



УДК 634.0.378

DOI: 10.17238/issn0536-1036.2016.3.98

КОМПЛЕКСНАЯ ОЦЕНКА ПРОЧНОСТНЫХ ХАРАКТЕРИСТИК ПЛАВАЮЩЕГО ПАКЕТА КРУГЛЫХ ЛЕСОМАТЕРИАЛОВ

С.В. Посыпанов, канд. техн. наук, доц.

Северный (Арктический) федеральный университет имени М.В. Ломоносова,
наб. Северной Двины, д. 17, г. Архангельск, Россия, 163002;
e-mail: s.posypanov@narfu.ru

В связи с значительным повышением требований к экологической безопасности лесосплава, исключению потерь древесины при транспортировке ее по воде существенно возрастает важность правильной оценки прочностных характеристик лесотранспортных единиц, прежде всего их первичных элементов – пакетов круглых лесоматериалов, лесосплавных пучков. Актуальность темы также обусловлена появлением новых перспективных лесотранспортных единиц – пакетных пучков, прочностная оценка которых невозможна без основательного подхода к рассмотрению этого вопроса. Представленная в литературе информация по данной теме свидетельствует, что предлагаемые формулы имеют преимущественно эмпирический характер, неточно отражают физическую сущность явлений. Эмпирические формулы учитывают зависимость отдельных прочностных характеристик от тех или иных определяющих факторов, но не позволяют получить целостную картину. Результаты расчетов по различным формулам иногда существенно отличаются. Критерии прочностных характеристик пакета, по мнению автора, требуют пересмотра. При выполнении работы использован теоретический метод исследований с фрагментарной проверкой полученных аналитических зависимостей и положений на той части имеющегося материала экспериментального происхождения, которая наиболее достоверна. В результате проведенных исследований разработаны теоретические основы оценки прочностных характеристик плавающего пакета круглых лесоматериалов, получены аналитические зависимости для определения натяжений как в верхних, так и в нижних ветвях его обвязок. Взамен используемых прочностных характеристик плавающего пакета введены понятия его поперечной и продольной прочности, которые определяют прочность пакета в целом, предложен комплексный критерий для оценки продольной прочности плавающего пакета, получена аналитическая формула для его определения, даны рекомендации по его практическому применению. Результаты работы следует использовать при подборе обвязок пакетов круглых лесоматериалов, пучков и назначении геометрических параметров этих сплоченных единиц в целях обеспечения надлежащих прочностных характеристик. Кроме того, полученные материалы являются базой для разработки подхода к оценке прочностных характеристик новых сплоченных единиц – пакетных пучков.

Ключевые слова: лесосплав, круглые лесоматериалы, пакет, пучок, обвязка, прочность.

В настоящее время уделяется особое внимание экологической безопасности лесосплава, исключению потерь при транспортировке древесины по воде. В связи с этим возрастает важность правильной оценки прочностных характеристик лесотранспортных единиц, в том числе пакетов круглых лесоматериалов, лесосплавных пучков. Актуальность темы также обуславливает факт внедрения в производство новых перспективных лесотранспортных единиц – пакетных пучков [8], оценка прочностных характеристик которых также необходима, но она невозможна без основательного рассмотрения означенного вопроса. Учитывая, что пучок может представлять собой одиночный пакет или состоять из нескольких пакетов, далее будем использовать термин «пакет».

К прочностным характеристикам пакета согласно существующей ныне трактовке следует отнести его прочность и волноустойчивость. Под прочностью лесосплавного пакета понимается способность его обвязок обеспечивать сохранение формы пакета под действием сил распора лесоматериалов. Она характеризуется прочностью обвязок [6]. На наш взгляд, сводить прочность пакета только к прочности его обвязок не совсем верно. Даже в соответствии с приведенной формулировкой прочность предполагает сохранение формы пакета. Однако нарушение его формы (даже целостности) возможно при обеспечении необходимой прочности обвязок. При недостаточных силах распора в пакете его лесоматериалы под воздействием внешних факторов могут смещаться в продольном направлении относительно друг друга и относительно обвязок, что предполагает указанные негативные последствия.

Способность противостоять упомянутым продольным смещениям обычно характеризуется коэффициентом формы пакета C , равным отношению его ширины B к высоте H . Чем меньше коэффициент C , тем больше (при прочих равных условиях) усилия взаимодействия лесоматериалов пакета с обвязками и между собой и, соответственно, тем лучше лесоматериалы и обвязки удерживаются от относительных продольных смещений. Коэффициент C принято считать критерием волноустойчивости пакета, под которой понимается его способность противостоять выплыванию из него отдельных лесоматериалов при надлежащей прочности обвязок. Можно предположить, что при транспортировке древесины по средним и, особенно, по малым рекам, где волнение водной поверхности незначительно, критерий C является несущественным. В действительности это не так. Упомянутые продольные смещения возможны не только под воздействием волнения, но и в результате взаимодействий пакетов друг с другом, с наплавными сооружениями, береговыми откосами, дном водоема, механизмами, т. е. коэффициент C значим и при полном отсутствии волнения. На практике это обычно имеет вид.

Таким образом прочность лесосплавного пакета оценивают по прочности его обвязок и коэффициенту C . При очень значительном варьировании плотности лесоматериалов–древесины (ρ_d , кг/м³) учитывают еще и этот фактор. Например, если по техническим условиям для пакетов из еловых и сосно-

вых лесоматериалов максимально допустимое значение $C = 2,50$, то для пакетов из лиственных сортиментов на этом же маршруте $C = 1,75$ [4]. Отметим, что с помощью критерия C можно сравнивать прочности пакетов при условии одинаковой плотности лесоматериалов. При равных C возможно сопоставлять прочность пакетов с разными ρ_d . Комплексная количественная оценка прочности пакетов с учетом обоих факторов пока не используется.

В связи с изложенным выше необходимо: заменить названия и толкования прочностных характеристик лесосплавного пакета; уточнить соотношение значимости критериев C и ρ_d и оправданность применения одинаковых допустимых значений C для пакетов из лесоматериалов с отличающимися плотностями, например еловых и сосновых; установить влияние других факторов на прочность пакета; предложить комплексный количественный критерий прочности.

Считаем, что вместо используемых ныне понятий прочности и волноустойчивости пакета следует применять понятия его поперечной и продольной прочности, от которых зависит прочность пакета в целом. Поперечная прочность пакета характеризуется прочностью его обвязок, продольная – способностью противостоять продольному смещению составляющих его лесоматериалов относительно друг друга и обвязок.

Известно, что лесоматериалы в пакете лучше удерживаются от продольных смещений при большем натяжении обвязок. Учитывая это, используем известные выражения для определения натяжения в обвязках. В литературе для плавающего пакета преимущественно приводятся формулы для верхних ветвей обвязок, где суммарное натяжение R_B максимально. В справочнике [5] предлагается наиболее простая зависимость:

$$R_B = kmg, \quad (1)$$

где k – коэффициент пропорциональности для пакетов на спокойной воде,

$$k = \frac{0,025}{C - 0,7}; \quad (2)$$

m – масса пакета, кг;

g – ускорение свободного падения, м/с².

Отметим, что в явном виде плотность лесоматериалов в выражении (1) не представлена. В источниках [2, 7] рекомендуется следующая формула:

$$R_B = 0,08mg \frac{2,7 + (4,4 - 7,1\rho_0)\rho_0}{5,9C - 5,05}, \quad (3)$$

где ρ_0 – относительная плотность лесоматериалов, $\rho_0 = \rho_d/\rho_v$;

ρ_v – плотность воды, кг/м³.

Если ввести обозначение

$$k = 0,08 \frac{2,7 + (4,4 - 7,1\rho_0)\rho_0}{5,9C - 5,05},$$

то формула (3) будет аналогична формуле (1).

Расчеты показывают, что при уменьшении C от 2,5 до 2,0 коэффициент k , а следовательно, и натяжение в верхних ветвях обвязок увеличивается на 44 %, при уменьшении от 3,0 до 2,0 – на 87 %. Снижение ρ_d от 850 до 700 кг/м³ приводит к увеличению k на 75 % при любых значениях C . Это свидетельствует о сопоставимой значимости рассматриваемых факторов и необходимости их комплексного учета при оценке прочности пакета.

Заметим, что приведенные формулы являются эмпирическими. Связь между натяжением обвязок и первичными факторами, изначально определяющими величину этого натяжения, в явном виде в этих формулах не отражена. Масса пакета, коэффициент формы – это факторы, производные от первичных. Согласно выражению (1) натяжение в обвязках прямо пропорционально массе пакета. Такое же заключение можно сделать и по формуле (3), если не обращать внимание на корректировку посредством ρ_0 . Но из практики известно, что при идентичности геометрических характеристик обвязки плавающего пакета из березы натянуты слабее, чем у пакета из еловых лесоматериалов, хотя масса первого больше.

В формулах (1) и (2) совсем не учитывается влияние ρ_d . При $C = 2,0 \dots 3,0$ они дают результаты, близкие к полученным по зависимости (3) только при $\rho_d = 800$ кг/м³. Вероятно, лишь для этих условий выражения (1) и (2) и получены. Рассмотренные выражения не могут быть использованы для ответов на поставленные выше вопросы. Приведенные здесь комментарии относятся и к реже используемым зависимостям.

Для получения аналитических формул, более явно и более многогранно отражающих зависимость интересующих нас величин от первичных факторов, обратимся к расчетным схемам, представленным на рис. 1.

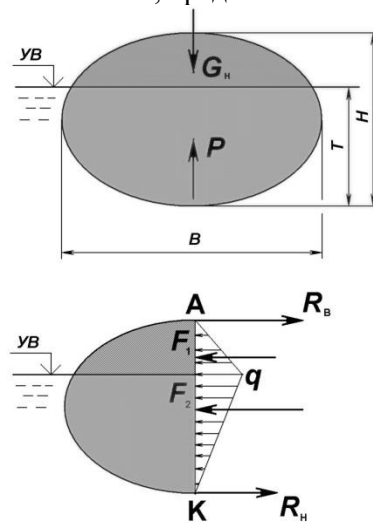


Рис.1. Расчетные схемы плавающего пакета

На лесоматериалы плавающего пакета, расположенные выше уровня воды, действует сила тяжести, на подводную часть лесоматериалов наряду с силой тяжести действует сила Архимеда. Равнодействующие внешних сил для надводной и подводной частей пакета обозначены соответственно G_H и P . Под действием этих сил происходит вертикальное сжатие пакета, в результате чего возникают силы распора, которые уравниваются реакциями в обвязках.

Рассмотрим усилия, действующие в наиболее высоком продольном вертикальном сечении пакета, делящем его на две равные части. При этом совокупность лесоматериалов пакета будем рассматривать как сыпучую среду [1, 9]. Вертикальное давление (p , Па) в этой среде (на рис. 1 не отражено) линейно возрастает по мере приближения к поверхности воды.

Для надводной части пакета имеем:

$$p = \rho_d \eta g h_B; \quad (4)$$

для подводной:

$$p = (\rho_B - \rho_d) \eta g h_H, \quad (5)$$

где η – коэффициент полндревесности пакета [3, 6];

h_B и h_H – соответственно расстояние по вертикали от самой верхней и самой нижней точек пакета, м.

Известно, что горизонтальное давление (q , Па) пропорционально вертикальному p [10]:

$$q = p \lambda_a, \quad (6)$$

где λ_a – коэффициент активного давления.

С учетом выражений (4) и (6) равнодействующая сил распора для надводной части пакета

$$F_1 = 0,5 \rho_d \eta g \lambda_a (H - T)^2 L; \quad (7)$$

для подводной:

$$F_2 = 0,5 \rho_d \eta g \lambda_a (H - T) T L, \quad (8)$$

где H , T , L – соответственно высота, осадка и длина пакета, м.

Сумма моментов относительно точки А:

$$R_H H - \frac{2}{3} (H - T) F_1 - \left(H - \frac{2}{3} T \right) F_2 = 0; \quad (9)$$

относительно точки К:

$$F_1 \left(T + \frac{1}{3} (H - T) \right) + F_2 \frac{2}{3} T - R_B H = 0. \quad (10)$$

Осадку пакета выразим через его высоту:

$$T = H \rho_\zeta, \quad (11)$$

где ζ – коэффициент непропорциональности между осадкой и высотой пакета, $\zeta = 0,93 \dots 0,95$ [6].

Выразим из (9), (10) величины R_H и R_B , подставим вместо F_1 , F_2 и T правые части зависимостей (7), (8), (11) и после преобразований получим:

$$R_B = 0,5LH^2\eta\lambda_a g \rho_d (1 - \zeta \rho_0) \left((1 - \zeta \rho_0) \left(\frac{1}{3} + \frac{2}{3} \zeta \rho_0 \right) + \frac{2}{3} \zeta^2 \rho_0^2 \right); \quad (12)$$

$$R_H = LH^2\eta\lambda_a g \rho_d (1 - \zeta \rho_0) \left(\frac{1}{3} (1 - \zeta \rho_0)^2 + 0,5 \zeta \rho_0 \left(1 - \frac{2}{3} \zeta \rho_0 \right) \right), \quad (13)$$

В данном случае плотность воды ρ_v можно считать постоянной величиной. Коэффициент ζ меняется незначительно (0,93...0,95) и определяется плотностью лесоматериалов ρ_d , т. е. выражения в скобках в формулах (12), (13) зависят только от ρ_d .

Введем обозначения:

$$K_B = 0,5 \rho_d (1 - \zeta \rho_0) \left((1 - \zeta \rho_0) \left(\frac{1}{3} + \frac{2}{3} \zeta \rho_0 \right) + \frac{2}{3} \zeta^2 \rho_0^2 \right); \quad (14)$$

$$K_H = \rho_d (1 - \zeta \rho_0) \left(\frac{1}{3} (1 - \zeta \rho_0)^2 + 0,5 \zeta \rho_0 \left(1 - \frac{2}{3} \zeta \rho_0 \right) \right). \quad (15)$$

Назовем K_B и K_H коэффициентами, учитывающими влияние плотности лесоматериалов соответственно для верхних и нижних ветвей обвязок. Эти коэффициенты могут быть определены по графикам (рис. 2). Перепишем выражения (12), (13) с учетом введенных обозначений:

$$R_B = H^2 L \eta \lambda_a K_B g; \quad (16)$$

$$R_H = H^2 L \eta \lambda_a K_H g. \quad (17)$$

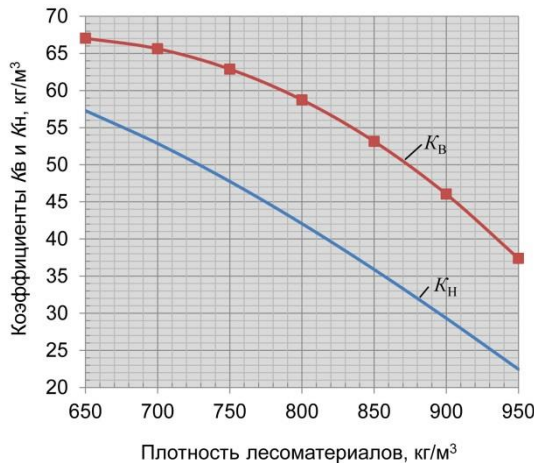


Рис. 2. Графики зависимостей коэффициентов K_B и K_H от плотности лесоматериалов

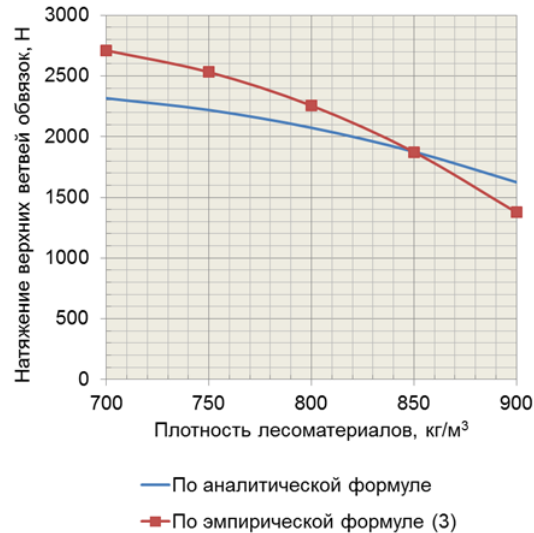


Рис. 3. Графики зависимостей натяжений в верхних ветвях обвязок от плотности лесоматериалов для плавающих пакетов при $L = 6$ м; $H = 1,6$ м; $\eta = 0,6$; $\varphi = 26^\circ$

Коэффициент λ_a для сыпучей среды может быть определен из выражения

$$\lambda_a = \operatorname{tg}^2\left(45^\circ - \frac{\varphi}{2}\right), \quad (18)$$

где φ – угол внутреннего трения сыпучей среды [9, 10].

Соотношение результатов расчетов по полученной нами аналитической формуле (16) и зависимости (3), заслуживающей, по нашему мнению, при отмеченных недостатках наибольшего доверия среди соответствующих эмпирических формул, наглядно отражено на рис. 3. Результаты вычислений по наиболее распространенным формулам (1) – (3) и другим реже используемым эмпирическим выражениям отличаются более существенно.

Полученные аналитические зависимости лишены обозначенных выше недостатков, свойственных рассмотренным эмпирическим формулам. Для выражения (17) аналоги вообще не обнаружены.

Заметим, что в формулах (16), (17) нет ширины пакета, его массы, коэффициента формы. Путем несложных преобразований из рассматриваемых зависимостей можно получить выражения, содержащие эти величины, но это на наш взгляд нецелесообразно. Расчеты при этом не упростятся, так как не только C , но обычно и m устанавливают вычислительным путем. При этом после указанных преобразований возможно искаженное толкование физического смысла зависимостей.

Ввиду того, что подбор сечений обвязок при известном их натяжении отражен в [2, 7] и не вызывает вопросов, нами он не рассматривается.

Ранее было отмечено, что способность противостоять относительному продольному смещению лесоматериалов в пакете может быть оценена по натяжению обвязок. Оценка будет более корректной, если учитывать сумму натяжений верхних и нижних ветвей. Чем она больше, тем больше контактные усилия между лесоматериалами. Величина контактных усилий, действующих на единицу сыпучей среды, зависит не только от указанных натяжений, но и от количества этих единиц, которое в данном случае правильнее характеризовать весом. Лесоматериалы от относительных продольных смещений удерживаются силами трения, которые пропорциональны контактным усилиям и коэффициенту трения при продольном перемещении лесоматериалов. С учетом изложенного введем критерий, характеризующий способность пакета удерживать лесоматериалы от относительных продольных смещений:

$$k_{\text{ПР}} = \frac{(R_{\text{В}} + R_{\text{Н}})f}{mg}, \quad (19)$$

где f – коэффициент трения между лесоматериалами при продольном смещении.

Определим массу лесоматериалов в пакете:

$$m = \frac{\pi}{4} BHL\eta\rho_{\text{Д}}. \quad (20)$$

После подстановки в выражение (19) вместо $R_{\text{В}}$, $R_{\text{Н}}$, m правых частей формул (12), (13), (20) и выполнения алгебраических преобразований получим:

$$k_{\text{ПР}} = \frac{2H(1 - \rho_0\zeta)f\lambda_{\text{а}}}{\pi B}, \quad (21)$$

Отношение B к H – есть коэффициент формы пакета C . С учетом этого, введя новое обозначение критерия после исключения постоянных, запишем:

$$K_{\text{ПР}} = \frac{1 - \rho_0\zeta}{C} f\lambda_{\text{а}}. \quad (22)$$

Этот критерий назовем комплексным критерием продольной прочности плавающего пакета. Чем больше значение $K_{\text{ПР}}$, тем выше способность плавающего пакета удерживать составляющие его лесоматериалы от продольного относительного смещения. $K_{\text{ПР}}$ зависит от характеристики формы поперечного сечения пакета C и от характеристик составляющих его лесоматериалов ρ_0 и f . Коэффициент $\lambda_{\text{а}}$ в данном случае определяется углом внутреннего трения сыпучей среды φ , а коэффициент ζ – величиной ρ_0 , т. е. $\lambda_{\text{а}}$ и ζ также являются характеристиками лесоматериалов. Учитывая это, введем обозначение:

$$k_{\text{ЛМ}} = (1 - \rho_0\zeta) f\lambda_{\text{а}}, \quad (23)$$

где $k_{\text{ЛМ}}$ – параметр, учитывающий характеристики лесоматериалов.

Значения $k_{\text{ЛМ}}$ для наиболее часто сплавляемых пород древесины представлены в таблице.

Порода древесины	Значения $k_{\text{ЛМ}} \cdot 10^2$ по месяцам года*											
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
Ель	1,86	1,80	1,92	2,19	2,33	2,28	2,33	2,45	2,16	2,29	2,34	1,86
Ель тонкомерная	1,22	1,33	1,38	1,51	1,69	1,84	1,86	1,86	1,77	1,63	1,51	1,42
Сосна	2,02	1,92	1,82	1,75	1,95	1,99	1,95	2,09	1,99	1,75	1,59	1,59
Сосна тонкомерная	1,20	1,23	1,47	1,51	1,56	2,91	1,56	1,49	1,43	1,30	1,20	1,17

*Для свежесрубленной древесины.

Изменение параметра $k_{\text{ЛМ}}$ по месяцам связано с зависимостью плотности лесоматериалов от времени рубки.

Если перед сплавом лесоматериалы подвергаются сушке (что маловероятно), $k_{\text{ЛМ}}$ следует определять по формуле (23).

С учетом выражения (23) $K_{\text{ПР}}$ может быть представлен в виде следующего соотношения:

$$K_{\text{ПР}} = \frac{k_{\text{ЛМ}}}{C}. \quad (24)$$

При установлении допустимых значений коэффициентов C на определенном маршруте буксировки, на наш взгляд, следует обеспечить равенство $K_{\text{ПР}}$ для пакетов из разных сортиментов. Например, если пакет из елового пиловочника декабрьской заготовки имеет коэффициент формы, равный 2,5, то $K_{\text{ПР}} = 1,86 \cdot 10^{-2} / 2,5 = 0,744 \cdot 10^{-2}$. Для пакета соснового пиловочника того же месяца заготовки при обеспечении равнопрочности коэффициент формы $C = 1,59 \cdot 10^{-2} / 0,744 \cdot 10^{-2} = 2,1$.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Абуханов А.З. Механика грунтов: учеб. пособие. Ростов н/Д.: Феникс, 2006. 352 с.
2. Инструкция по эксплуатации такелажа на лесосплаве. М.: ВНИПИЭИЛеспром, 1980. 134 с.
3. Камусин А.А., Дмитриев Ю.Я., Минаев А.Н., Овчинников М.М., Пятакин В.И., Пименов А.Н., Полищук В.П. Водный транспорт леса: учеб. для вузов. 2-е изд. М.: Изд-во МГУЛ, 2000. 432 с.
4. Правила (технические условия) сплотки, формирования и оснастки плотов для буксировки в Северодвинском бассейне. Архангельск: Изд-во «Правда Севера», 1989. 65 с.
5. Справочник по водному транспорту леса / Под ред. В.А. Щербакова. М.: Лесн. пром-сть, 1986. 384 с.
6. Суров Г.Я., Посыпанов С.В., Зунин Л.Н. Плотовой лесосплав: учеб. пособие для вузов. Архангельск: Изд-во АГТУ, 2007. 155 с.

7. Суров Г.Я., Посыпанов С.В., Зунин Л.Н. Лесосплавной такелаж и такелажные работы: учеб. пособие. Архангельск: Изд-во АГТУ, 2008. 138 с.
8. Харитонов В.Я., Посыпанов С.В. Опыт внедрения единого транспортного пакета вместо молевого лесосплава // Лесн. журн. 2007. №1. С. 45–52. (Изв. высш. учеб. заведений).
9. Craig R.F. Soil Mechanics. 6th ed. London, New York: E & FN Spon, 1997. 485 p.
10. Verruijt A. Soil Mechanics. Delft University of Technology, 2012. 331 p.

Поступила 26.12.15

UDC 634.0.378

DOI: 10.17238/issn0536-1036.2016.3.98

Comprehensive Assessment of the Strength Characteristics of a Floating Roundwood Bundle

S.V. Posypanov, Candidate of Engineering Sciences, Associate Professor
Northern (Arctic) Federal University named after M.V. Lomonosov, Naberezhnaya
Severnoy Dviny, 17, Arkhangelsk, 163002, Russian Federation;
e-mail: s.posypanov@narfu.ru

Due to the significant increase of the ecological safety requirements in timber floating, elimination of wood losses during the transportation by water, the importance of a correct evaluation of the strength characteristics of the timber-rafting units and their primary elements – roundwood bundles and logging bundles, is of prime concern. The relevance of the topic is due to the emergence of the new promising timber-rafting units – packaged bundles. Their strength assessment is impossible without a thorough approach to this issue. The relevant information available in the publications demonstrates that the proposed formulas are mainly empirical and do not sufficiently reflect the physical nature of the phenomena. The empirical formulae disclose the dependence of the particular strength characteristics on the determining factors, but do not provide a coherent view. The results of calculations by the various formulas are sometimes significantly different. The criteria of the strength characteristics of a log bundle need to be revised. The author has used a theoretical research method with a partial verification of derived experimental dependencies and provisions on the part of the existing material of experimental origin, which is the most reliable. As a result of the research, the theoretical foundation of the strength characteristics of a floating roundwood bundle is developed. The analytic dependences for the tension determination in the upper and lower branches of binding are obtained. The new concepts of transverse and longitudinal strength of a floating bundle are introduced, which determine the strength of a bundle as a whole. An integrated criterion and an analytical formula for the longitudinal strength assessing of a floating bundle are provided. We present the recommendations on its practical application. The results should be applied in the selection of the roundwood bundles binding, and determination of the geometric parameters of the float units to ensure the adequate strength characteristics. These materials are the basis for the development of an approach to the estimation of the strength characteristics of the new float units – the packaged bundles.

Keywords: wood floating, round wood, bunch, bundle, binding, strength.

REFERENCES

1. Abukhanov A.Z. *Mekhanika gruntov* [Soil Mechanics]. Rostov-on-Don, 2006. 352 p.
2. *Instruktsiya po ekspluatatsii takelazha na lesosplave* [Instructions on the Timber Floating Rigging]. Moscow, 1980. 134 p.
3. Kamusin A.A., Dmitriev Yu.Ya., Minaev A.N., Ovchinnikov M.M., Patyakin V.I., Pimenov A.N., Polishchuk V.P. *Vodnyy transport lesa* [Water Log Movement]. Moscow, 2000. 432 p.
4. *Pravila (tehnicheskie usloviya) splotki, formirovaniya i osnastki plotov dlya buksirovki v Severodvinskom bassejne* [The Rules (Technical Regulations) of Wood Bundling, Forming and Rigging of Rafts for Towing in the North Dvina Basin]. Arkhangelsk, 1989. 65 p.
5. *Spravochnik po vodnomu transportu lesa* [The Guide on Water Log Movement]. Moscow, 1986. 384 p.
6. Surov G.Ya., Posypanov S.V., Zunin L.N. *Plotovoy lesosplav* [Rafting]. Arkhangelsk, 2007. 155 p.
7. Surov G.Ya., Posypanov S.V., Zunin L.N. *Lesosplavnoy takelazh i takelazhnye raboty* [Logging Rigging]. Arkhangelsk. 2008. 138 p.
8. Kharitonov V.Ya., Posypanov S.V. Opyt vnedreniya edinogo transportnogo paketa vmesto molevogo lesosplava [The Implementation of the Unit-Load Bundle Instead of Drift Floating]. *Lesnoy zhurnal*, 2007, no. 1, pp. 45–52.
9. Craig R.F. *Soil Mechanics*. London; New York, 1997. 485 p.
10. Verruijt A. *Soil Mechanics*. Netherlands, Delft, 2012. 331 p.

Received on December 26, 2015
