

## ТЕХНОЛОГИИ И МАШИНЫ ЛЕСНОГО ДЕЛА

УДК 630\*378

### ИССЛЕДОВАНИЕ УСИЛИЙ В ТАКЕЛАЖНОЙ ОСНАСТКЕ ПЛАВАЮЩЕЙ ДВУХЯРУСНОЙ ПАКЕТНОЙ СПЛОТОЧНОЙ ЕДИНИЦЫ

**С. В. Посыпанов**

Северный (Арктический) федеральный университет имени М.В. Ломоносова,  
Лесотехнический институт,  
Российская Федерация, 163002, Архангельск, набережная Северной Двины, 17  
E-mail: s.posypanov@narfu.ru

*С целью обеспечения необходимой прочности плавающих двухярусных пакетных сплотночных единиц получены расчётные зависимости для определения усилий в ветвях их пакетных обвязок. Выявлены наиболее нагруженные ветви пакетных обвязок. Приведены графические материалы для упрощения соответствующих практических расчётов. Обоснована рекомендация подбора сечения внешних пучковых обвязок по усилию их утяжки при сплотке.*

**Ключевые слова:** лесосплав; вода; круглые лесоматериалы; пакет; пучок; сплотночная единица; такелаж; обвязка; прочность; эластика; сыпучая среда.

**Введение.** Технологии, основанные на применении двухярусных пакетных сплотночных единиц (рис. 1), позволяют использовать экономические преимущества водного транспорта [1, 2] даже небольшим лесозаготовителям, доля которых в общем объёме лесозаготовок в настоящее время существенно увеличилась. Появилась возможность формирования сплотночных единиц нужных габаритов с помощью лесопогрузчиков, которые есть у большинства лесозаготовителей. Закупка специализированной техники, оправданная лишь при больших объёмах сплотки, в этом случае не требуется. Кроме того, после прекращения молевого сплава из лесотранспортного использования были практически выведены средние

и малые реки, обеспечивающие экономическую доступность спелых и перестойных лесов, основная часть которых находится на значительном удалении. Идёт поиск решений по экологически безопасному лесотранспортному использованию таких рек. Очевидно, что на средних и малых реках сплотка лесоматериалов на отдельных участках наиболее вероятно в небольших объёмах, то есть и здесь имеются перспективы у указанных технологий.

Сплотка двухярусных пакетных пучков предусматривается как на зимних плотбищах, так и на воде, в том числе на переформировочных рейдах при организации экологически безопасного лесотранспорта по средним и малым рекам. Поступление круглых лесоматериалов к

© Посыпанов С. В., 2015.

**Для цитирования:** Посыпанов С. В. Исследование усилий в такелажной оснастке плавающей двухярусной пакетной сплотночной единицы // Вестник Поволжского государственного технологического университета. Сер.: Лес. Экология. Природопользование. – 2015. – № 3 (27). – С. 55-64.

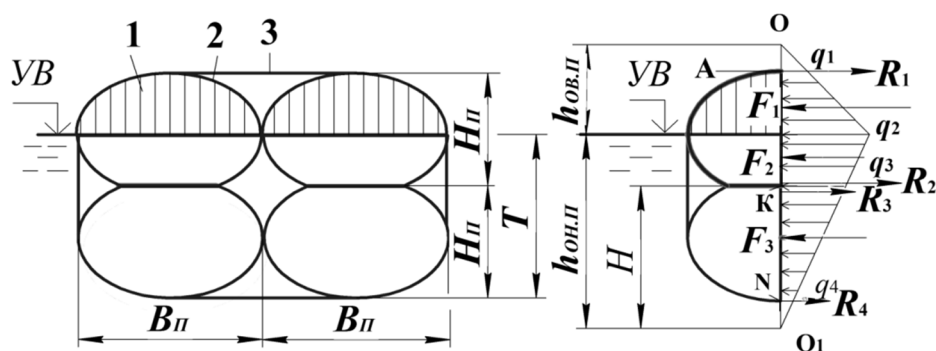


Рис. 1. Расчётная схема плавающей двухъярусной пакетной сплottedой единицы: 1 – пакет; 2 – обвязка пакетная; 3 – обвязка пучковая

таким рейдам предполагается в пакетах с малой осадкой с притока или верхнего мелководного участка реки. Дальнейшая транспортировка лесоматериалов на большое расстояние в таких пакетах может быть экономически нецелесообразной. Выйти из положения позволяет формирование из пакетов двухъярусных сплottedых единиц. Делать это можно без больших затрат с высокой производительностью.

Упомянутые технологии при незначительных недостатках имеют ещё целый ряд существенных достоинств, которые подробно рассмотрены в работе [3]. Приведённые положения подтверждены в ходе успешного внедрения разработок на предприятиях в верховьях р. Пинегы Северо-Двинского бассейна [3, 4].

Транспортировка древесины без потерь в предлагаемых сплottedых единицах предполагает правильную оценку их прочности, что невозможно без информации об усилиях в их такелажной оснастке. Исследованию прочностных характеристик сплottedых единиц посвящено немало работ [5–11]. Однако в них, как правило, рассматриваются отдельные пакеты (пучки) лесоматериалов на плаву или на твёрдом основании. Результаты некоторых работ существенно отличаются друг от друга. Тем не менее, полученная из них информация оказалась весьма полезной. Об исследованиях плавающих двухъярусных пакетных сплottedых единиц при литературном поиске никакой информации

не обнаружено. Здесь мы рассматриваем указанные сплottedые единицы, сформированные на воде.

**Цель работы** – получение информации, необходимой для обеспечения достаточной прочности такелажа двухъярусных пакетных пучков навигационной сплottedки. Для достижения указанной цели были поставлены следующие задачи:

- 1) получить математические зависимости для определения усилий в ветвях пакетных обвязок плавающей сплottedой единицы;
- 2) установить характер влияния определяющих факторов на величину усилий в обвязках пакетов;
- 3) выявить наиболее нагруженные ветви пакетных обвязок;
- 4) подготовить графические материалы для упрощения практических расчётов;
- 5) обосновать выбор усилия для подбора сечения внешних обвязок пакетной сплottedой единицы.

**Метод исследования** – теоретический. В данной работе применили свою методику, основанную на совместном использовании теорий эластик [7, 11, 12] и сыпучей среды [13, 14]. В пользу этой методики и в пользу достоверности полученных с её помощью результатов свидетельствует то, что она была апробирована нами при подобных исследованиях отдельного пакета круглых лесоматериалов, находящегося на горизонтальном основании [15], на плаву, и в обоих случаях наши результаты, полученные теоретиче-

ским путём, хорошо совпали с результатами экспериментальных исследований.

Обратимся к расчётной схеме, приведённой на рис. 1. Нижние пакеты у плавающего пучка находятся под водой. На все их лесоматериалы действует вертикальная выталкивающая сила и сила тяжести. Их равнодействующая уравновешивается реакцией со стороны верхних пакетов. Верхние пакеты частично возвышаются над водой. Их надводная часть находится под воздействием силы тяжести, на подводную часть кроме того действует вертикальная выталкивающая сила. Равнодействующая этих сил уравновешивается реакцией со стороны нижних пакетов. Под воздействием упомянутых сил пакеты сжимаются в вертикальном направлении, в результате чего в них возникают силы распора [13, 14], которые уравновешиваются реакциями в такелажной оснастке.

В общем случае усилия распора уравновешиваются реакциями в пакетных обвязках и во внешних обвязках пучка. В первых натяжение будет наибольшим при отсутствии вторых или их ослаблении по каким-либо причинам. Подобная ситуация может возникнуть перед наложением пучковых обвязок в процессе сплотки, при снятии их перед выгрузкой пакетов или по другим технологическим причинам, при разрыве пучковых обвязок в аварийных ситуациях. Учитывая это, рассмотрим вариант, при котором усилия распора уравновешиваются только реакциями в пакетных обвязках. На расчётной схеме (рис. 1) отражены горизонтальные давления и силы, действующие в наиболее высоком продольном вертикальном сечении пакетов, делящем их на две равные части. Совокупность лесоматериалов в пакетах рассматриваем как сыпучую среду. Вертикальное давление  $p$  в этой среде линейно возрастает по мере приближения к поверхности воды. Для надводной части верхнего пакета запишем

$$p = \rho_L g \eta h_{OB}, \quad (1)$$

для нижнего пакета и подводной части верхнего

$$p = (\rho_B - \rho_L) g \eta h_{OH}, \quad (2)$$

где  $\rho_L$  – плотность лесоматериалов;  $\rho_B$  – плотность воды;  $\eta$  – коэффициент полнотрещинности пакетов;  $g$  – ускорение свободного падения;  $h_{OB}$  и  $h_{OH}$  – расстояния рассматриваемых точек по вертикали соответственно от точек  $O$  и  $O_1$  (рис. 1), лежащих в пьезометрических плоскостях с нулевым давлением сыпучей среды.

Определимся с положением точек  $O$  и  $O_1$  относительно поверхности воды, то есть с величинами  $h_{OB,II}$  и  $h_{OH,II}$

$$h_{OH,II} = H + (T - H_{II}), \quad (3)$$

где  $H_{II}$  – высота пакета;  $T$  – осадка пучка;  $H$  – превышение границы между нижними и верхними пакетами над точкой  $O_1$ .

В данном случае осадку пучка можно определить из выражения

$$T = 2H_{II} \rho_0 \zeta, \quad (4)$$

где  $\rho_0$  – относительная плотность лесоматериалов;  $\rho_0 = \rho_L / \rho_B$ ;  $\zeta$  – коэффициент непропорциональности между высотой и осадкой пучка.

Перепишем формулу (3) с учётом (4)

$$h_{OH,II} = H + H_{II} (2\rho_0 \zeta - 1). \quad (5)$$

Для решения вопроса о величине  $H$  обратимся к эластической теории [7, 11, 12], уравнениям и положениям, приведённым нами в работе [15]. В данном случае нижний пакет можно считать аналогичным пакету, уложенному на твёрдом основании в отсутствие воды. Только здесь имеем перевернутую картину. Основание пакета размещено сверху, сжимающее усилие действует снизу, снизу находится и соответствующая пьезометрическая плоскость с точкой  $O_1$ . Плотность сыпучей среды при этом равна  $\rho_B - \rho_L$ . Величина  $H$  – так называемая характерная высота [7, 11, 15], связанная с высотой пакета выражением

$$H_{II} = 2H \sin^2 \frac{\Theta}{2}, \quad (6)$$

где  $\Theta$  – модулярный угол, характеризующий форму поперечного сечения пакета [7, 11, 15].

Нами было введено понятие относительной характерной высоты

$$h_p = \frac{H}{H_{II}}, \quad (7)$$

что позволило в дальнейшем уменьшить количество варьируемых факторов.

С учётом выражения (6)

$$h_p = \frac{H}{2H \sin^2 \frac{\Theta}{2}} = \frac{1}{2 \sin^2 \frac{\Theta}{2}}. \quad (8)$$

Согласно формуле (8), относительная характерная высота  $h_p$  зависит только от модулярного угла  $\Theta$ , то есть от формы поперечного сечения пакета, которую на практике принято характеризовать его коэффициентом формы  $C$ . Измерение угла  $\Theta$  реального пакета весьма проблематично. Связь коэффициента  $C$  с углом  $\Theta$  отражает формула

$$C = \frac{B_{II}}{H_{II}} = \frac{1}{2} \left( (2 - \sin^2 \Theta) (K - F(\Theta, 45^\circ)) - 2(E - E(\Theta, 45^\circ)) \operatorname{cosec}^2 \frac{\Theta}{2} \right), \quad (9)$$

где  $B_{II}$  – ширина пакета;  $K$ ,  $E$  – полные эллиптические интегралы [12, 16];  $E(\Theta, 45^\circ)$ ,  $F(\Theta, 45^\circ)$  – неполные эллиптические интегралы при величине угла, изменяющегося вдоль элаستيку, равной  $45^\circ$ , что соответствует крайней левой точке поперечного профиля пакета.

Выразить  $h_p$  непосредственно через  $C$  с помощью аналитических формул невозможно. При этом, как было отмечено,  $h_p$ , а согласно выражению (9), и  $C$  зависят только от угла  $\Theta$ , поэтому по формулам (8), (9) рассчитали значения  $h_p$  и  $C$  для ряда величин модулярного угла  $\Theta$ . Результаты вычислений аппроксимировали с хорошей достоверностью. Для диапазона  $C=1,50...3,00$ , соответствующего речным условиям, получили выражение

$$h_p = -0,136C^3 + 1,275C^2 - 3,921C + 5,057, \quad (10)$$

для  $C=1,16...1,50$ , то есть для озёрных условий

$$h_p = -46,35C^3 + 202,4C^2 - 296,4C + 147,2. \quad (11)$$

В первом случае достоверность аппроксимации  $R^2 = 0,996$ , во втором –  $R^2 = 0,999$ .

Согласно формулам (1) и (2), вертикальное давление сыпучей среды на уровне поверхности воды  $p_2$  связано с  $h_{OB,II}$  и  $h_{OH,II}$  зависимостями

$$p_2 = \rho_L g \eta h_{OB,II}; \quad (12)$$

$$p_2 = (\rho_B - \rho_L) g \eta h_{OH,II}. \quad (13)$$

Из выражений (12) и (13) получили

$$h_{OB,II} = \frac{\rho_B - \rho_L}{\rho_L} h_{OH,II}. \quad (14)$$

Горизонтальное давление  $q$  в сыпучей среде пропорционально вертикальному [13, 14]

$$q = p \lambda_a, \quad (15)$$

где  $\lambda_a$  – коэффициент активного давления. Эпюра горизонтальных давлений представлена на рис. 1.

С учётом формул (1), (2) и (15) получили выражения для определения горизонтальных давлений сыпучей среды в рассматриваемом сечении на уровне верха пучка  $q_1$ , на уровне поверхности воды  $q_2$ , на границе между верхним и нижним пакетами  $q_3$  и на уровне низа пучка  $q_4$ :

$$q_1 = \rho_L g \eta (h_{OB,II} + T - 2H_{II}) \lambda_a; \quad (16)$$

$$q_2 = (\rho_B - \rho_L) g \eta h_{OH,II} \lambda_a; \quad (17)$$

$$q_3 = (\rho_B - \rho_L) g \eta H \lambda_a; \quad (18)$$

$$q_4 = (\rho_B - \rho_L) g \eta (H - H_{II}) \lambda_a. \quad (19)$$

Равнодействующие горизонтального давления для надводной части верхнего пакета  $F_1$ , для его подводной части  $F_2$  и для нижнего пакета  $F_3$  можно определить по формулам

$$F_1 = 0,5(q_1 + q_2)(2H_{II} - T)L, \quad (20)$$

$$F_2 = 0,5(q_2 + q_3)(T - H_{II})L, \quad (21)$$

$$F_3 = 0,5(q_3 + q_4)H_{II}L, \quad (22)$$

где  $L$  – длина пакета.

Силы  $F_1$  и  $F_2$  уравниваются реакциями в обвязках верхнего пакета  $R_1$  и  $R_2$ , а сила  $F_3$  – реакциями  $R_3$  и  $R_4$  в обвязках нижнего.

Записали уравнения моментов сил для верхнего пакета относительно точек А и К

$$R_2 H_{II} - F_1 (2H_{II} - T) \frac{\frac{1}{3}q_1 + \frac{2}{3}q_2}{q_1 + q_2} - F_2 \left( 2H_{II} - T + \frac{\frac{1}{3}q_2 + \frac{2}{3}q_3}{q_2 + q_3} (T - H_{II}) \right) = 0, \quad (23)$$

$$F_1 \left( \frac{\frac{2}{3}q_1 + \frac{1}{3}q_2}{q_1 + q_2} (2H_{II} - T) + (T - H_{II}) \right) + F_2 \frac{\frac{2}{3}q_2 + \frac{1}{3}q_3}{q_2 + q_3} (T - H_{II}) - R_1 H_{II} = 0, \quad (24)$$

для нижнего – относительно точек К и N

$$R_4 H_{II} - F_3 \frac{\frac{1}{3}q_3 + \frac{2}{3}q_4}{q_3 + q_4} H_{II} = 0, \quad (25)$$

$$F_3 \frac{\frac{2}{3}q_3 + \frac{1}{3}q_4}{q_3 + q_4} H_{II} - R_3 H_{II} = 0. \quad (26)$$

Выразили реакции в обвязках из (23) – (26), выполнили подстановки с использованием (3) – (5), (7), (14), (16) – (22) и после алгебраических преобразований получили общую формулу для определения усилий в ветвях пакетных обвязок

$$R_i = H_{II}^2 L \eta \lambda_a K_{IIi}. \quad (27)$$

Величину  $K_{IIi}$  назвали коэффициентом натяжения  $i$ -й ветви пакетной обвязки, где  $i$  – порядковый номер ветви при нумерации их сверху вниз. В рассматриваемых условиях  $K_{IIi}$  зависят только от плотности лесоматериалов  $\rho_L$  и от коэффициента формы пакетов  $C$ .

$$K_{II1} = g \rho_L \left( 2D \left( \left( AB + \frac{2}{3}S \right) D + E(AB + 0,5S) \right) + \right. \quad (28)$$

$$\left. + 0,5AE^2 (h_p + B) \frac{\frac{2}{3}B + \frac{1}{3}h_p}{B + h_p} \right),$$

$$K_{II2} = 0,5g \rho_L \left( (2A(h_p + E) + S) \times S^2 \frac{A(h_p + E) + \frac{1}{3}S}{2A(h_p + E) + S} + \right. \quad (29)$$

$$\left. + AE(2h_p + E) \left( \frac{h_p + \frac{1}{3}E}{2h_p + E} E - S \right) \right),$$

$$K_{II3} = 0,5g \rho_L A \left( h_p - \frac{1}{3} \right), \quad (30)$$

$$K_{II4} = 0,5g \rho_L A \left( h_p - \frac{2}{3} \right), \quad (31)$$

В формулах (28) – (31)  $A=1/\rho_0-1$ ;  $B=h_p+2\rho_0\zeta-1$ ;  $S=2\rho_0\zeta-2$ ;  $D=1-\rho_0\zeta$ ;  $E=2\rho_0\zeta-1$ .

При практических расчётах значения  $K_{IIi}$  удобнее определять по графикам. Графики, востребованность которых более вероятна, приведены ниже.

Коэффициент активного давления сыпучей среды определяют, используя выражение [13, 14]

$$\lambda_a = \operatorname{tg}^2 \left( 45^\circ - \frac{\varphi_{mp}}{2} \right), \quad (32)$$

где  $\varphi_{mp}$  – угол внутреннего трения сыпучей среды.

Для еловых круглых лесоматериалов этот угол равен  $29^\circ$ , для сосновых –  $26^\circ$  [11], соответствующие значения  $\lambda_a$  0,347 и 0,391.

**Интерпретация результатов.** Оценивая влияние определяющих факторов на натяжение обвязок пакетов плавающей сплочной единицы, с учётом формулы (27) отметим, что зависимость указанных

натяжений от длины пакетов линейная, от высоты пакетов – квадратичная. Ширина пакетов явно в формуле не присутствует, но учитывается через их коэффициент формы  $C$ . От  $C$  зависят коэффициенты натяжения ветвей пакетных обвязок  $K_{Пi}$ . Характер этих зависимостей иллюстрируют графики, представленные на рис. 2. По ним видно, что с уменьшением коэффициента формы пакетов натяжение в их обвязках возрастает. Причём наиболее интенсивный рост отмечается при малых коэффициентах формы, характерных для озёрных условий.

В случаях, когда необходимо определить усилия не только в наиболее нагруженной ветви обвязок пакетов, например, при условии учёта положения пакетов в пучке или при оценке, так называемой, продольной прочности сплочной единицы, может потребоваться знание  $K_{П1}$ ,  $K_{П2}$ ,  $K_{П3}$ ,  $K_{П4}$ . Тогда при практических расчётах можно воспользоваться графиками, приведёнными на рис. 2. Они соответствуют случаю, когда плотность лесоматериалов равна  $800 \text{ кг/м}^3$ . Именно такое значение плотности обычно принимают при обосновании лесосплавных мероприятий, если по этому показателю нет каких-либо особых требований.

Продолжая анализировать формулу (27), отметим, что зависимость натяжений

в обвязках пакетов от коэффициента их полндревесности  $\eta$  линейная. Принимая во внимание ещё и выражение (32), а также приведённую выше информацию по углам внутреннего трения круглых лесоматериалов, можем утверждать, что усилия в обвязках у еловых пакетов меньше, чем у сосновых при прочих равных условиях.

По графикам, приведённым на рис. 2, видно, что у плавающего пучка, в отличие от случая расположения его на суше, обвязки верхних пакетов нагружены больше, чем нижних. При этом усилия в нижних ветвях обвязок верхних пакетов больше, чем в верхних ветвях. У нижних пакетов больше нагружены верхние ветви обвязок. Это характерно не только для случая, когда плотность лесоматериалов равна  $800 \text{ кг/м}^3$ . Графики, представленные на рис. 3, демонстрируют, что приведённая информация справедлива в диапазоне  $\rho_{л} = 685\text{--}900 \text{ кг/м}^3$ . Указанные графики построены для довольно распространённого в речных условиях варианта, когда  $C=2$ . Однако проверка показала, что картина принципиально не меняется при любых реальных значениях коэффициента  $C$ , то есть практически всегда у плавающего пакетного пучка наиболее нагруженными являются нижние ветви обвязок верхних пакетов.

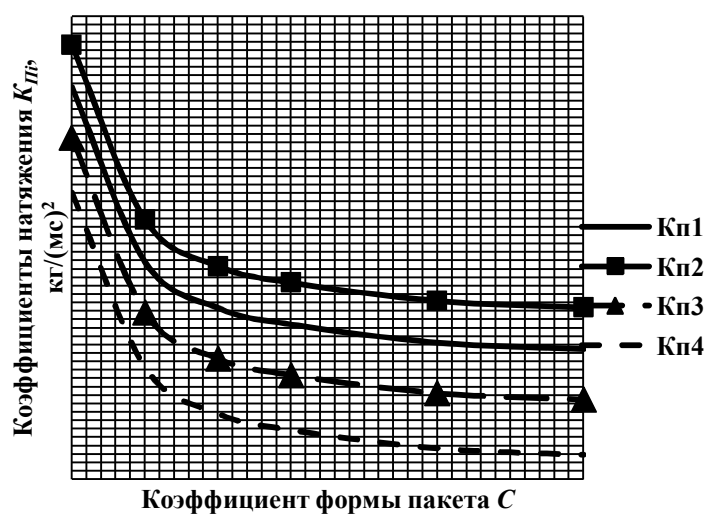


Рис. 2. Графики зависимостей коэффициентов  $K_{Пi}$  от коэффициента формы пакетов  $C$  при плотности лесоматериалов  $\rho_{л}=800 \text{ кг/м}^3$

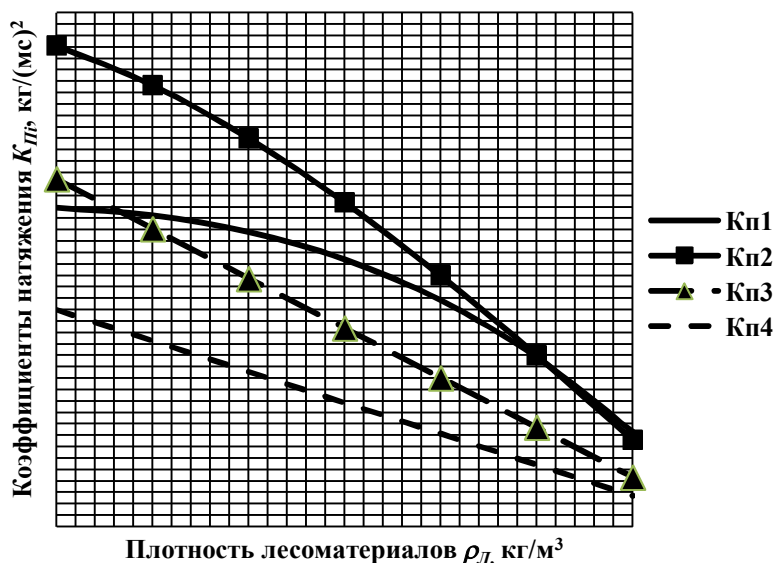


Рис. 3. Зависимости  $K_{П}$  от плотности лесоматериалов  $\rho_{Л}$  при  $C=2,0$

Графики на рис. 3 также демонстрируют, что в отличие от случая размещения пакетного пучка на твёрдом основании в данной ситуации с увеличением плотности лесоматериалов усилия в пакетных обвязках уменьшаются. Причём для обвязок нижних пакетов зависимость линейная.

В типичном случае, когда для всех пакетов подбирают одинаковые обвязки

независимо от их предполагаемого положения в пучке и сечение обвязок неизменно по длине, за расчётное следует принимать натяжение в наиболее нагруженной ветви обвязки. Как выяснили ранее, при  $\rho_{Л}$  не более  $900 \text{ кг/м}^3$  это натяжение  $R_2$ . В ходе его вычисления  $K_{П2}$  при различных значениях  $\rho_{Л}$  и  $C$  можно определить по графикам, приведённым на рис. 4.

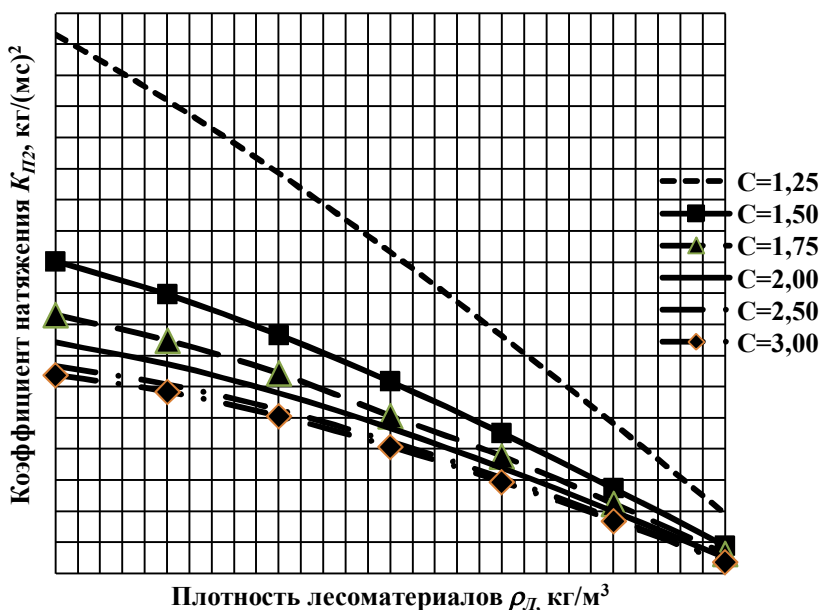


Рис. 4. Графики зависимостей коэффициента  $K_{П2}$  от плотности лесоматериалов  $\rho_{Л}$  при различных коэффициентах формы пакетов  $C$

Внешние пучковые обвязки в процессе их утяжки перед замыканием на пучке испытывают нагрузки большие, чем после замыкания, так как в первом случае преодолеваются силы пассивного отпора сыпучей среды, во втором – уравниваются силы активного распора, которые существенно меньше первых. Помимо этого при утяжке приходится преодолевать силы трения обвязок по лесоматериалам, после замыкания эти силы снижают нагрузку на обвязки. Усилие утяжки, которое и является в данном случае расчётным, задаётся нормативным документом – техническими условиями и обычно не превышает 10 кН.

При установленных расчётных усилиях подбор обвязок выполняют по известной методике [17, 18].

**Вывод.** Полученные в результате исследования материалы позволяют правильно подобрать такелаж для двухъярусных пакетных пучков навигационной сплотки. Кроме того, эти материалы необходимы при оценке так называемой продольной прочности рассматриваемых сплоточных единиц, то есть при оценке их способности в плавающем состоянии удерживать брёвна и обвязки от относительных продольных смещений.

#### Список литературы

1. *Посыпанов, С.В.* Экологические и экономические аспекты транспорта древесины из удаленных лесных массивов / С.В. Посыпанов // Эколого- и ресурсосберегающие технологии и системы в лесном и сельском хозяйстве: сборн. научн. тр. по материал. междунар. заоч. науч.-практ. конф. – Воронеж: ВГЛТА, 2014. – Вып. №3, ч.4 (8-4). – С. 135-139.
2. *Харитонов, В.Я.* Ресурсы отдаленных лесных массивов и возможность их освоения сплавом / В.Я. Харитонов, С.В. Посыпанов // Известия вузов. Лесной журнал. – 2008. – № 2. – С. 30-36.
3. *Харитонов, В.Я.* Опыт внедрения единого транспортного пакета вместо молевого лесосплава / В.Я. Харитонов, С.В. Посыпанов // Известия вузов. Лесной журнал. – 2007. – №1. – С. 45-52.
4. *Посыпанов, С.В.* Апробация в производственных условиях конструкций плотов зимней сплотки из двухъярусных сплоточных единиц / С.В. Посыпанов // Актуальные направления научных исследований XXI века: теория и практика: сб. научн. тр. по материал. междунар. заоч. науч.-практ. конф. – Воронеж: ВГЛТА, 2014. – Вып. № 5, ч.4 (10-4). – С. 240-244.
5. *Вахрушев, М.М.* Расчёт пакета лесоматериалов в гибкой обвязке, лежащего на плоскости / М.М. Вахрушев // Известия вузов. Лесной журнал. – 1965. – № 5. – С. 18-21.
6. *Володенков, Ф.И.* Определение усилий в обвязках пучков из бревен / Ф.И. Володенков // Сборник научных трудов по лесосплаву. – 1965. – № 5. – С. 64-96.
7. *Воробьев, А.Г.* О расчете по эластиковой теории пучковых плотов для случая нахождения их на суше / А.Г. Воробьев // Лесоинженерное дело: научные доклады Высшей школы. – 1958. – Вып № 3. – С. 40-45.
8. *Донской, И.П.* Определение натяжения в обвязке пучка, плавающего по спокойной воде и лежащего на суше / И.П. Донской. – Л.: ЛТА, 1960. – 38 с.
9. *Калихевич, И.Н.* Вопросы теоретического изучения расчета пучковых плотов / И.Н. Калихевич // Труды Лесотехнической академии им. С.М. Кирова. – 1938. – № 63. – С. 65-68.
10. *Меркин, Д.Р.* К вопросу об определении натяжения в обвязке и формы пучка / Д.Р. Меркин // Труды Лесотехнической академии им. С.М. Кирова – 1961. – № 96. – С. 67-70.
11. *Реутов, Ю.М.* Расчеты пучков (пакетов) круглых лесоматериалов / Ю.М. Реутов. – М.: Лесная промышленность, 1975. – 152 с.
12. *Whittaker, E.T.* A Course in Modern Analysis / E.T. Whittaker, G.N. Watson; 4th ed. – Cambridge, England: Cambridge University Press, 2009. – 620 p.
13. *Verruijt, A.* Soil Mechanics / A. Verruijt. – Delft University of Technology, 2012. – 331 p.
14. *Craig, R.F.* Soil Mechanics / R.F. Craig; 6th ed. – London, New York: E & FN Spon, 1997. – 485 p.
15. *Посыпанов, С.В.* Комбинированный метод расчета пакета круглых лесоматериалов, уложенного на горизонтальном основании / С.В. Посыпанов // Известия вузов. Лесной журнал. – 2011. – № 1. – С. 47-52.
16. *Byrd, P.F.* Handbook of Elliptic Integrals for Engineers and Scientist / P.F. Byrd, M.D. Friedman; 2nd ed. – New York, Heidelberg, Berlin: Springer-Verlag, 1971. – Vol. 67. – 360 p.
17. Инструкция по эксплуатации такелажа на лесосплаве. – М.: ВНИПИЭИЛеспром, 1980. – 134 с.
18. Плоты (конструкция, эксплуатация, технология) / М.Н. Фоминцев, И.П. Львов, К.Б. Соколов [и др.] / под ред. М.Н. Фоминцева. – М.: Лесная промышленность, 1978. – 216 с.

Статья поступила в редакцию 11.03.15.



### Информация об авторе

*ПОСЫПАНОВ Сергей Валентинович* – кандидат технических наук, доцент кафедры водного транспорта леса и гидравлики, Лесотехнический институт, Северный (Арктический) федеральный университет имени М.В. Ломоносова. Область научных интересов – экологически безопасное лесотранспортное использование средних и малых рек; информационное обеспечение лесопромышленного производства. Автор 54 публикаций.

UDC 630\*378

### STUDY OF THE FORCES IN THE RIGGING OF A FLOATY BILEVEL RAFTING UNIT

*S. V. Posypanov*

Forestry Engineering Institute, Northern (Arctic) Federal University  
named after M. V. Lomonosov,  
17, Naberezhnaya Severnoy Dviny, Arkhangelsk, 163002, Russian Federation  
E-mail: s.posypanov@narfu.ru

**Key words:** *timber rafting; water; round wood; package; bundle; rafting unit; rigging; strapping; durability; elastics; granular medium.*

#### ABSTRACT

*Usage of bilevel rafting units creates new possibilities and advantages in round wood transportation, which is proved in practice. Research was carried out with the aim to maintain the integrity of raft units when transportation. The problems on derivation of the formula and recommendations grounding to define rated force in rigging of raft units were solved in order to achieve the goal of the research. Research technique is theoretical. The tested method based on the theory of elastics and loose medium was used. Results. The concept "relative typical height" was introduced, and dependence of relative typical height of lower packages on their coefficient of form was shown. The equation, approximating this dependence, was obtained. Thus, the position of low piezometric plane, corresponding to the zero pressure in the loose medium of underbody of bundle was determined. Based on the idea of pressure balance in the loose medium of above and under water, the position of the very similar piezometric plane for the above water portion of bundle was calculated. The expressions to calculate vertical and lateral pressure of the loose medium in the characteristic points of high longitudinal cross section of bundle was obtained. Dependences to determine the power of thrust in the packages above and under water were offered. As a result, the general formula for calculation of the force in upper and lower branches of bundles of packages (the concept of the rate of tension of the branch of packet bundle) was obtained. The mode of influence of the determining factors on the amount of efforts in the bundles of packages was defined. It was revealed that lower part of bundle in the upper package was the most loaded but still afloat. Recommended for practical calculations dependency graphs of ratio of tension of the branches of package bundles on determining factors were given. Recommendation on selection of dimensioning of external bundle binding when rafting was grounded. Conclusion. Use of the materials is required both in selection of rigging and assessment of capacity of floating package bundles to resist longitudinal deformations of relative shift.*

#### REFERENCES

1. Posypanov S.V. *Ekologicheskiye i ekonomicheskiye aspekty transporta drevesiny iz udalennykh lesnykh massivov* [Ecological and Economic Aspects of Forest Products Transportation from the Remote Woodlands]. *Ekologo- i resursosberegayushchie tekhnologii i sistemy v lesnom i selskom khozyaystve: sborn. nauchn. tr. po material. mezhdunarod. zaoch. nauch.-prakt. konf.* [Ecological and Resource-Saving Technologies and Systems in Forestry and Agriculture: proceedings of International Open Scient.-Pract. Conf.]. Issue 3, Part 4 (8-4). Voronezh: VGLTA, 2014. Pp. 135-139.
2. Kharitonov V.Ya., Posypanov S.V. *Resursy otdalennykh leshykh massivov i vozmozhnost ikh osvoeniya s plavom* [Resources of the Remote Forest Stands and Feasibility of Their Utilization via Rafting]. *Izvestiya vuzov. Lesnoy zhurnal* [News of Higher Educational Institutions. Forest Magazine]. 2008. No 2. Pp. 30-36.
3. Kharitonov V.Ya., Posypanov S.V. *Opyt vnedreniya edinogo transportnogo paketa vmesto molevogo lesosplava* [Implementation Experience of the Unified Transport Package as an Alternative to Loose Timber Floating]. *Izvestiya vuzov. Lesnoy zhurnal*

nal [News of Higher Educational Institutions. Forest Magazine]. 2007. No 1. Pp. 45-52.

4. Posypanov S.V. Aprobatsiya v proizvodstvennykh usloviyakh konstruktivnykh plotov zimney splotki iz dvukhyarusnykh splotochnykh edinit [Practical Approval of Rafts Composed of Bilevel Rafting Units in Winter Conditions]. *Aktualnye napravleniya nauchnykh issledovaniy XXI veka: teoriya i praktika: sb. nauchn. tr. po material. mezhduнарод. zaoch. nauch.-prakt. konf.* [Actual Research Trends of the XXI century: Theory and Practice: Proc. of International Open Scient.-Pract. Conf]. Issue 5, Part 4 (10-4). Voronezh: VGLTA, 2014. Pp. 240-244.

5. Vakhrushev M.M. Raschet paketa lesomaterialov v gibkoy obvyazke, lezhashchego na ploskosti [Computation of a Log Package in the Elastic Strapping Placed on Flat Surface]. *Izvestiya vuzov. Lesnoy zhurnal* [News of Higher Educational Institutions. Forest Magazine]. 1965. No 5. Pp. 18-21.

6. Volodnikov F.I. Opredelenie usilий v obvyazkakh puchkov iz breven [Calculation of Tensions in Log Bundles Strappings]. *Sbornik nauchnykh trudov po lesosplavu* [Collected Papers on Timber Rafting]. 1965. No 5. Pp. 64-96.

7. Vorobyev A.G. O raschete po elastikovoy teorii puchkovykh plotov dlya sluchaya nakhozheniya ikh na sushe [Application of the Elastics Theory for Design of Log Bundle Rafts Placed Ashore]. *Lesoinzhenernoe delo: nauchnye doklady Vysshey shkoly* [Forest Engineering: scientific reports of the High School]. 1958. Issue 3. Pp. 40-45.

8. Donskoy I.P. Opredelenie natyazheniya v obvyazke puchka plavaushchego po spokojnoy vode i lezhashchego na sushe [Determination of Tension in Strapping of a Log Bundle Floating on Calm Water Surface and Laying Aground]. Leningrad: LTA, 1960. 38 p.

9. Kalikhevich I.N. Voprosy teoreticheskogo izucheniya rascheta puchkovykh plotov [Matters for

Theoretical Investigation of Computation of Log Bundles Rafts]. *Trudy Lesotekhnicheskoy akademii im. S.M.Kirova* [Collected papers of the Forestry Academy named after S.M. Kirov]. 1938. No 63. Pp. 65-68.

10. Merkin D.R. K voprosu ob opredelenii natyazheniya v obvyazke i formy puchka [On the Problems of Determination of Tension in Strappings and the Shape of a Bundle]. *Trudy Lesotekhnicheskoy akademii im. S.M.Kirova* [Collected papers of the Forestry Academy named after S.M. Kirov]. 1961. No 96. Pp. 67-70.

11. Reutov Yu.M. Raschety puchkov (paketov) kruglykh lesomaterialov [Design of the Bundles/Packages of Roundwood]. Moscow: Lesnaya promyshlennost, 1975. 152 p.

12. Whittaker E.T., Watson G.N. A Course in Modern Analysis, 4th ed. Cambridge, England: Cambridge University Press, 2009. 620 p.

13. Verruijt A. Soil Mechanics. Delft University of Technology, 2012. 331 p.

14. Craig R.F. Soil Mechanics, 6th ed. London, New York: E & FN Spon, 1997. 485 p.

15. Posypanov S.V. Kombinirovannyi metod rascheta paketa kruglykh lesomaterialov, ulozhennogo na gorizontalnnoy osnovanii [Multi-Level Design Method of a Log Package Placed on a Horizontal Basement]. *Izvestiya vuzov. Lesnoy zhurnal* [News of Higher Educational Institutions. Forest Magazine]. 2011. No 1. Pp. 47-52.

16. Byrd P.F., Friedman M.D. Handbook of Elliptic Integrals for Engineers and Scientist, 2th ed. New York, Heidelberg, Berlin: Springer-Verlag, 1971. vol. 67. 360 p.

17. Instruksiya po ekspluatatsii takelazha na lesosplave [Rules for Usage of Rigging at Timber Floating]. Moscow: VNIPIEILesprom, 1980. 134 p.

18. Fomintsev M.N. et al. Ploty (konstruktsiya, ekspluatatsiya, tekhnologiya) [Rafts (design, usage, technology)]. Moscow: Timber Industry Publ., 1978. 216 p.

The article was received 11.03.15.

**Citation for an article:** Posypanov S.V. Study of the forces in the rigging of a floaty bilevel rafting unit. Vestnik of Volga State University of Technology. Ser.: Forest. Ecology. Nature Management. 2015. No 3 (27). Pp. 55-64.

#### Information about the author

*POSYPANOV Sergey Valentinovich* – Candidate of Engineering Sciences, Associate Professor at the Chair of Water Forest Transport and Hydraulics, Forestry Engineering Institute, Northern (Arctic) Federal University named after M.V. Lomonosov. Research interests – environmentally safe use of medium and small rivers as forest transport; information support of timber production. The author of 54 publications.