



Научная статья

УДК 630\*378.33

DOI: 10.37482/0536-1036-2022-4-146-155

### Обоснование показателя гибкости плота из сплоточных единиц

*В.В. Васильев*<sup>1</sup>, канд. техн. наук; *ResearcherID*: [ABG-5020-2021](https://orcid.org/0000-0002-5763-1650),

*ORCID*: <https://orcid.org/0000-0002-5763-1650>

*Д.Н. Афоничев*<sup>2</sup>, д-р техн. наук, проф.; *ResearcherID*: [J-8541-2017](https://orcid.org/0000-0001-9066-6428),

*ORCID*: <https://orcid.org/0000-0001-9066-6428>

<sup>1</sup>Филиал АО «Управляющая Компания ЭФКО» в г. Алексеевке, ул. Фрунзе, д. 2, г. Алексеевка, Белгородская обл., Россия, 309850; [vasiliev.vladimir87@mail.ru](mailto:vasiliev.vladimir87@mail.ru)

<sup>2</sup>Воронежский государственный аграрный университет им. императора Петра I, ул. Мичурина, д. 1, г. Воронеж, Россия, 394087; [dmafonichev@yandex.ru](mailto:dmafonichev@yandex.ru)

Поступила в редакцию 05.03.21 / Одобрена после рецензирования 10.06.21 / Принята к печати 14.06.21

**Аннотация.** Для обеспечения безаварийного сплава лесоматериалов в плотах на малых и средних реках следует учитывать особенности формирования гибкости плота и выполнять необходимые при этом расчеты. Цель исследования – разработка усовершенствованной методики вычисления показателей, обеспечивающих гибкость плота, изготавливаемого из плоских сплоточных единиц. Гибкость плота формируется через установление оптимального интервала между плоскими сплоточными единицами, который непосредственно влияет на показатель гибкости. Минимально допустимый интервал между сплоточными единицами зависит от длины лежней в линейке: лежня, проложенного вдоль выпуклого борта, и лежня, проложенного вдоль вогнутого борта. Длина данных лежней в лесотранспортной единице будет определяться минимальным радиусом поворота сплавного хода, шириной линейки, длиной плоских сплоточных единиц и расстоянием от борта плота до лежня. При установлении оптимального интервала между плоскими сплоточными единицами и гибкости плота принято, что линейка из плоских сплоточных единиц, независимо от сильного свального течения, проходит в габаритах сплавного хода, где ось сплавного хода совпадает с осью плота, а плоские сплоточные единицы, расположенные между 1-й и последней сплоточными единицами, могут свободно перемещаться в продольном направлении. Используя предложенную методику расчета гибкости плота, исследовали зависимости интервала между плоскими сплоточными единицами в плоту от минимального радиуса поворота сплавного хода, ширины линейки и длины плоских сплоточных единиц. Установили, что при увеличении радиуса поворота сплавного хода интервал между плоскими сплоточными единицами уменьшается, а коэффициент гибкости плота увеличивается. Интервал между плоскими сплоточными единицами становится больше с ростом ширины плоских сплоточных единиц, а коэффициент полндревесности плота в этом случае уменьшается. При увеличении длины плоской сплоточной единицы интервал между плоскими сплоточными единицами растет – коэффициент полндревесности плота снижается.



**Ключевые слова:** плотовой сплав лесоматериалов, сплавной ход, плот, плоская сплотовая единица, лежень, интервал, гибкость плота

**Для цитирования:** Васильев В.В., Афоничев Д.Н. Обоснование показателя гибкости плота из сплотовых единиц // Изв. вузов. Лесн. журн. 2022. № 4. С. 146–155. <https://doi.org/10.37482/0536-1036-2022-4-146-155>

Original article

## Flexibility Justification of a Raft Made of Raft Units

*Vladimir V. Vasiliev*<sup>1</sup>, Candidate of Engineering; ResearcherID: [ABG-5020-2021](https://orcid.org/0000-0002-5763-1650),

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-5763-1650>

*Dmitry N. Afonichev*<sup>2</sup>, Doctor of Engineering, Prof; ResearcherID: [J-8541-2017](https://orcid.org/0000-0001-9066-6428),

ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-9066-6428>

<sup>1</sup>Branch of OOO “EFKO Management Company” in the city of Alekseyevka, ul. Frunze, 2, Alekseyevka, Belgorod Region, 309850, Russian Federation; [vasiliev.vladimir87@mail.ru](mailto:vasiliev.vladimir87@mail.ru)

<sup>2</sup>Voronezh State Agrarian University named after Emperor Peter the Great, ul. Michurina, 1, Voronezh, 394087, Russian Federation; [dmafonichev@yandex.ru](mailto:dmafonichev@yandex.ru)

Received on March 5, 2021 / Approved after reviewing on June 10, 2021 / Accepted on June 14, 2021

**Abstract.** In order to provide accident free timber rafting on small and medium-sized rivers, it is necessary to consider in detail the features of ensuring the raft flexibility with all the necessary calculations. The research aims at developing an improved methodology for calculating the parameters that ensure the flexibility of a raft made of flat raft units. The raft flexibility is formed through the optimal interval between flat raft units, which directly affects the flexibility index. The minimum allowable interval between raft units depends on the length of guard rails in the section line: the guard rail laying along the section line convex side and the guard rail laying along the section line concave side. Length of the guard rails in the timber transportation unit will be determined by the minimum turning radius of the rafting course, the section line width, the length of flat raft units and the distance from the raft board to the guard rail. When determining the optimal interval between the flat raft units and the raft flexibility, it is assumed that the section line of flat raft units, regardless of a strong piling current, passes within the raft course dimensions, where the raft course axis coincides with the raft axis, and the flat raft units located between the 1st and the last flat raft units can move freely in the longitudinal direction. We have studied the dependences of the interval between flat raft solid units on the minimum turning radius of the raft course, the section line width and the length of flat raft units, using the proposed methodology for calculating raft flexibility. We have found that with increasing turning radius of the rafting course, the interval between the flat raft units decreases, and the raft flexibility index increases. The interval between flat raft units becomes larger as the width of flat raft units increases and the coefficient of raft section density decreases in this case. As the length of the flat raft unit increases, the interval between flat raft units increases; the coefficient of raft section density decreases.

**Keywords:** timber rafting, rafting course, raft, flat raft unit, guard rail, interval, raft flexibility index

**For citation:** Vasiliev V.V., Afonichev D.N. Flexibility Justification of a Raft Made of Raft Units. *Lesnoy Zhurnal = Russian Forestry Journal*, 2022, no. 4, pp. 146–155 (In Russ.). <https://doi.org/10.37482/0536-1036-2022-4-146-155>



### *Введение*

В настоящее время лесные насаждения, в составе которых есть спелая высококачественная древесина, как правило, произрастают в труднодоступных местах, где отсутствуют дороги [14, 18, 19]. В таких условиях единственным экономически выгодным видом транспорта является водный транспорт, так как в лесных районах развита сеть малых и средних рек [11, 12, 15, 17]. Для того чтобы осуществить перевозку лесоматериалов по воде, их грузят на баржи и суда [13] или изготавливают из круглых лесоматериалов сплотовые единицы с последующим формированием из них плотов различных конструкций [3, 4, 6, 16, 20].

Выполнение работ по сплаву лесоматериалов в плотках требует обеспечения высоких транспортно-эксплуатационных показателей лесотранспортных единиц (линеек, плотов), предназначенных для первоначального и магистрального плотового сплава лесоматериалов [3, 4, 6, 8–10]. Основными такими показателями необходимо считать следующие [1–5, 7]: габаритные размеры, гибкость, коэффициент полнодревесности, объем, форму, способ и эффективность формирования, сопротивление движению, способ управления и управляемость, волноустойчивость, прочность.

При организации сплава лесоматериалов в плотках на малых и средних реках при первоначальном плотовом сплаве следует ориентироваться на изготовление плотов из плоских сплотовых единиц. Для организации безаварийной проводки плотов по транспортным путям с лимитирующими габаритами сплавного хода в первую очередь необходимо правильно рассчитать габаритные размеры плотов, а также обеспечить при изготовлении их достаточную гибкость.

Основная методика расчета габаритных размеров плотов для первоначального плотового сплава лесоматериалов описана в источниках [5, 7]. В то время как технология обеспечения гибкости данных плотов [5] и все приведенные расчеты имеют общий характер и подходят только для плотов традиционной конструкции. Таким образом, для организации безаварийного сплава лесоматериалов в плотках на малых и средних реках следует рассмотреть особенности обеспечения гибкости плота и выполнить необходимые при этом расчеты.

Цель исследования – разработка усовершенствованной методики расчета показателей, обеспечивающих гибкость плота из плоских сплотовых единиц.

### *Объекты и методы исследования*

Обеспечение гибкости плота, изготовленного из плоских сплотовых единиц, осуществляется через установление оптимального интервала между плоскими сплотовыми единицами  $i_{\text{ПСЕ}}$ . При этом он будет непосредственно влиять на показатель гибкости плота  $\lambda_{\text{ПДЛ}}$ . Принят теоретический метод исследования.

В практических условиях при формировании плотов, предназначенных для первоначального плотового сплава древесины, расположение лежней относительно ряда плоских сплотовых единиц имеет 2 варианта. Первый вариант, который предусматривает расположение лежня по борту плота, представлен на рис. 1, а. Второй вариант, приведенный на рис. 1, б, регламентирует отнесение лежня от бортов плота на расстояние  $a_{\text{БЛ}}$ .

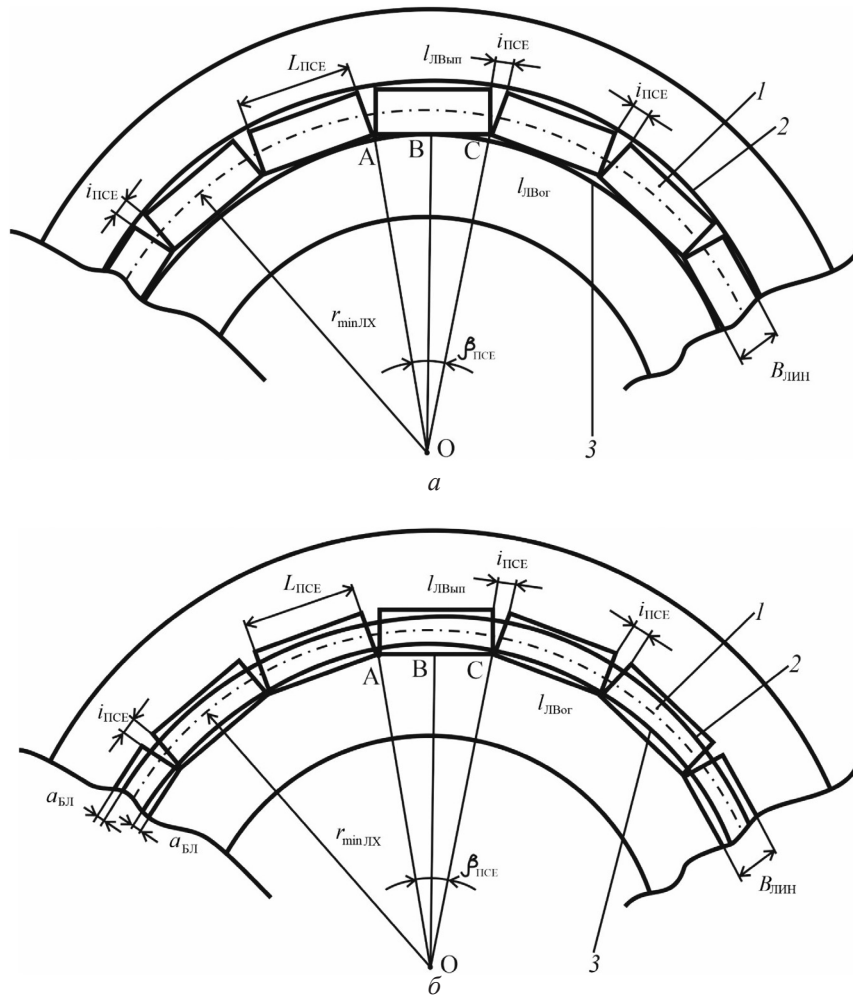


Рис. 1. Схема расположения линейки из плоских сплочных единиц на криволинейном участке сплавного хода: *a* – 1-й вариант; *б* – 2-й вариант (*1* – плоская сплочная единица; *2* – бортовой лежень, проложенный по выпуклому борту линейки; *3* – бортовой лежень, проложенный по вогнутому борту линейки)

Fig. 1. Layout of a raft section line on a curved part of the rafting course: *a* – 1st option; *б* – 2nd option (*1* – flat raft unit; *2* – guard rail laying along the section line convex side; *3* – guard rail laying along the section line concave side)

Анализируя схемы, представленные на рис. 1, можно сделать вывод, что минимально допустимый интервал между сплочными единицами зависит от длины лежня в линейке, проложенного вдоль выпуклого борта  $l_{\text{Выв}}$ , и длины лежня в линейке, проложенного вдоль вогнутого борта  $l_{\text{Вор}}$ . В свою очередь длина данных лежней будет определяться минимальным радиусом поворота сплавного хода  $r_{\text{min.ЛХ}}$ , шириной линейки  $B_{\text{Лин}}$ , длиной плоских сплочных единиц  $L_{\text{ПСЕ}}$ , а также расстоянием от борта плота до лежня.

При установлении оптимального интервала между плоскими сплочными единицами и показателя гибкости плота принимаем, что линейка из плоских сплочных единиц независимо от сильного свального течения проходит

в габаритах сплавного хода, где ось сплавного хода совпадает с осью плота, а плоские сплотовые единицы, расположенные между 1-й и последней сплотовыми единицами, могут свободно перемещаться в продольном направлении. При этом данной линейке свойственно принимать форму круга, т. е. образовывать кольцо с диаметром  $2r_{\min LX}$ , а 1-я и последняя плоские сплотовые единицы имеют возможность соединиться друг с другом.

Учитывая установленные по схеме рис. 1, а условия, получим зависимости для определения длины лежня в линейке, проложенного вдоль выпуклого борта, и длины лежня в линейке, проложенного вдоль вогнутого борта:

$$l_{LVып} = 2\pi \left( r_{\min LX} + \frac{B_{ЛИН}}{2} \right); \quad (1)$$

$$l_{LVог} = 2\pi \left( r_{\min LX} - \frac{B_{ЛИН}}{2} \right). \quad (2)$$

По схеме, представленной на рис. 1, б, –

$$l_{LVып} = 2\pi \left( r_{\min LX} + \frac{B_{ЛИН}}{2} - a_{БЛ} \right); \quad (3)$$

$$l_{LVог} = 2\pi \left( r_{\min LX} - \frac{B_{ЛИН}}{2} + a_{БЛ} \right). \quad (4)$$

#### Результаты исследования и их обсуждение

Зависимости (1) и (2) позволяют определить сумму интервалов между плоскими сплотовыми единицами для схемы на рис. 1, а:

$$\sum i_{ПСЕ} = l_{LVып} - l_{LVог} = 2\pi \left( r_{\min LX} + \frac{B_{ЛИН}}{2} \right) - 2\pi \left( r_{\min LX} - \frac{B_{ЛИН}}{2} \right) = 2\pi B_{ЛИН}.$$

По зависимостям (3) и (4) можно найти сумму интервалов между плоскими сплотовыми единицами для схемы, приведенной на рис. 1, б:

$$\begin{aligned} \sum i_{ПСЕ} &= l_{LVып} - l_{LVог} = 2\pi \left( r_{\min LX} + \frac{B_{ЛИН}}{2} - a_{БЛ} \right) - 2\pi \left( r_{\min LX} - \frac{B_{ЛИН}}{2} + a_{БЛ} \right) = \\ &= 2\pi B_{ЛИН} - 4\pi a_{БЛ}. \end{aligned}$$

Интервал между двумя плоскими сплотовыми единицами для обеих рассматриваемых схем определяется по следующей формуле:

$$i_{ПСЕ} = \frac{\sum i_{ПСЕ}}{n_{ПСЕКЛ}}, \quad (5)$$

где  $n_{ПСЕКЛ}$  – максимальное количество круговой установки плоских сплотовых единиц в линейке, шт.

В этой формуле максимальное количество круговой установки плоских сплотовых единиц в линейке будет зависеть от угла поворота одной сплотовой единицы  $\beta_{ПСЕ}$  и минимального радиуса поворота сплавного хода. Таким образом, максимальное количество плоских сплотовых единиц в линейке при их круговой установке будет равно

$$n_{ПСЕКЛ} = \frac{360}{\beta_{ПСЕ}}. \quad (6)$$

Угол поворота одной плоской сплottedной единицы составит

$$\beta_{\text{ПСЕ}} = 2 \arctg \frac{L_{\text{ПСЕ}}}{2r_{\text{minЛХ}} - B_{\text{ЛИН}}}.$$

Необходимо отметить, что при расчете максимального количества круговой установки плоских сплottedных единиц в линейке по зависимости (6) полученное значение округляется до целого числа в меньшую сторону.

Зная длину линейки  $L_{\text{ЛИН}}$ , которая определяется расчетным путем, можно вычислить максимально возможное количество установки плоских сплottedных единиц в линейке, при котором она может быть проведена по излучине с минимальным радиусом закругления сплавного хода безопасно. Следовательно, максимальное количество плоских сплottedных единиц в линейке  $n_{\text{ПСЕЛ}}$  с учтенным транспортным запасом, равным  $i_{\text{ПСЕ}}$ , составит

$$n_{\text{ПСЕЛ}} = \frac{L_{\text{ЛИН}}}{L_{\text{ПСЕ}} + i_{\text{ПСЕ}}}.$$

Полученное из данного равенства значение округляется до целого в меньшую сторону и принимается как базовое для рассматриваемых транспортных условий.

Гибкость плота, в соответствии с рис. 1, б, будет определяться отношением длины лежня в линейке, проложенного вдоль выпуклого борта, к длине лежня в линейке, проложенного вдоль вогнутого борта. На основании формул (1) и (2) показатель гибкости плота

$$\lambda_{\text{ГПЛ}} = \frac{l_{\text{ЛВып}}}{l_{\text{ЛВог}}} = \frac{2r_{\text{minЛХ}} + B_{\text{ЛИН}}}{2r_{\text{minЛХ}} - B_{\text{ЛИН}}}.$$

Для схемы, представленной на рис. 2:

$$\lambda_{\text{ГПЛ}} = \frac{l_{\text{ЛВып}}}{l_{\text{ЛВог}}} = \frac{2r_{\text{minЛХ}} + B_{\text{ЛИН}} - 2a_{\text{БЛ}}}{2r_{\text{minЛХ}} - B_{\text{ЛИН}} + 2a_{\text{БЛ}}}.$$

Определив по двум этим зависимостям гибкость, можно установить степень жесткости плота. Если  $1,03 \geq \lambda_{\text{ГПЛ}} \geq 1,00$  [5], то рассматриваемый плот будет считаться жестким; если  $1,12 \geq \lambda_{\text{ГПЛ}} > 1,03$  – полужестким; если  $\lambda_{\text{ГПЛ}} > 1,12$  – гибким.

Для безопасной транспортировки плота по рекам с лимитирующими габаритами сплавного хода необходимо максимально точно рассчитывать по зависимости (5) минимально допустимый интервал между плоскими сплottedными единицами. Данный уровень расчета будет удовлетворять всем условиям [3, 4, 6, 16, 20] обеспечения прочности конструкции во время ее эксплуатации с учетом достоверных расчетов на прочность сплottedного и формировочного такелажа.

Используя полученную методику расчета гибкости плота, построим графики зависимости интервала между плоскими сплottedными единицами в плоту от минимального радиуса поворота сплавного хода, ширины линейки и длины плоских сплottedных единиц.

Построение графика зависимости интервала между плоскими сплottedными единицами в плоту от минимального радиуса поворота сплавного хода осуществлялось при условии, что  $L_{\text{ПСЕ}} = 6$  м,  $a_{\text{БЛ}} = 0,5$  м,  $B_{\text{ЛИН}} = 4$  м. Радиус поворота сплавного хода изменялся от 20 до 140 м с шагом 20 м. Получен-

ный график представлен на рис. 2, *а*, откуда видно: при увеличении радиуса поворота сплавного хода интервал между плоскими сплоточными единицами уменьшается, а следовательно, коэффициент гибкости плота растет.

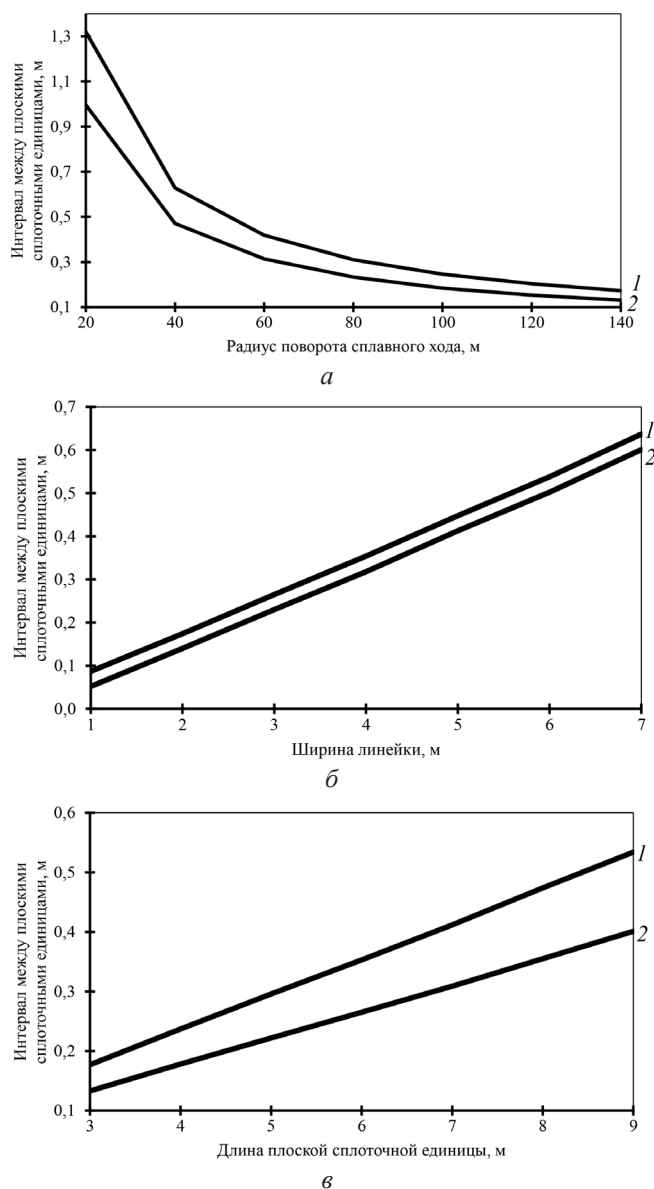


Рис. 2. Зависимость интервала между плоскими сплоточными единицами в плоту от радиуса поворота сплавного хода (*а*), ширины линейки (*б*) и длины плоской сплоточной единицы (*в*): 1 – расположение линейки из плоских сплоточных единиц на криволинейном участке сплавного хода по схеме рис. 1, *а*; 2 – по схеме рис. 1, *б*

Fig. 2. Dependence of the interval between flat raft units in a raft on the turning radius of the rafting course (*a*), the section line width (*б*) and the flat raft unit length (*в*): 1 – arrangement of a section line of flat raft units on the curved part of the rafting course according to the scheme of fig. 1, *a*; 2 – according to the scheme of fig. 1, *б*

График зависимости интервала между плоскими сплотовыми единицами в плоту от ширины линейки приведен на рис. 2, б. Построение данного графика осуществлялось при условии, что  $L_{\text{ПСЕ}} = 6$  м,  $a_{\text{БЛ}} = 0,2$  м,  $r_{\text{минЛХ}} = 70$  м. Ширина линейки изменялась от 1 до 7 м с шагом 1 м. В соответствии с графиком интервал между плоскими сплотовыми единицами увеличивается с ростом ширины линейки, а коэффициент полндревесности плота уменьшается.

На рис. 2, в представлен график зависимости интервала между плоскими сплотовыми единицами в плоту от длины плоских сплотовых единиц. Данный график строился при следующих условиях:  $B_{\text{лин}} = 4$  м,  $a_{\text{БЛ}} = 0,5$  м,  $r_{\text{минЛХ}} = 70$  м. Длина плоских сплотовых единиц изменялась от 3 до 9 м с шагом 1 м. Согласно представленному графику, при увеличении длины плоской сплотовой единицы интервал между плоскими сплотовыми единицами становится больше, а значит, коэффициент полндревесности плота уменьшается.

Анализируя представленную методику расчета интервала между плоскими сплотовыми единицами в плоту, предназначенного для эксплуатации на реках с малыми глубинами, а также графики, изображенные на рис. 2, можно сделать вывод, что интервал между плоскими сплотовыми единицами зависит от параметров плота и параметров самих плоских сплотовых единиц, их конструктивных особенностей, габаритов сплавного хода.

#### *Заключение*

Оптимальный интервал между плоскими сплотовыми единицами в плоту зависит от минимального радиуса поворота сплавного хода, ширины и длины плоской сплотовой единицы, а также от характера расположения буксирного троса в ряду плоских сплотовых единиц. Гибкость плота определяется оптимальным интервалом между плоскими сплотовыми единицами в ряду, т. е. отношением длины лежня, проложенного вдоль выпуклого борта, к длине лежня, проложенного вдоль вогнутого борта. Из этого следует, что чем меньше радиус поворота сплавного хода, тем больше устанавливается интервал между плоскими сплотовыми единицами в плоту.

Интервал между плоскими сплотовыми единицами становится больше при увеличении ширины плоских сплотовых единиц, коэффициент полндревесности плота в этом случае уменьшается. При увеличении длины плоской сплотовой единицы интервал между плоскими сплотовыми единицами растет, а коэффициент полндревесности плота уменьшается.

Использование на практике рассмотренной методики обоснования интервала между сплотовыми единицами и принципа расчета гибкости плота даст возможность осуществлять эффективный и экологически безопасный первоначальный сплав лесоматериалов в плотах из плоских сплотовых единиц.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ / REFERENCES

1. Васильев В.В. Эксплуатационные показатели сплотовой единицы стабилизированной плавучести // Уч. зап. ПетрГУ. 2011. № 8. С. 100–102.  
Vasil'ev V.V. Performance Indicators of Raft Sections with Stabilized Buoyancy. *Proceedings of Petrozavodsk State University*, 2011, no. 8, pp. 100–102. (In Russ.).



2. Васильев В.В. Изменение осадки плоской сплочной единицы // Лесотехн. журн. 2013. № 1(9). С. 78–86.  
Vasilyev V.V. Flat Raft Draft Changing. *Forestry Engineering Journal*, 2013, no. 1(9), pp. 78–86. (In Russ.).
3. Васильев В.В. Повышение эффективности и экологической безопасности плотового сплава лесоматериалов: дис. ... канд. техн. наук. Воронеж, 2013. 259 с.  
Vasiliev V.V. *Improving the Efficiency and Environmental Safety of Timber Rafting*: Cand. Eng. Sci. Diss. Voronezh, 2013. 259 p. (In Russ.).
4. Васильев В.В., Афоничев Д.Н. Усовершенствованные системы плотового сплава лесоматериалов. Saarbrücken (Германия): LAP LAMBERT Academic Publishing, 2014. 284 с.  
Vasiliev V.V., Afonichev D.N. *Improved Systems of Timber Rafting*. Saarbrücken, Germany, LAP LAMBERT Academic Publishing, 2014. 284 p. (In Russ.).
5. Куколевский Г.А., Зайцев А.А. Первоначальный плотовый лесосплав. М.: Лесн. пром-сть, 1976. 88 с.  
Kukolevskiy G.A., Zaytsev A.A. *Spring Timber Rafting*. Moscow, Lesnaya promyshlennost, Publ., 1976. 88 p. (In Russ.).
6. Митрофанов А.А. Лесосплав. Новые технологии, научное и техническое обеспечение. Архангельск: АГТУ, 2007. 492 с.  
Mitrofanov A.A. *Timber Floating. New Technologies, Scientific and Maintenance Engineering Support*. Arkhangelsk, ASTU Publ., 2007. 492 p. (In Russ.).
7. Овчинников М.М., Полищук В.П., Григорьев Г.В. Транспорт леса: в 2 т. Т. 2. Лесосплав и судовые перевозки. М.: Академия, 2009. 208 с.  
Ovchinnikov M.M., Polishchuk V.P., Grigoriev G.V. *Forest Transport: In 2 Vol. Vol. 2. Timber Floating and Ship Transportation*. Moscow, Akademiya Publ., 2009. 208 p. (In Russ.).
8. Посыпанов С.В. Исследование геометрических характеристик плавающей двухъярусной пакетной сплочной единицы // Изв. СПбЛТА. 2016. Вып. 215. С. 176–191.  
Posypanov S.V. Investigation of the Geometric Characteristics of a Floating Bilevel Packaged Rafting Unit. *Izvestia Sankt-Peterburgskoj lesotekhnicheskoy akademii*, 2016, no. 215, pp. 176–191. (In Russ.). <https://doi.org/10.21266/2079-4304.2016.215.176-191>
9. Посыпанов С.В. Определение геометрических параметров плавающего транспортного пакета круглых лесоматериалов численным методом // Изв. вузов. Лесн. журн. 2017. № 1. С. 141–153.  
Posypanov S.V. Numerical Determination of the Geometric Parameters of a Transport Floating Roundwood Bundle. *Lesnoy Zhurnal = Russian Forestry Journal*, 2017, no. 1, pp. 141–153. (In Russ.). <https://doi.org/10.17238/issn0536-1036.2017.1.141>
10. Харитонов В.Я., Посыпанов С.В. Опыт внедрения единого транспортного пакета вместо молевого лесосплава // Изв. вузов. Лесн. журн. 2007. № 1. С. 45–52.  
Kharitonov V.Ya., Posypanov S.V. Experience of Introducing Transport Package instead of Drift Floating. *Lesnoy Zhurnal = Russian Forestry Journal*, 2007, no. 1, pp. 45–52. (In Russ.). <http://lesnoizhurnal.ru/upload/iblock/3c6/3c66c8d06d36d7b633ef4eb67892e4d6.pdf>
11. Armanini A. *Principles of River Hydraulics*. Transl. from Italian by G. Zummo. Cham, Springer, 2018. 217 p. <https://doi.org/10.1007/978-3-319-68101-6>
12. Davie T., Quinn N.W. *Fundamentals of Hydrology*. London, Routledge, 2019. 306 p. <https://doi.org/10.4324/9780203798942>
13. Guy R.J. *Embarcation modulaire pour le transport des grumes par voie d'eau = Modular Craft for the Transport of Logs by Water*. Patent FR no. FR 2 882 723 A1, 2005. (In Fr.).
14. Mokhirev A.P., Pozdnyakova M.O., Medvedev S.O., Mamatov V.O. Assessment of Availability of Wood Resources Using Geographic Information and Analytical Systems

(the Krasnoyarsk Territory as a Case Study). *Journal of Applied Engineering Science*, 2018, vol. 16, iss. 3, pp. 313–319. <https://doi.org/10.5937/jaes16-16908>

15. Pandey A., Mishra S.K., Kansal M.L., Singh R.D., Singh V.P. *Hydrological Extremes*. Cham, Springer, 2021. 446 p. <https://doi.org/10.1007/978-3-030-59148-9>

16. Perfiliev P., Zadrauskaite N., Rybak G. Study of Hydrodynamic Resistance of a Raft Composed of the Flat Rafting Units of Various Draft. *Proceedings of the 18th International Multidisciplinary Scientific GeoConference SGEM2018*. Bulgaria, 2018, pp. 765–772. <https://doi.org/10.5593//sgem2018V/1.5/S03.093>

17. Subramanya K. *Engineering Hydrology*. New Dehli, McGraw-Hill, 2021. 592 p.

18. Syunev V., Sokolov A., Konovalov A., Katarov V., Seliverstov A., Gerasimov Yu., Karvinen S., Väliky E. Comparison of Wood Harvesting Methods in the Republic of Karelia. *Working Papers of the Finnish Forest Research Institute 120*. METLA, 2009. 117 p. Available at: <http://www.metla.fi/julkaisut/workingpapers/2009/mwp120.htm> (accessed 05.03.21).

19. Tan J. Planning a Forest Road Network by Spatial Data Handling-Network Routing System. *Acta Forestalia Fennica*, 1992, no. 227, art. 7673. <https://doi.org/10.14214/aff.7673>

20. Yukawa Sh. *Method for Transporting Timbers by Sea*. Patent US no. US 3450279 A, 1969.

**Конфликт интересов:** Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов  
**Conflict of interest:** The authors declare that there is no conflict of interest