопользование. 2015. № 1. С. 45—58.
11. *Васильев В. В.* Особенности формирования осадки плоских плоточных единиц при полном и частичном обертывании в гибкий водонепроницаемый материал // Современные машины, оборудование и IT-решения лесопромышленного комплекса: теория и практика: Материалы Всерос. научно-практич. конф., Воронеж, 17 июня 2021 г. Воронеж: ФГБОУ ВО «Воронежский государственный лесотехнический университет имени Г. Ф. Морозова», 2021. С. 34—39. URL: <https://vgltu.ru/universitet/fakultety/lesopromyshlennyj-fakultet/sovremennye-ashiny-oborudovanie-i-it-resheniya-lesopromyshlennogo-kompleksa-teoriya-i-praktika/>. Текст: электронный.
12. *Васильев В. В.* Особенности формирования осадки плоской плоточной единицы // Лесотехнический журнал. 2014. № 1 (13). С. 79—84.
13. *Афоничев Д. Н., Папонов Н. Н., Васильев В. В.* Выбор гибкого водонепроницаемого материала для стабилизации плавучести плоточных единиц // Лесотехнический журнал. Воронеж: ВГЛТА, 2011. № 1 (1). С. 95—99.
14. Патент № 2381949 РФ, МПК В 63 В 35/62, 35/58. Сплоточная единица / Д. Н. Афоничев, Н. Н. Папонов, В. В. Васильев; заявитель и патентообладатель ВГЛТА. № 2008146180/11; заявл. 21.11.2008; опубл. 20.02.2010. Бюл. № 5. 7 с.
15. Патент № 2043255 РФ, МПК В 63 В 35/62. Сплоточная единица / А. А. Митрофанов, Г. Я. Суров, М. Н. Фоминцев; заявитель и патентообладатель Архангельский ЛТИ. № 4928310/11; заявл. 18.04.1992; опубл. 10.09.1995 г. Бюл. № 25. 4 с.
16. Патент № 2456199 РФ, МПК В 63 В 35/62. Сплоточная единица / Д. Н. Афоничев, В. В. Васильев, Н. Н. Папонов; заявитель и патентообладатель ГОУ ВПО «Воронежская государственная лесотехническая академия». № 2011107805/11; заявл. 28.02.2011; опубл. 20.07.2012. Бюл. № 20. 7 с.
17. Патент № 2456200 РФ, МПК В 63 В 35/62. Сплоточная единица / В. В. Васильев; заявитель и патентообладатель ГОУ ВПО «Воронежская государственная лесотехническая академия». № 2011108194/11; заявл. 02.03.2011; опубл. 20.07.2012. Бюл. № 20. 6 с.
18. Патент № 2460679 РФ, МПК В 65 G 69/20, В 65 В 27/10. Плоская плоточная единица / В. В. Васильев, Д. Н. Афоничев; заявитель и патентообладатель ГОУ ВПО «Воронежская государственная лесотехническая академия». № 2011109353/13; заявл. 11.03.2011; опубл. 10.09.2012. Бюл. № 25. 7 с.
19. Патент № 2525498 РФ, МПК В 63 В 35/62. Плоская плоточная единица / В. В. Васильев, Д. Н. Афоничев, В. А. Морковин, Н. Н. Папонов; заявитель и патентообладатель ВГЛТА. № 2013122624/11; заявл. 16.05.2013, опубл. 20.08.2014. Бюл. № 23. 11 с.

20. 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.
21. 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. № 0502132; la date de la demande 03.03.05; la date de parution 21.10.2005, bulletin 06/36. 14 p.
22. 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). № 36, 157; la date de la demandé 26.10.1965; la date de publié 02.10.1966. 4 p.
23. *Smits Alexander J.* A physical introduction to fluid mechanics. Copyright A. J. Smits, 2019. 336 p.
24. *Modi Dr. P. N., Seth Dr. S. M.* Hydraulics and fluid mechanics including hydraulics mechanics. STANDART BOOK HOUSE (SINCE 1960), 2018. 1403 p.
25. *Brater Ernest F., King Horace Williams, Lindell James E., Wei C. Y.* Handbook of hydraulics. New York: McGraw-Hill Professionsl, 1996. 313 p.
26. *Walker Jearl, Halliday David, Resnick Robert.* Fundamentals of physics. Wiley, 2014. 1450 p.
27. *Bettini Alessandro.* A course in classical physics 2 — fluids and thermodynamics. Springer, 2016. 248 p.
28. *Khurmi R. S.* Hydraulics, fluid mechanics and hydraulics mechanics. Springer, 2000. 671 p.
29. *Belyayev N. M.* Problems in strength of materials. Elsevier, 1966. 539 p.
30. *Stephens R. C.* Strength of materials. Theory and examples. Edward Arnold, 1970. 314 p.
31. *Vitor Dias da Silva.* Mechanics and strength of materials. Springer, 2006. 531 p.
32. *Patnaik Surya, Hopkins Dale.* Strength of aterials: a new unified theory for the 21st century. Butterworth; Heinemann (Elsevier), 2004. 771 p.
33. *Boresi Arthur P., Schmidt Richard J., Sidebottom Omar M.* Advanced mechanics of materials. Wiley, 1993. 827 p.
34. 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.
35. *Broutman L.* Interfaces in composites. New York: ASTM, 1968. 198 p.
36. *Den Hartog J. P.* Strength of materials. Dover Publications, 1961. 346 p.
37. *Skalmierski Bogdan.* Mechanics and strength of materials. Academic Press, Elsevier, 1979. 435 p.
38. *Komarovsky Anatoly A., Astakhov Viktor P.* Physics of strength and fracture control: adaptation of engineering materials and structures. CRC Press, 2002. 629 p.
39. *Писаренко Г. С., Яковлев А. П., Матвеев В. В.* Справочник по сопротивлению материалов. 2-е изд., перераб. и доп. Киев: Наукова думка, 1988. 736 с.
40. *Пашевский Л. И.* Переносная тросо-спицевая плотина для лесосплава. М.: Лесбумиздат, 1947. 39 с.
41. Advances in civil engineering and building materials IV / Shuenn-Yih Chang, Suad Khalid Al Bahar, Adel Abdulmajeed M. Husain, Jingying Zhao. CRC Press, 2015. 424 p.
42. *Haimei Zhang.* Building materials in civil engineering. Woodhead Publishing, 2011. 452 p.
43. *Арзуманов А. А., Васильев В. В.* Сварные соединения синтетических тканей мягких оболочек лесной отрасли. Воронеж: ВГЛТА, 2008. 32 с. Деп. в ВИНТИ 04.05.08, № 384-B2008.

References

1. Vasiliev V. V., Afonichev D. N. *Improved systems of raft timber alloy: [monograph]*. Saarbrücken (Germany), Publishing house of LAP LAMBERT Academic Publishing, 2014. 284 p. (In Russ.)
2. 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.)
3. Vasiliev V. V. Justification 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, no. 2, vol. 18, pp. 48—78. URL: <https://rt.petsru.ru/journal/article.php?id=5603>. doi: 10.15393/j2. art. 2021.5603. Text. Image: electronic. (In Russ.)
4. Vasiliev V. V., Afonichev D. N. The use of flat splice units on the initial timber alloy. *Izv. vuzov. Lesn. zhurn.*, 2022, no. 1, pp. 128—142. doi: 10.37482/0536-1036-2022-1-128-142. (In Russ.)
5. Vasiliev V. V., Aksenov I. I. Analysis of the structures of promising flat splice units. *Improving the efficiency of resource use 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 of Galina Zolotova», 2019, pp. 188—191. (In Russ.)
6. Mitrofanov A. A. *Lesosplav. New technologies, scientific and technical support*. Arkhangelsk, Publishing house of AGTU, 2007. 492 p. (In Russ.)
7. Afonichev D. N., Paponov N. N., Vasiliev V. V. A cohesive unit of stabilized buoyancy. *Izvestia of higher educational institutions. Forest Journal*. Arkhangelsk, SAFU, 2010, no. 6, pp. 114—120. (In Russ.)
8. Vasiliev V. V. Change in the precipitation of a flat flat unit. *Forestry journal*. Voronezh, VGLTA, 2013, no. 1 (9), pp. 78—86. (In Russ.)
9. 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*. Vologda, VoGTU, 2015, pp. 66—68. (In Russ.)
10. Vasiliev V. V. Modernized raft for rivers with shallow depths. *Vestnik PSTU. Series: Forest Ecology. Environmental management*, 2015, no. 1, pp. 45—58. (In Russ.)
11. Vasiliev V. V. Features of the formation of precipitation of flat cohesive units with full and partial wrapping in a flexible waterproof material. *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, Voronezh State Forestry University named after G. F. Morozov, 2021, pp. 34—39. URL: <https://vgltu.ru/universitet/fakultety/lesopromyshlennyj-fakultet/sovremennye-ashiny-oborudovanie-i-it-resheniya-lesopromyshlennogo-kompleksa-teoriya-i-praktika/>. Text. Image: electronic. (In Russ.)
12. Vasiliev V. V. Features of the formation of the precipitation of a flat flat unit. *Forestry journal*. 2014, no. 1 (13), pp. 79—84. (In Russ.)
13. Afonichev D. N., Paponov N. N., Vasiliev V. V. The choice of a flexible waterproof material for stabilizing the buoyancy of cohesive units. *Forestry journal*. Voronezh, VGLTA, 2011, no. 1 (1), pp. 95—99. (In Russ.)
14. Afonichev D. N., Paponov N. N., Vasiliev V. V. Patent No. 2381949 of the Russian Federation, IPC B 63 B 35/62, 35/58. A cohesive unit; applicant and patent holder of VGLTA. No. 2008146180/11; application 21.11.2008; publ. 20.02.2010. Bul. No. 5. 7 p. (In Russ.)

15. Mitrofanov A. A., Surov G. Ya., Fomintsev M. N. Patent No. 2043255 of the Russian Federation, IPC In 63 In 35/62. A cohesive unit; applicant and patent holder Arkhangelsk LT. No. 4928310/11; application 18.04.1992; publ. 10.09.1995. Bul. No. 25. 4 p. (In Russ.)
16. Afonichev D. N., Vasiliev V. V., Paponov N. N. Patent No. 2456199 of the Russian Federation, IPC B 63 B 35/62. Cohesive unit; applicant and patent holder of the Voronezh State Forestry Academy. No. 2011107805/11; application 28.02.2011; publ. 20.07.2012. Bul. No. 20. 7 p. (In Russ.)
17. Vasiliev V. V. Patent No. 2456200 RF, IPC B 63 B 35/62. Cohesive unit; applicant and patent holder of the Voronezh State Forestry Academy. No. 2011108194/11; application 02.03.2011; publ. 20.07.2012. Bul. No. 20. 6 p. (In Russ.)
18. Vasiliev V. V., Afonichev D. N. Patent No. 2460679 RF, IPC B 65 G 69/20, B 65 B 27/10. Flat cohesive unit; applicant and patent holder of the Voronezh State Forestry Academy. No. 2011109353/13; application 11.03.2011; publ. 10.09.2012. Bul. No. 25. 7 p. (In Russ.)
19. Vasiliev V. V., Afonichev D. N., Morkovin V. A., Paponov N. N. Patent No. 2525498 of the Russian Federation, IPC B 63 B 35/62. Flat cohesive unit; applicant and patent holder of VGLTA. No. 2013122624/11; application No. 16.05.2013, publ. 20.08.2014. Byul. No. 23. 11 p. (In Russ.)
20. 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.
21. 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. № 0502132; la date de la demande 03.03.05; la date de parution 21.10.2005, bulletin 06/36. 14 p.
22. 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). № 36, 157; la date de la demandé 26.10.1965; la date de publié 02.10.1966. 4 p.
23. Smits Alexander J. *A physical introduction to fluid mechanics*. Copyright A. J. Smits, 2019. 336 p.
24. Modi Dr. P. N., Seth Dr. S. M. *Hydraulics and fluid mechanics including hydraulics mechanics*. STANDART BOOK HOUSE (SINCE 1960), 2018. 1403 p.
25. Brater Ernest F., King Horace Williams, Lindell James E., Wei C. Y. *Handbook of hydraulics*. New York, McGraw-Hill Professionalsl, 1996. 313 p.
26. Walker Jearl, Halliday David, Resnick Robert. *Fundamentals of physics*. Wiley, 2014. 1450 p.
27. Bettini Alessandro. *A course in classical physics 2 — fluids and thermodynamics*. Springer, 2016. 248 p.
28. Khurmi R. S. *Hydraulics, fluid mechanics and hydraulics mechanics*. Springer, 2000. 671 p.
29. Belyayev N. M. *Problems in strength of materials*. Elsevier, 1966. 539 p.
30. Stephens R. C. *Strength of materials. Theory and examples*. Edward Arnold, 1970. 314 p
31. Vitor Dias da Silva. *Mechanics and strength of materials*. Springer, 2006. 531 p.
32. Patnaik Surya, Hopkins Dale. *Strength of aterials: a new unified theory for the 21st century*. Butterworth; Heinemann (Elsevier), 2004. 771 p.
33. Boresi Arthur P., Schmidt Richard J., Sidebottom Omar M. *Advanced mechanics of materials*. Wiley, 1993. 827 p.
34. 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.
35. Broutman L. *Interfaces in composites*. New York, ASTM, 1968. 198 p.
36. Den Hartog J. P. *Strength of materials*. Dover Publications, 1961. 346 p.

37. Skalmierski Bogdan. *Mechanics and strength of materials*. Academic Press, Elsevier, 1979. 435 p.
38. Komarovskiy Anatoly A., Astakhov Viktor P. *Physics of strength and fracture control: adaptation of engineering materials and structures*. CRC Press, 2002. 629 p.
39. Pisarenko G. S., Yakovlev A. P., Matveev V. V. *Handbook on the resistance of materials: 2nd ed., revised supplement*. Kiev, Naukova dumka, 1988. 736 p. (In Russ.)
40. Pashevskiy L. I. *Portable rope-spoke dam for timber melting*. Moscow, Lesbumizdat, 1947. 39 p. (In Russ.)
41. Shuenn-Yih Chang, Suad Khalid Al Bahar, Adel Abdulmajeed M. Husain, Jingying Zhao. *Advances in civil engineering and building materials IV*. CRC Press, 2015. 424 p.
42. Haimei Zhang. *Building materials in civil engineering*. Woodhead Publishing, 2011. 452 p.
43. Arzumanov A. A., Vasiliev V. V. Welded joints of synthetic fabrics of soft shells of the forest industry. Voronezh, VGLTA, 2008. 32 p. Dep. in VINITI 04.05.08, no. 384-V2008. (In Russ.)

© Васильев В. В., Афоничев Д. Н., 2022