

И.А. Песков, С.В. Посыпанов

ОБОСНОВАНИЕ УСИЛИЙ, НЕОБХОДИМЫХ ПРИ ТОРЦЕВАНИИ ПЛАВАЮЩИХ ПАКЕТНЫХ СПЛОТОЧНЫХ ЕДИНИЦ

Введение. Один из наиболее реалистичных вариантов обеспечения экономической доступности основных запасов лесных ресурсов, сосредоточенных в настоящее время в удаленных районах, предполагает доставку древесного сырья потребителям по водным путям с задействованием развитой сети средних и малых рек. Для эффективной, экологически щадящей реализации указанной доставки разработана концепция, основанная на принципе единого транспортного пакета [Харитонов, Посыпанов, 2008]. Согласно этой концепции, в частности, малогабаритные пакеты лесоматериалов при выходе с мелководных участков на глубоководные сплачиваются без размолевки в более крупные двухъярусные лесотранспортные единицы. Для этого предусмотрены соответствующие устройства [Посыпанов, Песков, 2018]. В них наряду с другими технологическими операциями предполагается торцевание формируемых единиц с целью повышения гарантий сохранения их целостности при транспортировке, а также увеличения их полндревесности, которая связана с экономическими показателями дальнейшей буксировки. Для обоснования соответствующих параметров устройства требуется научное обоснование, которое на данный момент отсутствует. Очевидно, что вопросы торцевания двухъярусных сплоченных единиц тесно связаны с вопросами торцевания составляющих их пакетов. Торцевание и тех, и других целесообразно исследовать по общей методике. Логично начать исследование с пакетов.

Вопросами выравнивания торцов круглых лесоматериалов занимались ученые [Борисов, 1971; Реутов, 1975; Войтко, 2003, 2004] и другие. Два первых автора в своих исследованиях не принимали во внимание давление обвязок на лесоматериалы. Это не могло не сказаться на правильности определения контактных усилий между лесоматериалами, а значит и усилий, необходимых для торцевания. Погрешность более существенно проявляется у пакетов с малыми коэффициентами формы. П.Ф. Войтко учитывал давление обвязок, используя понятие так называемой приведенной толщины дополнительного слоя круглых лесоматериалов. Но он не зани-

мался вопросами торцевания на воде. В ранее выполненных работах авторы не увидели среди факторов, влияющих на усилие торцевания, коэффициент формы сплottedной единицы. А он существенно влияет на противодействие продольному смещению лесоматериалов в ней. С учетом этой информации авторы пришли к выводу о целесообразности дополнительных исследований с использованием методики, применимой не только для пакетов, но и для состоящих из них двухъярусных сплottedных единиц.

Цель работы – получение зависимостей для определения усилия, необходимого для торцевания плавающей пакетной сплottedной единицы, оценка влияния определяющих факторов на величину этого усилия.

Метод исследования – теоретический. При этом решили использовать так называемую эластиковую теорию [Воробьев, 1958], достоинства которой изложены авторами ранее [Посыпанов, 2017].

Для всех ранее выполненных работ по торцеванию типично принятие существенных допущений. Два из них принимаем и мы, считая, что лесоматериалы размещаются горизонтальными рядами и имеют один диаметр, равный среднему. Разумеется, в действительности набор диаметров и расположение лесоматериалов отличаются бесконечно большим разнообразием и носят случайный характер. Учесть это невозможно. Осреднение случайного набора диаметров несколько приближает модель к реалиям. Принятые допущения делают задачу решаемой, позволяют оценить исследуемые усилия, установить основные закономерности.

Плавающую пакетную сплottedную единицу рассматриваем в данном случае как гибкую оболочку, заполненную двумя видами сыпучей среды [Craig, 2009] с разным объемным весом (рис. 1). Граница между этими сыпучими средами проходит по плоскости плавания, то есть по поверхности воды. Роль гибкой оболочки выполняют здесь обвязки сплottedной единицы. Линия обвязки представляет собой комбинацию фрагментов двух эластик с разными характеристиками. Характеристиками эластик являются модулярный угол Θ , определяющий ее форму, модулярная высота h , определяющая размер элаستيку, и угол φ , определяющий положение той или иной точки на эластике (рис. 1).

Точки сопряжения означенных фрагментов эластик находятся на поверхности воды. Каждая элаستيку имеет свою систему координат $x_i O_i y_i$, где i – номер элаستيку и ее системы координат. Начала систем координат находятся на плоскостях нулевого давления соответствующих сыпучих сред.

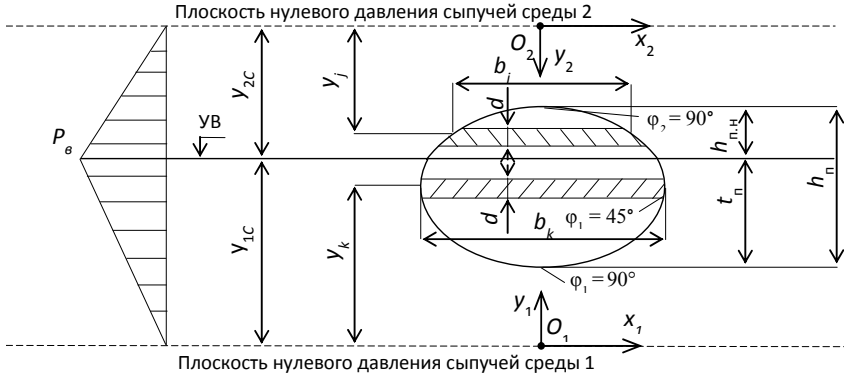


Рис. 1. Расчетная схема плавающей пакетной сплочной единицы
 Fig. 1. Calculation scheme of a floating packaged rafting unit

Кривые указанного вида описываются параметрическими уравнениями [Byrd, Friedman, 1971]

$$x_i = \frac{1}{4} h_i f_i, \tag{1}$$

$$y_i = h_i \Delta_i, \tag{2}$$

где x_i и y_i – координаты точек на эллипсах;

$$f_i = f(\Theta_i, \varphi_i) = 2((2 - \sin^2 \Theta_i)(K(\Theta_i) - F(\Theta_i, \varphi_i)) - 2(E(\Theta_i) - E(\Theta_i, \varphi_i))); \tag{3}$$

$$\Delta_i = \Delta(\Theta_i, \varphi_i) = \sqrt{1 - \sin^2 \Theta_i \sin^2 \varphi_i}, \tag{4}$$

$K(\Theta_i, \varphi_i)$ и $F(\Theta_i, \varphi_i)$ – полный и неполный эллиптические интегралы первого рода; $E(\Theta_i)$ и $E(\Theta_i, \varphi_i)$ – полный и неполный эллиптические интегралы второго рода.

Под действием силы тяжести в надводной сыпучей среде возникает вертикальное давление, направленное вниз. Под водой сыпучая среда находится под воздействием силы тяжести и силы Архимеда. Их результирующая вызывает в подводной сыпучей среде вертикальное давление, направленное вверх.

Выделим горизонтальные слои сыпучей среды в подводной и надводной частях сплочной единицы. На рис. 1 слои показаны штриховкой. Примем толщину слоев равной среднему диаметру лесоматериалов. Символом k обозначим номера слоев в подводной среде, символом j – в

надводной. Вертикальные давления в сыпучих средах на уровне осевых линий слоев можно определить из выражений

$$P_{vi} = y_k \gamma_1; \quad (5)$$

$$P_{vj} = y_j \gamma_2, \quad (6)$$

где γ_1, γ_2 – объемные веса соответственно подводной и надводной сыпучих сред, Н/м³.

$$\gamma_1 = (\rho_b - \rho_n) g \eta; \quad (7)$$

$$\gamma_2 = \rho_n g \eta, \quad (8)$$

где g – ускорение свободного падения, м/с²; ρ_b, ρ_n – плотность воды и плотность лесоматериалов, соответственно, кг/м³; η – коэффициент полндревесности сплочной единицы.

В сыпучих средах под воздействием вертикальных давлений возникают горизонтальные. Горизонтальные давления связаны с вертикальными выражением

$$p_r = p_b \lambda_a, \quad (9)$$

где λ_a – коэффициент активного распора сыпучей среды.

Усилие, необходимое на продольное смещение одного лесоматериала, можно определить по формуле

$$F_n = 2(P_r + P_b) \beta, \quad (10)$$

где β – коэффициент трения при продольном смещении лесоматериалов; P_r, P_b – контактные усилия, действующие на лесоматериал, соответственно по горизонтали и вертикали, Н.

Эпюра вертикальных давлений в сыпучих средах, изображенная в левой части рис. 1, наглядно демонстрирует, что эти давления изменяются линейно. В соответствии с выражением (9) то же можно сказать и о горизонтальных давлениях. Поэтому, учитывая давления на лесоматериал сверху и снизу, а также с боков, можем оперировать со средними их величинами, то есть с давлениями на оси рассматриваемого слоя. Тогда выражение (10) может быть записано иначе

$$F_n = 2(p_r dl + p_b dl) \beta, \quad (11)$$

где d, l – средний диаметр и длина лесоматериала, соответственно, м.

С учетом (9) формулу (11) привели к виду

$$F_n = 2 p_b dl \beta (1 + \lambda_a). \quad (12)$$

Усилие, необходимое на продольное смещение выдвинутых лесоматериалов одного слоя, может быть определено из выражения

$$F_{\text{сл}} = 2n_{\text{л}}\alpha p_{\text{в}}d\beta(1 + \lambda_{\text{а}}), \quad (13)$$

где $n_{\text{л}}$ – расчетное количество лесоматериалов в слое, α – коэффициент, учитывающий долю лесоматериалов, выдвинутых с одной стороны сплочной единицы.

$$n_{\text{сл}} = \frac{b}{d}, \quad (14)$$

где b – ширина данного слоя, на уровне его оси.

С учетом выражения (14) формула (13) принимает вид

$$F_{\text{сл}} = 2bp_{\text{в}}\alpha\beta(1 + \lambda_{\text{а}}). \quad (15)$$

Используя выражения (5)–(8), перепишем формулу (15) для подводных слоев

$$F_{\text{сл } k} = 2b_k y_k (\rho_{\text{в}} - \rho_{\text{л}}) g \eta \alpha \beta (1 + \lambda_{\text{а}}) \quad (16)$$

и для надводных

$$F_{\text{сл } j} = 2b_j y_j \rho_{\text{л}} g \eta \alpha \beta (1 + \lambda_{\text{а}}). \quad (17)$$

Группы множителей в выражениях (16) и (17), существенно отличающихся по величине у подводных и надводных слоев, объединили в комплексы. Эти комплексы обозначили символом A . Параметр A для подводных слоев

$$A_k = b_k y_k (\rho_{\text{в}} - \rho_{\text{л}}), \quad (18)$$

для надводных

$$A_j = b_j y_j \rho_{\text{л}}. \quad (19)$$

С учетом введенных обозначений переписали (16) и (17):

$$F_{\text{сл } k} = A_k g \eta \alpha \beta (1 + \lambda_{\text{а}}); \quad (20)$$

$$F_{\text{сл } j} = A_j g \eta \alpha \beta (1 + \lambda_{\text{а}}). \quad (21)$$

Общее усилие F , которое необходимо приложить для выравнивания торцов сплочной единицы получим, если сложим соответствующие усилия по всем подводным и надводным слоям. Обозначим сумму параметров A по всем слоям символом $A_{\text{об}}$, тогда можем записать

$$F = 2A_{\text{об}} g \eta \alpha \beta (1 + \lambda_{\text{а}}). \quad (22)$$

При проектировании, планировании мероприятий плотность лесоматериалов точно неизвестна. На лесосплаве ее в таких случаях фактически всегда принимают равной 800 кг/м^3 . Принимая во внимание (18), (19), можем отметить, что в таком случае определение $A_{\text{об}}$ сводится к определению суммы произведений bu по всем слоям. Очевидно, что значения указанных произведений зависят от размеров поперечного сечения сплottedной единицы. Выполним анализ по поперечному сечению единичной площади. $A_{\text{об}}$, соответствующее единичной площади, обозначим символом a . Для указанного сечения величины u и b по слоям зависят от коэффициента формы сплottedной единицы C , а также от высоты этих слоев. Высота слоев зависит от их количества и высоты сплottedной единицы. В свою очередь количество слоев определяется соотношением высоты сплottedной единицы и высоты слоя, которая равна среднему диаметру лесоматериалов. От количества слоев зависит количество складываемых произведений bu при определении a . Из этого следует, что при фиксированном значении плотности лесоматериалов и единичной площади поперечного сечения сплottedной единицы для величины a определяющими факторами будут коэффициент формы C и общее количество слоев $n_{\text{сл}}$, равное отношению высоты пакета $h_{\text{п}}$ к среднему диаметру лесоматериалов d .

Задаваясь различными значениями C и $h_{\text{п}}/d$ в диапазонах от 1,5 до 2,5 и от 4 до 20 соответственно, при различных сочетаниях этих факторов вычисляли величины a . При вычислениях воспользовались данными по геометрическим характеристикам плавающих пакетных сплottedных единиц, полученными авторами ранее. Алгоритм получения этих данных описан авторами в работе [Посыпанов, 2017]. К указанным данным относятся высота пакета $h_{\text{п}}$, его осадка t , высота надводной части $h_{\text{н}}$, модулярные высоты h_i , и модулярные углы Θ_i обеих эластик, ординаты точек сопряжения фрагментов эластик в обеих системах координат y_{1C} , y_{2C} и соответствующие углы φ_{1C} , φ_{2C} . Значения этих величин при единичной площади поперечного сечения пакета принимали по его коэффициенту формы C .

Задавись количеством слоев, высоту слоя или условный средний диаметр лесоматериалов определяли из выражения

$$d = \frac{h_{\text{п}}}{n_{\text{сл}}}. \quad (23)$$

Количество слоев ниже уровня воды

$$n_{\text{сл н}} = \frac{t}{d}. \quad (24)$$

Полученное значение округляли до целой величины. Очевидно, что оставшиеся слои надводные. Давления сыпучих сред в подводной и надводной частях пакета поблизости от поверхности воды отличаются незначительно (рис. 1). Поэтому округление количества слоев существенно не сказывается на результате.

Далее по формуле

$$y_{11} = y_{1c} - \frac{t}{d} \quad (25)$$

вычислили ординату оси самого нижнего слоя.

Ординаты осей следующих подводных слоев больше соответствующих ординат предыдущих на величину среднего диаметра лесоматериалов.

Ординату оси самого верхнего надводного слоя определяли с помощью выражения

$$y_{21} = y_{2c} - h_n + \frac{d}{2}. \quad (26)$$

И здесь для получения ординаты оси каждого следующего слоя к соответствующей ординате предыдущего прибавляли величину диаметра лесоматериала.

Далее находили значения Δ для всех полученных ординат слоев, деля эти ординаты, согласно (2), на модулярные высоты соответствующих эластик. С помощью выражения

$$\varphi = \arcsin \sqrt{\frac{1 - \Delta^2}{\sin^2 \Theta}}, \quad (27)$$

полученного из формулы (4), для точек эластик, находящихся на осях слоев, находили углы φ . По величинам этих углов, используя выражение (3), определяли значения f . Эллиптические интегралы при этом вычисляли при помощи рядов [Журавский, 1941].

По формуле (1) находили абсциссы точек эластик, совпадающих с осями слоев. Ширина слоев определялась в результате удваивания этих абсцисс.

Используя выражения (17), (18), вычисляли величины A для каждого слоя. В результате их суммирования находим величину A_{06} .

По результатам вычислений построили графики, приведенные на рис. 2, которыми можно пользоваться при практических расчетах.

Для наиболее часто используемых при расчетах коэффициентов формы сплоченных единиц, сплавляемых по рекам, а именно для 1,75; 2,00 и

2,50 приводим в соответствующей последовательности полученные авторами аппроксимирующие зависимости для вычисления a .

$$a = 126,8 h_n/d + 2,2; \quad (28)$$

$$a = 112,3 h_n/d + 10,0; \quad (29)$$

$$a = 98,4 h_n/d + 3,6. \quad (30)$$

Ими также можно пользоваться при практических расчетах. Достоверность аппроксимации этих зависимостей не ниже 0,99, что объясняется теоретическим происхождением данных, по которым они получены.

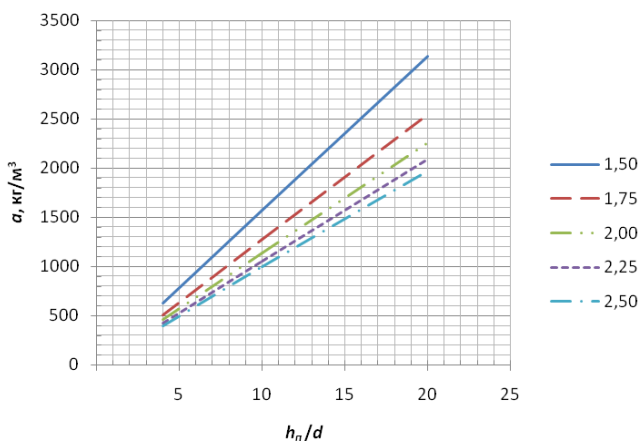


Рис. 2. Графики зависимости a от h_n/d при различных коэффициентах формы C сплочной пакетной единицы

Fig. 2. Graphs of the dependence of a on h_n/d at various coefficients of the shape C of a packaged rafting unit

При установлении необходимого усилия для выравнивания торцов лесоматериалов за расчетный обычно [Реутов, 1975] принимают вариант, при котором все они выдвинуты, причем половина в одну сторону, вторая половина – в другую. В этом случае коэффициент, учитывающий долю лесоматериалов, выдвинутых с одной стороны сплочной единицы, равен 0,5. В имеющихся справочных источниках величина коэффициента трения при продольном смещении круглых лесоматериалов относительно друг друга и относительно обвязок в условиях сплава приводится независимо от вида лесоматериалов равной 0,2 [Реутов, 1975]. Величина ускорения свободного падения, присутствующая в формуле (22), также является постоянной. Логично все постоянные множители в (22) заменить одной величиной 1,96.

Очевидно, что при сохранении формы поперечного сечения пакета и увеличении его размера увеличатся и ранее вычисленные произведения bu , а значит и $A_{об}$. Соотношения между линейными размерами не изменятся. Для получения $A_{об}$ для пакета с произвольной площадью поперечного сечения ω необходимо удельную величину a умножить на эту площадь. С учетом этих фактов формулу (22) привели к виду

$$F = 1,96 a l \omega \eta (1 + \lambda_a). \quad (31)$$

Значение λ_a может быть принято для сосновых сортиментов 0,406, для еловых 0,361 [Реутов, 1975].

Отметим, что произведение площади поперечного сечения сплочной единицы, длины лесоматериалов и коэффициента полндревесности равно ее объему V . Величина λ_a варьируется в небольшом диапазоне и в практических расчетах можно ориентироваться на большее значение этого коэффициента. Таким образом, для указанных расчетов может быть рекомендован более компактный вариант формулы, полученный из выражения (31)

$$F = 2,76 a V. \quad (32)$$

Интерпретация результатов. Из полученных зависимостей следует, что исследуемое усилие линейно возрастает с увеличением объема торцевой сплочной единицы, коэффициента λ_a и отношения h_n/d , что наглядно демонстрируют графики, приведенные на рис. 2. С увеличением коэффициента формы сплочной единицы исследуемое усилие уменьшается (рис. 3).

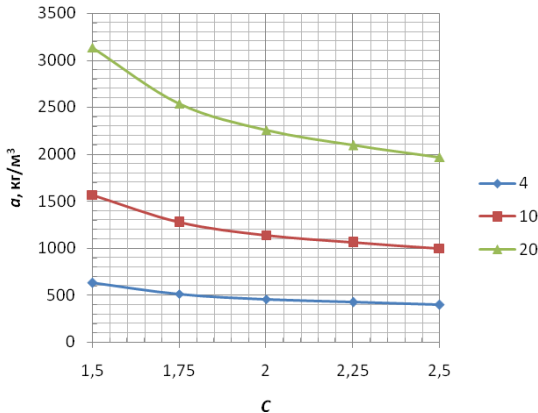


Рис. 3. Графики зависимости a от коэффициента формы C сплочной пакетной единицы при различных h_n/d

Fig. 3. Graphs of the dependence of a on coefficients of the shape C of a packaged rafting unit at various h_n/d

Степень влияния перечисленных факторов различна. Зависимость от объема, согласно (32) прямо пропорциональная. От коэффициента λ_a , величина которого определяется в основном породой древесины, зависимость гораздо менее значительная. Его изменение в пределах реального диапазона меняет выходную величину на 5–6%. Очень велика зависимость от h_n/d (рис. 2). Изменение этого фактора в пределах рассмотренного диапазона обуславливает изменение анализируемого усилия примерно в пять раз. При определенной высоте сплотовой единицы соответствующим образом влияет диаметр лесоматериалов. Чем он меньше, тем больше необходимое усилие для торцевания сплотовой единицы. Зависимость от коэффициента формы в абсолютном выражении наиболее существенно проявляется при больших значениях h_n/d (рис. 3). В относительных показателях уменьшение этого коэффициента от 2,5 до 1,5 примерно на 60% увеличивает требуемое усилие для торцевания. Наиболее интенсивно это увеличение происходит в диапазоне малых коэффициентов формы.

Выводы. Используя эластиковую теорию, получили аналитическую зависимость для определения усилия, необходимого для торцевания плавающей пакетной сплотовой единицы. Установили, что при фиксированной плотности лесоматериалов в перечень основных факторов, влияющих на величину этого усилия, входят объем сплотовой единицы, коэффициент ее формы и отношение ее высоты к среднему диаметру лесоматериалов. Указанное отношение является наиболее значимым фактором. Его изменение в диапазоне от 4 до 20 увеличивает выходную величину примерно в 5 раз. Зависимость между объемом сплотовой единицы и выходной величиной прямо пропорциональная. Уменьшение коэффициента формы сплотовой единицы от 2,5 до 1,5 увеличивает усилие торцевания примерно на 60%.

Коэффициент активного распора, определяемый в основном породой лесоматериалов, изменяется в небольшом диапазоне. Это изменение несущественно влияет на выходную величину. Согласно справочным источникам, это можно сказать и о коэффициенте трения при продольном смещении лесоматериалов.

В аналитической зависимости влияние коэффициента формы и отношения высоты сплотовой единицы к диаметру лесоматериалов учитывается с помощью коэффициента a , величину которого при практических расчетах можно установить по предложенным графикам или простым выражениям, не прибегая к сложным вычислениям, по результатам которых они получены.

Библиографический список

Борисов М.В. К вопросу определения усилий торцевания пачек (пакетов) бревен // Труды ВКНИИВОЛТ. М., 1971. Вып. X. С. 13–19.

Войтко П.Ф. Математические модели формирования лесных грузов гравитационными торцевыравнивателями // Изв. вузов. Лесной журнал. 2003. № 4. С. 56–65.

Войтко П.Ф. Методика и результаты производственных испытаний передвижных и переносных торцевыравнивателей на рейдах приплава лесопромышленных предприятий // Изв. вузов. Лесной журнал. 2004. № 5. С. 45–50.

Воробьев А.Г. О расчете по эластиковой теории пучков пучковых плотов для случая нахождения их на суше // Изв. вузов. Лесн. журн. 1958. № 4. С. 93–98

Журавский А.М. Справочник по эллиптическим функциям. М., Л: Изд-во АН СССР. 1941. 235 с.

Посыпанов С.В. Определение геометрических параметров плавающего транспортного пакета круглых лесоматериалов численным методом // Изв. вузов. Лесной журнал. 2017. №1. С. 141–153.

Посыпанов С.В., Песков И.А. Технология навигационной сплотки двухъярусных пакетных лесотранспортных единиц // Аллея Науки: [науч.-практ. электр. журнал]. 2018. № 5-8(21). С. 73–75. URL: Alley-science.ru

Реутов Ю.М. Расчеты пучков (пакетов) круглых лесоматериалов. М.: Лесн. пром-сть, 1975. 152 с.

Харитонов В.Я., Посыпанов С.В. Ресурсы отдаленных лесных массивов и возможность их освоения сплавом // Изв. вузов. Лесной журнал. 2008. №2. С. 30–36.

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

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

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

References

Borisov M.V. K voprosy opredeleniya usilii tortsevaniya pachech (paketrov) breven. *Trudy VKNIIVOLT*, 1971, is. X, pp. 13–19. (In Russ.)

Voytko P.F. Matematicheskiye modeli formirovaniya lesnykh gruzov gravitatsionnymi tortsevyravnivatelyami. *Izv. vuzov. Lesnoy zhurnal*, 2003, no. 4, pp. 56–65. (In Russ.)

Voytko P.F. Metodika i rezul'taty proizvodstvennykh ispytaniy peredvizhnykh i perenosnykh tortsevyravnivateley na reyдах priplava lesopromyshlennykh predpriyatiy. *Izv. vuzov. Lesnoy zhurnal*, 2004, no. 5, pp. 45–50. (In Russ.)

Vorob'ev A.G. O rasschety po elasticheskoy teorii puchkov puchkovykh plotov dlya sluchaya nakhozheniya ikh na sushi. *Lesn. zhurn.*, 1958, no. 4, pp. 93–98. (In Russ.)

Zheravskiy A.M. Spravochnik po ellepticheskim funktsiyam. M., L: Izd-vo AN SSSR. 1941. 235 p. (In Russ.)

Posypanov S.V. Opredeleniye geometricheskikh parametrov plavayushchego transportnogo paketa kruglykh lesomaterialov chislennym metodom. *Izv. vuzov. Lesnoy zhurnal*, 2017, no. 1, pp. 141–153. (In Russ.)

Posypanov S.V., Peskov I.A. Tekhnologiya navigatsionnoy splotki dvukh'yarusnykh paketnykh lesotransportnykh yedinit. *Alleya Nauki*: [nauch.-prakt. elektr. zhurnal], 2018, no. 5-8(21), pp. 73–75. URL: Alley-science.ru (In Russ.)

Reutov Yu.M. Rasschety puchkov (paketov) kruglykh lesomaterialov. M.: Lesn. prom-st', 1975. 152 p. (In Russ.)

Kharitonov V.Ya., Posypanov S.V. Resursy otдалennyykh lesnykh massivov I vozmozhnost' ikh osvoeniya splavom. *Izvestiya vuzov. Lesnoy zhurnal*, 2008, no. 2, pp. 30–36. (In Russ.)

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

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

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

Материал поступил в редакцию 25.04.2021

Песков И.А., Посыпанов С.В. Обоснование усилий, необходимых при торцевании плавающих пакетных сплоченных единиц // Известия Санкт-Петербургской лесотехнической академии. 2021. Вып. 235. С. 165–178. DOI: 10.21266/2079-4304.2021.235.165-178

При реализации концепции, обеспечивающей экономическую доступность удаленных лесных ресурсов, предусматривается сплотка малогабаритных пакетов круглых лесоматериалов в двухъярусные единицы в пунктах выхода с мелководных участков рек на глубоководные. Указанная сплотка предполагается в специальных устройствах, где предусматривается, в частности, торцевание сплоченных единиц с целью повышения экономических показателей дальнейшей транспортировки и надежности сохранения их целостности. Для обоснования параметров устройства нужна информация о требуемых усилиях для торцевания плавающих пакетов и двухъярусных единиц из них. Установлено, что для ее получения нужны дополнительные исследования. Очевидна целесообразность общей методологии для двухъярусных единиц и составляющих их пакетов, с которых и следует начать исследования. С целью получения зависимости для расчета усилия, необходимого для торцевания плавающих пакетов, использовали

теоретический метод, базирующийся на эластической теории. При этом плавающий пакет рассматривали как гибкую оболочку, заполненную двумя видами сыпучей среды с разным объемным весом. Граница сред проходит по поверхности воды. Линия обвязки, то есть гибкой оболочки представляет собой комбинацию фрагментов двух эластиков с разными характеристиками. Используя параметрические уравнения, описывающие форму эластик, и зависимости для определения давлений в сыпучих средах, получили искомую аналитическую зависимость и ее упрощенный вариант для практических расчетов. Результаты расчетов по предложенной формуле превышают результаты, вычисленные по формуле, полученной ранее по другому алгоритму действий без учета давления обвязок, на 70% при коэффициенте формы пакета 1,5, то есть при сильном давлении обвязок и примерно на 10% – при коэффициенте 2,5, то есть слабом их давлении. Это позволяет считать результаты исследования достоверными, применение использованной методики для соответствующего исследования двухъярусным единиц – целесообразным. Установили, что при фиксированной плотности лесоматериалов наиболее существенно влияют на усилие торцевания изменения отношения высоты пакета к среднему диаметру лесоматериалов, его коэффициента формы и объема. Влияние первых двух факторов в аналитической формуле учитывается множителем, величину которого в практических расчетах можно определить по предложенным графикам или аппроксимирующим зависимостям.

Ключевые слова: лесосплав, круглые лесоматериалы, сплочные единицы, торцевание.

Peskov I.A., Posypanov S.V. Justification of the forces required for leveling ends of floating packaged rafting units. *Izvestia Sankt-Peterburgskoj Lesotekhniceskoj Akademii*, 2021, is. 235, pp. 165–178 (in Russian with English summary). DOI: 10.21266/2079-4304.2021.235.165-178

When implementing the concept that ensures the economic accessibility of remote forest resources, it is envisaged to raft small-sized packages of round timber into bilevel units at the points of exit from shallow-water sections of rivers to deep-water ones. The specified raft is assumed in special devices, which provide the leveling ends of rafting units to increase the economic indicators of further transportation and the reliability of maintaining integrity. To substantiate the parameters of the device, information is needed on the required forces for leveling ends of floating packages and bilevel units of them. It was found that to obtain it requires additional research. The expediency of a common methodology for bilevel units and their constituent packages is obvious, from which research should be started. To obtain the dependence for calculating the force required for leveling ends of the floating packages, a theoretical method based on the elastic theory was used. In this case, the floating package was considered as a flexible shell filled with two types of granular media with different bulk density. The boundary

of the media runs along the surface of the water. The strapping line, that is, the flexible casing, is a combination of fragments of two elastics with different characteristics. Using parametric equations describing the shape of elastic and dependences for determining pressures in bulk media, we obtained the required analytical dependence and its simplified version for practical calculations. The calculation results according to the proposed formula exceed the results calculated according to the formula obtained earlier using another algorithm of actions without considering the pressure of the straps by 70% with a package shape factor of 1.5, that is, with a strong pressure of the straps and by about 10% – with a coefficient of 2.5, that is, their weak pressure. This allows us to consider the results of the study reliable, the use of the methodology used for the corresponding study of bilevel units is expedient. It was found that at a fixed density of timber, the most significant effect on the force of leveling ends is changes in the ratio of the height of the package to the average diameter of timber, its shape factor and volume. The influence of the first two factors in the analytical formula is considered by a factor, the value of which in practical calculations can be determined from the proposed graphs or approximating dependences.

Key words: timber rafting, round timber, rafting units, leveling ends.

ПЕСКОВ Илья Александрович – аспирант Высшей инженерной школы Северного (Арктического) федерального университета имени М.В. Ломоносова. 163002, наб. Северной Двины, д. 17, г. Архангельск, Россия. E-mail: peskovily@gmail.com

PESKOV Ilya A. – PhD student, Higher engineering school, Northern (Arctic) Federal University named after M.V. Lomonosov. 163002. Severnoj Dviny emb. 17. Arkhangelsk. Russia. E-mail: peskovily@gmail.com

ПОСЫПАНОВ Сергей Валентинович – профессор Высшей инженерной школы Северного (Арктического) федерального университета имени М.В. Ломоносова, доктор технических наук, доцент. ORCID: 0000-0003-0600-7089. SPIN-код 8592-0690

163002, наб. Северной Двины, д. 17, г. Архангельск, Россия. E-mail: s.posypanov@narfu.ru

POSYPANOV Sergey V. – DSc (Engineering), Professor, Higher engineering school, Northern (Arctic) Federal University named after M.V. Lomonosov. ORCID: 0000-0003-0600-7089. SPIN-code: 8592-0690

163002. Severnoj Dviny emb. 17. Arkhangelsk. Russia. E-mail: s.posypanov@narfu.ru