

УДК 630*378.33

DOI: 10.37482/0536-1036-2022-1-128-142

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ПЛОСКИХ СПЛОТОЧНЫХ ЕДИНИЦ НА ПЕРВОНАЧАЛЬНОМ СПЛАВЕ ЛЕСОМАТЕРИАЛОВ

В.В. Васильев¹, канд. техн. наук; *ResearcherID*: [ABG-5020-2021](https://orcid.org/0000-0002-5763-1650),

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

Д.Н. Афоничев², д-р техн. наук, проф.; *ResearcherID*: [J-8541-2017](https://orcid.org/0000-0001-9066-6428),

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

¹Филиал АО «Управляющая Компания ЭФКО», ул. Фрунзе, д. 2, г. Алексеевка, Белгородская обл., Россия, 309850; e-mail: vasiliev.vladimir87@mail.ru

²Воронежский государственный аграрный университет им. императора Петра I, ул. Мичурина, д. 1, г. Воронеж, Россия, 394087; e-mail: dmafonichev@yandex.ru

Оригинальная статья / Поступила в редакцию 04.12.20 / Принята к печати 10.02.21

Аннотация. Запрет молевого сплава, использовавшегося на первоначальном сплаве лесоматериалов, привел к удорожанию поставок лесоматериалов потребителям. В настоящее время развитие технологии сплавных работ на малых и средних реках идет в двух направлениях. Первое заключается в использовании на первоначальном сплаве пакетов (микропучков), которые после проплава по рекам с лимитирующими габаритами сплавного хода соединяются, например, в двухъярусный пакет сплоточных единиц. Второе направление – применение на первоначальном сплаве плоских сплоточных единиц. Для внедрения современных плоских сплоточных единиц на этапе первоначального сплава лесоматериалов необходимо глубокое обоснование экономического преимущества этих сплоточных единиц по отношению к микропучкам. Оценку предложено выполнять с использованием представленного в статье неравенства, выражающего, с одной стороны, затраты на сплотку плоских сплоточных единиц с последующим объединением их в более крупные лесотранспортные единицы, сплав вольницей плоских сплоточных единиц, формирование из них плотов, буксировку этих плотов, приобретение машин и оборудования для организации сплава, а также затраты на вывозку сухопутным транспортом лесоматериалов, которые остаются от заготовленной за год древесины из-за закрытия навигации и ограничения объема сплава недостаточной пропускной способностью водного пути, а с другой стороны, аналогичные показатели для сплава на базе микропучков. Получены аналитические зависимости, устанавливающие названные показатели. Ученные в методике затраты, возникающие при вывозке лесоматериалов сухопутным транспортом, указывают на то, что по причине неэффективности использования пропускной способности сплавного хода уменьшается объем сплава лесоматериалов на заданном участке сплавного пути. Следовательно, появляется необходимость поставки на рейды оставшихся лесоматериалов сухопутным транспортом. Внедрение плоских сплоточных единиц при первоначальном сплаве лесоматериалов должно обеспечить более высокую пропускную способность сплавного пути по сравнению с микропучками за счет уменьшения осадки, а следовательно, объема лесоматериалов, доставляемых на рейды дорогостоящим сухопутным транспортом.

Для цитирования: Васильев В.В., Афоничев Д.Н. Использование плоских сплоточных единиц на первоначальном сплаве лесоматериалов // Изв. вузов. Лесн. журн. 2022. № 1. С. 128–142. DOI: 10.37482/0536-1036-2022-1-128-142

Ключевые слова: первоначальный сплав лесоматериалов, плоская сплottedная единица, плот, эффективность сплава, габариты сплавного хода, пропускная способность водного пути.

THE USE OF FLAT RAFTING UNITS DURING THE INITIAL TIMBER RAFTING

*Vladimir V. Vasiliev*¹, 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*², Doctor of Engineering, Prof.; ResearcherID: [J-8541-2017](https://orcid.org/0000-0001-9066-6428), ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-9066-6428>

¹Branch of AO “EFKO Management Company”, ul. Frunze, 2, Alekseevka, Belgorod Region, 309850, Russian Federation; e-mail: vasiliev.vladimir87@mail.ru

²Voronezh State Agrarian University named after Emperor Peter the Great, ul. Michurina, 1, Voronezh, 394087, Russian Federation; e-mail: dmafonichev@yandex.ru

Original article / Received on December 4, 2020 / Accepted on February 10, 2021

Abstract. The prohibition of drift floating used in the initial timber rafting led to an increase in the cost of supplying timber to consumers. Nowadays, the technology for rafting operations on small and medium-sized rivers is developing in two directions. The first is the use of bunches (micro-bundles) in initial timber rafting which, after rafting along the rivers with limiting rafting dimensions, are joined together to form, for example, a two-tiered bunch of rafting units. The second is the use of flat rafting units in initial timber rafting. In order to implement modern flat rafting units in initial timber rafting, an in-depth substantiation of the economic advantages of these rafting units compared to micro-bundles is required. The article proposes to carry out the assessment by using an inequality. At one end the inequality expresses the costs for rafting of flat rafting units with their subsequent joining into larger timber transportation units, drift floating of flat rafting units, forming rafts from them, towing these rafts, purchasing machines and equipment to organize rafting, and expenses for hauling the timber, which remain from the wood harvested during the year due to the close of navigation and limitation of rafting volume by insufficient carrying capacity, by overland transport. At the other end the inequality expresses similar parameters for micro-bundle rafting. Analytical dependencies setting up the above-mentioned parameters are found. The costs for timber hauling by overland transport considered in the method indicate that due to inefficient use of the carrying capacity of the rafting stroke the volume of timber rafting on a given section of the rafting route decreases. Consequently, there is a need to deliver the remaining timber to floating depots by land transport. The implementation of flat rafting units in initial timber rafting should provide higher carrying capacity of a rafting route compared to micro-bundles by reducing the draft and hence the volume of timber delivered to the floating depots by expensive overland transport.

For citation: Vasiliev V.V., Afonichev D.N. The Use of Flat Rafting Units during the Initial Timber Rafting. *Lesnoy Zhurnal* [Russian Forestry Journal], 2022, no. 1, pp. 128–142. DOI: 10.37482/0536-1036-2022-1-128-142

Keywords: initial timber rafting, flat rafting unit, raft, efficiency of rafting, dimensions of the rafting stroke, carrying capacity of the rafting route.

Введение

На сегодняшний день транспортировка древесины осуществляется различными способами [1–3, 5, 13–23], каждый из которых имеет свои преимущества и недостатки. Как правило, применение автомобильного транспорта эффективно при перевозках на расстояние до 200 км. Если оно превышает 200 км, то необходим более экономически выгодный вид транспортировки, одним из них является использование водного пути [5, 7, 10–12]. В этом случае не требуется строительство дорог, а затрачиваемые на транспортировку 1 тыс. м³ древесины на 100 км ресурсы имеют меньшие значения по сравнению с затратами на применение других видов транспорта. Таким образом, при транспортировке древесины на большие расстояния целесообразно использовать водные артерии – сплав лесоматериалов и судовые перевозки.

Первоначальный сплав лесоматериалов до принятия Водного кодекса Российской Федерации [5] осуществлялся путем молевого сплава лесоматериалов, или сплава плоточных единиц вольницей, на всех водных объектах, где из-за лимитирующих габаритов сплавного хода буксировка плотов и кошелей невозможна. Запрет молевого сплава привел к увеличению стоимости поставок лесоматериалов потребителю. Развитие технологии сплава на малых и средних реках осуществляется в двух направлениях. Первое заключается в применении на первоначальном сплаве пакетов (микроручков), которые после проплава по рекам с лимитирующими габаритами сплавного хода сплавиваются, например, в двухъярусный пакет плоточных единиц. Данную технологию разрабатывали многие ученые, в т. ч. Посыпанов С.В. [11, 12]. Второе – в использовании на первоначальном сплаве плоских плоточных единиц [5, 7, 10]. Разработкой данного направления занимались Митрофанов А.А., Суров Г.Я., Войтко П.Ф., Папонов Н.Н., Федулов В.М. и др. При этом необходимо отметить, что применение на сплаве микроручков и плоских плоточных единиц уже давно известно [6, 8, 9]. Микроручки, как правило, использовали при сплаве тонкомерных круглых лесоматериалов хвойных пород [8] (диаметр пучка принимался равным максимальному диаметру круглого лесоматериала), а плоские плоточные единицы – при сплаве специальных ценных сортиментов или сплаве любых круглых лесоматериалов, например, в однорядных плотках по мелководным рекам с глубиной до 0,7 м [8].

На данный момент, по нашему мнению, наиболее перспективно развивать первоначальный сплав древесины на базе плоских плоточных единиц, что требует установления экономической эффективности использования данного вида транспортировки древесины в определенных условиях плавания. Причем конструкции плоских плоточных единиц обязаны обеспечивать формирование плотов [4, 5, 7, 10] для рек с малыми глубинами и иметь способность к укладыванию в специальные [1, 6, 8] баржи и суда.

Цель исследования – обоснование экономической эффективности использования плоских плоточных единиц на первоначальном сплаве лесоматериалов.

Объекты и методы исследования

Для выбора технологии работ на первоначальном сплаве необходимо сравнительное обоснование экономической целесообразности использования различных плоточных единиц в одинаковых условиях плавания. Для сравни-

тельного анализа взяты сплоточные единицы, имеющие прямоугольную конфигурацию (плоские сплоточные единицы), и сплоточные единицы цилиндрической формы – пакеты круглых лесоматериалов (микропучки). Использование плоских сплоточных единиц является эффективным, если выполняется следующее неравенство:

$$\begin{aligned} & \mathcal{Z}_{\text{СПСЕ}} n_{\text{СПСЕ}} + \mathcal{Z}_{\text{ФПСЕ}} n_{\text{ФПСЕ}} + \mathcal{Z}_{\text{ТПСЕ}} + \mathcal{Z}_{\text{ППСЕ}} n_{\text{ППСЕ}} + \mathcal{Z}_{\text{БПСЕ}} n_{\text{БПСЕ}} + \\ & + \frac{\mathcal{Z}_{\text{МПСЕ}}}{t_{\text{СПСЕ}}} + \mathcal{Z}_{\text{СТПСЕ}} < \mathcal{Z}_{\text{СПМП}} n_{\text{СПМП}} + \mathcal{Z}_{\text{ФПМП}} n_{\text{ФПМП}} + \mathcal{Z}_{\text{ТПМП}} + \\ & + \mathcal{Z}_{\text{ППМП}} n_{\text{ППМП}} + \mathcal{Z}_{\text{БПМП}} n_{\text{БПМП}} + \frac{\mathcal{Z}_{\text{МПМП}}}{t_{\text{СПМП}}} + \mathcal{Z}_{\text{СТПМП}}, \end{aligned} \quad (1)$$

где $\mathcal{Z}_{\text{СПСЕ}}$, $\mathcal{Z}_{\text{СПМП}}$ – затраты на сплотку одной плоской сплоточной единицы, одного микропучка соответственно, тыс. р.; $n_{\text{СПСЕ}}$, $n_{\text{СПМП}}$ – количество изготавливаемых соответственно плоских сплоточных единиц и микропучков, шт.; $\mathcal{Z}_{\text{ФПСЕ}}$, $\mathcal{Z}_{\text{ФПМП}}$ – затраты на формирование из плоских сплоточных единиц и микропучков соответственно одной укрупненной лесотранспортной единицы, тыс. р.; $n_{\text{ФПСЕ}}$, $n_{\text{ФПМП}}$ – количество формирующихся укрупненных лесотранспортных единиц из плоских сплоточных единиц и микропучков соответственно, шт.; $\mathcal{Z}_{\text{ТПСЕ}}$, $\mathcal{Z}_{\text{ТПМП}}$ – затраты на сплав вольницей плоских сплоточных единиц и микропучков соответственно, тыс. р.; $\mathcal{Z}_{\text{ППСЕ}}$, $\mathcal{Z}_{\text{ППМП}}$ – затраты на формирование из плоских сплоточных единиц и микропучков соответственно одного плота, тыс. р.; $n_{\text{ППСЕ}}$, $n_{\text{ППМП}}$ – количество плотов, изготавливаемых для буксировки плоских сплоточных единиц, шт.; $\mathcal{Z}_{\text{БПСЕ}}$, $\mathcal{Z}_{\text{БПМП}}$ – затраты на буксировку одного плота из плоских сплоточных единиц, тыс. р.; $n_{\text{БПСЕ}}$, $n_{\text{БПМП}}$ – количество планируемых для буксировки плотов из плоских сплоточных единиц и микропучков соответственно, шт.; $\mathcal{Z}_{\text{МПСЕ}}$, $\mathcal{Z}_{\text{МПМП}}$ – затраты на приобретение машин и оборудования для организации сплава в плоских сплоточных единицах и микропучках соответственно, тыс. р.; $t_{\text{СПСЕ}}$, $t_{\text{СПМП}}$ – срок полезного использования машин и оборудования, приобретенных для организации сплава древесины в плоских сплоточных единицах и микропучках соответственно, лет; $\mathcal{Z}_{\text{СТПСЕ}}$, $\mathcal{Z}_{\text{СТПМП}}$ – затраты, возникающие при вывозке сухопутным транспортом лесоматериалов, которые остаются от заготовленной за год древесины из-за закрытия навигации и ограничения объема сплава древесины в плоских сплоточных единицах и микропучках соответственно, тыс. р.

Результаты исследования и их обсуждение

Затраты, связанные с изготовлением одной плоской сплоточной единицы и микропучка, формируются из заработной платы работников, задействованных на сплотке, стоимости горюче-смазочных материалов (ГСМ), требуемого количества сплоточного такелажа и т. д. Сплав круглых лесоматериалов в микропучках на 47 % дешевле по сравнению со сплавом круглых лесоматериалов в плоских сплоточных единицах [6]. При сплаве сплоточных единиц выполняется единый алгоритм работ, поэтому основная разница затрат образуется при изготовлении сплоточных единиц, а значит, можно принять, что стоимость изготовления одной плоской сплоточной единицы на 47 % больше стоимости изготовления одного микропучка того же объема.

Количество изготавливаемых плоских сплотивных единиц и микропучков зависит от планируемого навигационного объема сплава лесоматериалов и объема самих сплотивных единиц. Объем сплотивных единиц, в свою очередь, устанавливается габаритами сплавного хода. Таким образом, количество плоских сплотивных единиц и микропучков будет рассчитываться соответственно по формулам:

$$n_{\text{СПСЕ}} = \frac{W_{\text{ГПСЕ}}}{V_{\text{ПСЕ}}}; \quad (2)$$

$$n_{\text{СПМП}} = \frac{W_{\text{ГПМП}}}{V_{\text{ПМП}}}, \quad (3)$$

где $W_{\text{ГПСЕ}}$, $W_{\text{ГПМП}}$ – максимальный годовой объем сплава лесоматериалов в плоских сплотивных единицах и в микропучках соответственно на первоначальном сплаве, м³; $V_{\text{ПСЕ}}$, $V_{\text{ПМП}}$ – объем плоской сплотивной единицы и микропучка соответственно, м³.

В формулах (2) и (3) максимальный годовой объем сплава лесоматериалов в плоских сплотивных единицах и микропучках на первоначальном сплаве принимается равным пропускной способности эксплуатируемого сплавного пути в лимитирующем створе реки за одну навигацию на протяжении определенного времени. При этом полученные результаты $n_{\text{СПСЕ}}$, $n_{\text{СПМП}}$ округляются до целого значения в большую сторону, т. к. последняя изготавливаемая сплотивная единица может иметь объем меньше расчетного, а объем сплотивной единицы больше расчетного объема недопустим.

$W_{\text{ГПСЕ}}$, $W_{\text{ГПМП}}$ будут рассчитываться так:

$$W_{\text{ГПСЕ}} = N_{\text{ПССЕ}} \frac{t_{\text{ЧС}} V_{\text{ПСЕ}}}{t_{\text{ИСЕ}}}; \quad (4)$$

$$W_{\text{ГПМП}} = N_{\text{ПССЕ}} \frac{t_{\text{ЧС}} V_{\text{ПМП}}}{t_{\text{ИСЕ}}}, \quad (5)$$

где $N_{\text{ПССЕ}}$ – планируемое количество смен в навигацию, при которых будет осуществляться сплав плоских сплотивных единиц вольницей, шт.; $t_{\text{ЧС}}$ – продолжительность рабочего времени в течение суток, ч; $t_{\text{ИСЕ}}$ – интервал времени между плывущими сплотивными единицами, ч.

Интервал времени между плывущими сплотивными единицами принимается равным от 3 до 4 мин [6, 8]. В практических условиях он зависит от различных факторов и устанавливается индивидуально для разных бассейнов с учетом производственной мощности предприятия.

Объем плоской сплотивной единицы определяется по выражению

$$V_{\text{ПСЕ}} = L_{\text{ПСЕ}} B_{\text{ПСЕ}} H_{\text{ПСЕ}} K_{\text{ПСЕ}}, \quad (6)$$

где $L_{\text{ПСЕ}}$, $B_{\text{ПСЕ}}$, $H_{\text{ПСЕ}}$ – соответственно длина, ширина и высота плоской сплотивной единицы, м; $K_{\text{ПСЕ}}$ – коэффициент полндревесности плоской сплотивной единицы, для каждой плоской сплотивной единицы он устанавливается в зависимости от диаметра окоренных и неокоренных круглых лесоматериалов, 0,54...0,74 [5].

В выражении (6) длина плоской сплотивной единицы равна длине сплавляемых круглых лесоматериалов, а ее ширина определяется следующим образом:

$$B_{\text{ПСЕ}} = \sqrt{(b_{\text{ЛХ}} - C)^2 - L_{\text{ПСЕ}}^2}, \quad (7)$$

где $b_{\text{ЛХ}}$ – минимальная ширина сплавного хода, м; C – запас для безопасного сплава сплотовых единиц, $C = 2 \dots 3$ м [6, 8].

Высота плоской сплотовой единицы находится по известной [6] зависимости:

$$H_{\text{ПСЕ}} = \frac{T_{\text{ПСЕ}} \rho_{\text{В}}}{\rho_{\text{Д}}}, \quad (8)$$

где $T_{\text{ПСЕ}}$ – допустимая осадка плоской сплотовой единицы, м; $\rho_{\text{В}}, \rho_{\text{Д}}$ – плотность воды и древесины соответственно, кг/м³.

Осадку плоской сплотовой единицы равна [6]

$$T_{\text{ПСЕ}} = h_{\text{ЛХ}} - Z \quad (9)$$

где $h_{\text{ЛХ}}$ – минимальная глубина сплавного хода, м; Z – донный запас, $Z = 0,2 \dots 0,3$ м [8].

В формуле (3) объем пачки (микроручка) равен [1]

$$V_{\text{ПМП}} = 0,785 L_{\text{ПМП}} B_{\text{ПМП}} H_{\text{ПМП}} K_{\text{ПМП}}, \quad (10)$$

где $L_{\text{ПМП}}, B_{\text{ПМП}}, H_{\text{ПМП}}$ – длина, ширина и высота микроручка соответственно, м; $K_{\text{ПМП}}$ – коэффициент полндревесности микроручка, в зависимости от диаметра круглых лесоматериалов принимается равным $0,56 \dots 0,70$ [1].

Принято считать, что при организации первоначального сплава лесоматериалов в пучках объем пачки составляет не более 5 м^3 [8], но при самосплаве пучков, если глубина сплавного хода достаточна для сплава микроручков и недостаточна для плотового сплава, объем пакета может быть увеличен.

Высота микроручка рассчитывается через осадку [1], т. е.

$$H_{\text{ПМП}} = \frac{T_{\text{ПМП}} \rho_{\text{В}}}{\rho_{\text{Д}} \varepsilon_{\text{ПМП}}}, \quad (11)$$

где $T_{\text{ПМП}}$ – допустимая осадка микроручка, м; $\varepsilon_{\text{ПМП}}$ – опытный коэффициент, равный $0,93 \dots 0,95$ [1].

Допустимая осадка микроручка находится аналогично допустимой осадке плоской сплотовой единицы.

При сплаве микроручков вольницей уделяется большое внимание их прочности, а именно коэффициенту формы $C_{\text{КФ}}$ [8], равному отношению ширины микроручка к его высоте. Причем рекомендуется принимать коэффициент формы $1,5 \dots 1,75$ [8]. Выразим ширину микроручка через его высоту и коэффициент формы, тогда получим следующую зависимость:

$$B_{\text{ПМП}} = H_{\text{ПМП}} C_{\text{КФ}}. \quad (12)$$

Длина микроручка рассчитывается по формуле

$$L_{\text{ПМП}} = \sqrt{(b_{\text{ЛХ}} - C)^2 - B_{\text{ПМП}}^2}. \quad (13)$$

Выражение (13) дает возможность рассчитать максимально допустимую длину круглых лесоматериалов, которые могут использоваться при сплотке микроручков, т. е. длина пучка равна длине сплаваемых круглых лесоматериалов. В практических условиях расчетная длина круглых лесоматериалов может

быть больше длины круглых лесоматериалов, которые заготавливаются на лесосеке, т. к. длина сортиментов устанавливается потребителем. Данный фактор является существенным и должен учитываться при расчете.

Затраты на формирование из плоских сплоченных единиц и из микропучков одной укрупненной лесотранспортной единицы обусловлены затратами на мероприятия по ее изготовлению. Если сплав круглых лесоматериалов осуществляется в плоских сплоченных единицах вольницей, то в формировании укрупненных лесотранспортных единиц нет необходимости, т. к. плоские сплоченные единицы имеют прямоугольную форму, что идеально для сплава вольницей, а увеличение ширины не влияет на осадку. В свою очередь, с ростом ширины микропучка из-за коэффициента формы будет увеличиваться и его осадка, а значит, для наилучшего выполнения сплава вольницей и для более эффективного использования пропускной способности сплавного хода рекомендуется [6] соединять микропучки между собой по несколько штук с помощью поперечных жестких связей, закрепленных за обвязки пачки. Причем, если при расчете объема микропучка в зависимости (10) берется длина сплоченной единицы, определенная по выражению (13), то формирование из микропучков одной укрупненной лесотранспортной единицы не требуется, т. к. размеры микропучка будут максимально использовать габариты сплавного хода. Таким образом, затраты на соединение микропучков между собой, т. е. на изготовление укрупненных лесотранспортных единиц, складываются из затрат на выплату заработной платы, ГСМ, приобретение дополнительного сплоченного такелажа и т. д.

Количество формирующихся укрупненных лесотранспортных единиц из плоских сплоченных единиц будет равно 0, т. к. нет необходимости их укрупнять. В свою очередь, количество формирующихся укрупненных лесотранспортных единиц из микропучков рассчитывается по выражению

$$n_{\text{ФПМП}} = \frac{n_{\text{СПМП}}}{n_{\text{КПМП}}}, \quad (14)$$

где $n_{\text{КПМП}}$ – количество микропучков в одной укрупненной лесотранспортной единице, шт.

После определения количества микропучков в одной укрупненной лесотранспортной единице, полученное значение $n_{\text{ФПМП}}$ надо округлить до целого в большую сторону.

Из выражения (14) количество микропучков в одной укрупненной лесотранспортной единице

$$n_{\text{КПМП}} = \sqrt{\frac{(b_{\text{ЛХ}} - C)^2 - L_{\text{ПМП}}^2}{B_{\text{ПМП}}^2}}. \quad (15)$$

Полученное значение округляется до целого в меньшую сторону для обеспечения безаварийного сплава данных лесотранспортных единиц в лимитирующем створе сплавного хода. Равенства (14) и (15) справедливы при условии, что длина микропучка совпадает с длиной сплаваемых круглых лесоматериалов.

Сплав плоских сплоченных единиц и микропучков вольницей может осуществляться следующими способами: пикетно-конвейерным и дистанцион-

но-патрульным [6, 8]. Затраты на сплав вольницей плоских сплотовых единиц и микропучков зависят от пропускной способности сплавного пути на первоначальном сплаве.

Если сплав плоских сплотовых единиц и микропучков планируется осуществить единым способом при условии, что из микропучков образованы укрупненные лесотранспортные единицы, то затраты на сплав вольницей плоских сплотовых единиц и микропучков, включающие затраты на заработную плату, ГСМ, проведение дноуглубительных работ, установку направляющих сооружений (бонов) и т. д. будут равны между собой.

Если микропучки сплавляются самосплавом без образования укрупненных лесотранспортных единиц, то, как показывает практика [6, 8], сплав усложнен, особенно на крутых поворотах. Общие затраты в этом случае будут увеличиваться согласно привлечению дополнительных средств на организацию сплава.

Затраты на формирование одного плота из плоских сплотовых единиц и одного плота из микропучков будут различны из-за особенностей самих сплотовых единиц. При формировании плотов из плоских сплотовых единиц, предназначенных для первоначального сплава, ширина плота будет равна ширине одной плоской сплотовой единицы (т. к. при увеличении ширины сплотовой единицы ее осадка может оставаться на заданном уровне), а его длина – длине ряда из плоских сплотовых единиц. При формировании плота из микропучков с увеличением его ширины осадка увеличивается. Для более эффективного использования пропускной способности сплавного хода необходима установка в плоту поперечных рядов микропучков, т. е. ширина плота будет равна ширине нескольких микропучков, а длина – длине поперечных рядов сплотовых единиц. Следовательно, $Z_{\text{ППСЕ}} < Z_{\text{ПМП}}$ из-за дополнительных затрат, которые приходится на проведение работ по соединению между собой поперечных рядов микропучков в плоту и привлечение дополнительного формировочного такелажа.

Необходимое для буксировки плоских сплотовых единиц и микропучков количество плотов рассчитывается соответственно по формулам:

$$n_{\text{ППСЕ}} = \frac{n_{\text{ОПСЕ}}}{n_{\text{ПСЕП}}}; \quad (16)$$

$$n_{\text{ПМП}} = \frac{n_{\text{ОПМП}}}{n_{\text{ПМПП}}}, \quad (17)$$

где $n_{\text{ОПСЕ}}$, $n_{\text{ОПМП}}$ – общее количество плоских сплотовых единиц и пачек (микропучков) соответственно, изготавливаемых при транспортировке их в составе плота, шт.; $n_{\text{ПСЕП}}$, $n_{\text{ПМПП}}$ – количество плоских сплотовых единиц и микропучков соответственно, входящих в состав одного плота, шт.

Результаты расчета округляются до целого значения в большую сторону.

Общее количество плоских сплотовых единиц и микропучков, изготавливаемых при их транспортировке в составе плота, определяется соответственно по формулам:

$$n_{\text{ОПСЕ}} = \frac{W_{\text{ГПСЕП}}}{V_{\text{ПСЕП}}}; \quad (18)$$

$$n_{\text{ОПМП}} = \frac{W_{\text{ГПМПП}}}{V_{\text{ПМПП}}}, \quad (19)$$

где $W_{\text{ГПСЕП}}$, $W_{\text{ГПМПП}}$ – максимальный годовой объем сплава лесоматериалов в плотках из плоских сплотовых единиц и микропучков соответственно на первоначальном сплаве, м³; $V_{\text{ПСЕП}}$, $V_{\text{ПМПП}}$ – объем плоской сплотовой единицы и микропучка соответственно при транспортировке в составе плотка, м³·т. Расчетные показатели округляются до целого значения в большую сторону.

$W_{\text{ГПСЕП}}$, $W_{\text{ГПМПП}}$ рассчитываются следующим образом:

$$W_{\text{ГПСЕП}} = N_{\text{ПСЕП}} \frac{t_{\text{ч}} n_{\text{ПСЕП}} V_{\text{ПСЕП}}}{t_{\text{ИСЕ}}}, \quad (20)$$

$$W_{\text{ГПМПП}} = N_{\text{ПСЕП}} \frac{t_{\text{ч}} n_{\text{ПМПП}} V_{\text{ПМПП}}}{t_{\text{ИСЕ}}}, \quad (21)$$

где $N_{\text{ПСЕП}}$ – планируемое количество смен в навигацию, при которых будет осуществляться сплав плоских сплотовых единиц в плотках, шт.; $t_{\text{ИСЕ}}$ – интервал времени между плывущими плотками, ч.

При плотковом сплаве $t_{\text{ИСЕ}}$ колеблется от 1 до 2 ч [6, 8], но устанавливается лесосплавной организацией.

Объем плоской сплотовой единицы при транспортировке в составе плотка

$$V_{\text{ПСЕП}} = L_{\text{ПСЕП}} B_{\text{ПСЕП}} H_{\text{ПСЕП}} K_{\text{ПСЕП}}, \quad (22)$$

где $L_{\text{ПСЕП}}$, $B_{\text{ПСЕП}}$, $H_{\text{ПСЕП}}$ – соответственно длина, ширина и высота плоской сплотовой единицы для плоткового сплава, м.

В зависимости (22) длина плоской сплотовой единицы для плоткового сплава будет равна длине сплавляемых круглых лесоматериалов; высота определяется из равенства (8), а осадка – из (9); ширина, равная ширине плотка, устанавливается согласно требованиям безопасной буксировки плотка по водному пути с лимитирующими габаритами сплавного хода [9], т. е.

$$B_{\text{ПСЕП}} = \frac{b_{\text{ЛХ}}}{1,5}. \quad (23)$$

Ширина плоских сплотовых единиц, и в частности плотка, может быть увеличена при оснащении его эффективными средствами управления.

Объем микропучка при транспортировке в составе плотка рассчитывается по формуле

$$V_{\text{ПМПП}} = 0,785 L_{\text{ПМПП}} B_{\text{ПМПП}} H_{\text{ПМПП}} K_{\text{ПМПП}}, \quad (24)$$

где $L_{\text{ПМПП}}$, $B_{\text{ПМПП}}$, $H_{\text{ПМПП}}$ – длина, ширина и высота микропучка для плоткового сплава соответственно, м.

Длина микропучка для плоткового сплава равна длине сплавляемых круглых лесоматериалов, а высота определяется по зависимости (11), которая справедлива для данных условий. На практике при сплаве микропучков в составе плотка коэффициент формы рекомендуется принимать от 2,0 до 3,0 [6, 8], следовательно, ширина микропучка для плоткового сплава определяется следующим образом:

$$B_{\text{ПМПП}} = 2...3 H_{\text{ПМПП}}. \quad (25)$$

Количество плоских сплотивных единиц и микропучков, входящих в состав одного плота, определяется по формулам:

$$n_{\text{ПСЕП}} = \frac{L_{\text{П}} - l_{\text{ПР}} n_{\text{ПР}}}{L_{\text{ПСЕП}}}; \quad (26)$$

$$n_{\text{ПМПП}} = m_{\text{ПДП}} m_{\text{ПШП}}, \quad (27)$$

где $L_{\text{П}}$ – расчетная длина плота, м; $l_{\text{ПР}}$ – длина интервала между поперечными рядами в плоту, м; $n_{\text{ПР}}$ – количество интервалов между поперечными рядами в плоту, шт.; $m_{\text{ПДП}}$, $m_{\text{ПШП}}$ – количество микропучков, устанавливаемых по длине и ширине плота соответственно, шт.

При расчете количества плоских сплотивных единиц, входящих в состав одного плота, по зависимости (26) необходимо полученное значение округлить до целого в меньшую сторону. Данное условие принимается для обеспечения прочности и лучшей управляемости плота при буксировке по рекам с малыми глубинами.

Количество микропучков, устанавливаемых по длине плота, равно

$$m_{\text{ПДП}} = \frac{L_{\text{П}} - l_{\text{ПР}} n_{\text{ПР}}}{L_{\text{ПМПП}}}. \quad (28)$$

При этом формула для определения количества микропучков по ширине плота будет иметь следующий вид:

$$m_{\text{ПШП}} = \frac{b_{\text{ЛХ}}}{1,5 B_{\text{ПМПП}}}. \quad (29)$$

Полученные расчетным путем показатели из зависимостей (28) и (29) округляются в меньшую сторону до целого значения в целях обеспечения прочности и лучшей управляемости плота при буксировке по рекам с малыми глубинами, особенно на криволинейных участках.

Длина плота для буксировки плоских сплотивных единиц и микропучков с учетом радиуса кривизны сплавного хода находится по известной формуле [6, 8]:

$$L_{\text{П}} = \frac{R_{\text{ЛХ}}}{5 \dots 6}, \quad (30)$$

где $R_{\text{ЛХ}}$ – радиус кривизны сплавного хода, м.

Зависимость (30) справедлива для плотов, используемых на водных путях с большим радиусом кривизны сплавного хода. При сильном извилистом русле расчет длины плота необходимо осуществлять по методикам, описанным в источнике [9].

Затраты на буксировку одного плота из плоских сплотивных единиц и плота из микропучков включают в себя затраты на подготовку плота к буксировке, ГСМ, заработную плату и т. д. При этом буксировка плотов осуществляется до переформировочного рейда, где они укрупняются и затем буксируются на рейд приплава.

В неравенстве (1) количество плотов из плоских сплотивных единиц и из микропучков, планируемых для буксировки, будет соответственно равно количеству плотов, изготавливаемых для буксировки плоских сплотивных единиц и микропучков, т. е. $n_{\text{БПСЕ}} = n_{\text{ППСЕ}}$, а $n_{\text{БМПП}} = n_{\text{ПМПП}}$.

Сплав плоских сплоточных единиц и микропучков вольницей, а также в составе плота требует приобретения новых усовершенствованных машин и оборудования для выполнения операций, связанных с транспортировкой круглых лесоматериалов, изготовлением лесотранспортных единиц и их перевозкой, спуском на воду, формированием плотов и т. д. В практических условиях затраты на закупку машин и оборудования для организации сплава лесоматериалов в микропучках будут иметь минимальные значения, т. к. микропучки характеризуются простотой изготовления, при их сплотке и транспортировке могут применяться машины и оборудование, используемые для выполнения других видов работ [6, 8, 11]. Технология сплава лесоматериалов в плоских сплоточных единицах требует больших затрат на приобретение машин и оборудования. Это связано с тем, что технология сплава лесоматериалов на базе плоских сплоточных единиц проработана не в полной мере: отсутствуют или малоэффективны машины и оборудование, выполняющие различные виды операций. Таким образом, требуется совершенствование транспортировки плоских сплоточных единиц, а также машин и оборудования для их сборки и разборки [4].

Неравенство (1) включает такие показатели, как сроки полезного использования машин и оборудования, приобретенных для сплава лесоматериалов в плоских сплоточных единицах и в микропучках. Данные показатели обозначают количество лет, на протяжении которых будут пригодны для эксплуатации машины и оборудование. Для объективного анализа эффективности использования плоских сплоточных единиц на первоначальном сплаве $t_{\text{СПМП}} = t_{\text{СПСЕ}}$. Следует отметить, что в случае применения неравенства (1), согласно методикам экономических расчетов $t_{\text{СПМП}} = t_{\text{СПСЕ}} > 1$ год.

Затраты на вывозку сухопутным транспортом лесоматериалов, остающихся от заготовленной за год древесины из-за закрытия навигации и ограничения объема сплава ее в плоских сплоточных единицах, определяются следующим образом:

$$Z_{\text{СПСЕ}} = (W_{\text{ГОЗ}} - W_{\text{ТПСЕ}} - W_{\text{ТПСЕП}}) S_{\text{АЖ}} \Pi_{\text{АЖ}}, \quad (31)$$

где $W_{\text{ГОЗ}}$ – годовой объем заготовки древесины на лесосеках, примыкающих к водному пути, м³; $S_{\text{АЖ}}$ – протяженность транспортировки лесоматериалов по автомобильным и железнодорожным путям взамен водного пути, км; $\Pi_{\text{АЖ}}$ – затраты на транспортировку 1 м³ лесоматериалов на 1 км по автомобильным и железнодорожным путям, тыс. р./м³км.

В свою очередь затраты на вывозку сухопутным транспортом лесоматериалов, которые остаются от заготовленной за год древесины из-за закрытия навигации и ограничения объема ее сплава в микропучках, рассчитываются по формуле

$$Z_{\text{СПМП}} = (W_{\text{ГОЗ}} - W_{\text{ТПМП}} - W_{\text{ТПМПП}}) S_{\text{АЖ}} \Pi_{\text{АЖ}}. \quad (32)$$

В выражениях (31) и (32) протяженность транспортировки лесоматериалов по автомобильным и железнодорожным путям равна расстоянию от мест заготовки до сплотно-формировочного рейда, установленного на реках с габаритами сплавного хода, позволяющими формировать лесотранспортные единицы с большими размерами. При определенных обстоятельствах $S_{\text{АЖ}}$ будет совпадать расстоянием от мест заготовки до пункта потребления.

Зависимость (31) принимается в расчетах, когда выполняется следующее условие:

$$W_{ГОЗ} \geq W_{ГПСЕ} + W_{ГПСЕП}. \quad (33)$$

В свою очередь, зависимость (32) используется в том случае, когда

$$W_{ГОЗ} \geq W_{ГПМП} + W_{ГПМПП}. \quad (34)$$

При невыполнении условий (33) и (34) в неравенстве (1) $Z_{СПСЕ}$ и $Z_{СПМП}$ во внимание не берутся. При этом, например, $W_{ГПСЕП}$ и $W_{ГПМПП}$ определяются соответственно:

$$W_{ГПСЕП} = W_{ГОЗ} - W_{ГПСЕ}; \quad (35)$$

$$W_{ГПМПП} = W_{ГОЗ} - W_{ГПМП}. \quad (36)$$

Из равенств (35) и (36) при необходимости можно также выразить $W_{ГПСЕ}$, $W_{ГПМП}$.

Если равенство (1) выполняется, то представим его левую часть как общие затраты от внедрения плоских сплоточных единиц на первоначальный сплав древесины $Z_{ОЗПСЕ}$, а правую часть – как общие затраты при сплаве древесины в микропучках $Z_{ОЗПМП}$, тогда годовой экономический эффект $\Delta Z_{ПСЕ}$ от использования плоских сплоточных единиц на первоначальном сплаве древесины будет рассчитываться следующим образом:

$$\Delta Z_{ПСЕ} = Z_{ОЗПМП} - Z_{ОЗПСЕ}. \quad (37)$$

Необходимо отметить, что при расчете годового экономического эффекта по формуле (37) его составляющие $Z_{ОЗПМП}$ и $Z_{ОЗПСЕ}$ определяются с учетом неравенства (1), зависимостей (2)–(32) и условий (33)–(34).

При сплаве плоских сплоточных единиц и микропучков вольницей на расстоянии 500 км по водному объекту, имеющему минимальные габариты сплавного хода $h_{ЛХ} = 1$ м, $b_{ЛХ} = 10$ м, годовой экономический эффект от использования плоских сплоточных единиц вместо микропучков составит 104 472,2 тыс. р. Данный эффект присутствует, когда $Z_{СПМП} = 5$ тыс. р., $Z_{СПСЕ} = 19,845$ тыс. р., $N_{ПССЕ} = 100$ шт., $t_{ЧС} = 8$ ч, $t_{ИСЕ} = 0,2$ ч, $S_{АЖ} = 500$ км, $\Pi_{АЖ} = 0,00513$ тыс. р./км, $\rho_{д} = 700$ кг/м³, $W_{ГОЗ} = 150\,000$ м³, $n_{ФПСЕ} = n_{ФПМП} = 0$, $Z_{МПСЕ} = Z_{МПМП}$, $t_{СПСЕ} = t_{СПМП}$, $Z_{ТПСЕ} = Z_{ТПМП}$. Также следует отметить, что длина круглых лесоматериалов в плоских сплоточных единицах принималась равной 6 м, а длина круглых лесоматериалов в пакетах рассчитывалась по формуле (13).

В случае транспортировки плоских сплоточных единиц и микропучков в плотях тягой буксировщика годовой экономический эффект от использования плоских сплоточных единиц по отношению к микропучкам будет равен 28 780,8 тыс. р. Расчет годового экономического эффекта от использования плоских сплоточных единиц осуществлялся при следующих условиях: $h_{ЛХ} = 1$ м, $b_{ЛХ} = 10$ м, $Z_{СПМП} = 5$ тыс. р., $Z_{СПСЕ} = 19,845$ тыс. р., $N_{ПССЕ} = 150$ шт., $t_{ЧС} = 8$ ч, $t_{ИСЕ} = 8$ ч, $S_{АЖ} = 500$ км, $\Pi_{АЖ} = 0,00513$ тыс. р./км, $\rho_{д} = 700$ кг/м³, $W_{ГОЗ} = 100\,000$ м³, $Z_{ПССЕ} = Z_{ППМП}$, $n_{ПССЕ} = n_{ППМП}$, $Z_{БПСЕ} = Z_{БПМП}$, $n_{БПСЕ} = n_{БПМП}$, $Z_{МПСЕ} = Z_{МПМП}$, $t_{СПСЕ} = t_{СПМП}$. Длина круглых лесоматериалов в плоских сплоточных единицах и микропучках принималась 6 м. В плоту из плоских сплоточных единиц устанавливалось 6 шт. сплоточных единиц, а в плоту из микропучков – 12 шт. Количество плоских сплоточных единиц и микропучков в плотях было определено расчетным путем.

Заключение

Выполнение неравенства (1) будет свидетельствовать о том, что использование плоских сплотовых единиц на первоначальном сплаве лесоматериалов является экономически выгодным и снижает затраты на транспортировку древесины от места заготовки до пункта потребления.

Внедрение плоских сплотовых единиц на первоначальном сплаве лесоматериалов должно обеспечить более высокую пропускную способность сплавного пути по сравнению с использованием микропучков за счет уменьшения осадки, а следовательно, объема лесоматериалов, доставляемых на рейды дорогостоящим сухопутным транспортом.

При сплаве плоских сплотовых единиц и микропучков вольницей на расстояние 500 км по водному пути, имеющему минимальные габариты сплавного хода: глубину = 1 м и ширину = 10 м, – годовой экономический эффект от использования плоских сплотовых единиц вместо микропучков составит 104 472,2 тыс. р. при годовом объеме сплава лесоматериалов 150 тыс. м³. В случае транспортировки плоских сплотовых единиц и микропучков в плотах тягой буксировщика – 28 780,8 тыс. р. при годовом объеме сплава лесоматериалов 100 тыс. м³.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ / REFERENCES

1. Беленов И.А., Дмитриев Ю.Я., Патыкин В.И., Сербский В.К. Основы проектирования лесосплавных объектов. М.: Экология, 1992. 128 с. Belenov I.A., Dmitriyev Yu.Ya., Patyakin V.I., Serbskiy V.K. *Fundamentals of Design of Timber-Rafting Objects*. Moscow, Ekologiya Publ., 1992. 128 p.
2. Васильев В.В. Транспортно-технологические схемы для поставки лесоматериалов различным видом транспорта // Актуальные направления научных исследований XXI века: теория и практика. 2014. Т. 2, № 3-2(8-2). С. 47–50. Vasiliev V.V. Transport and Technological Schemes for Supply of Forest Products by Transport's Various Type. *Aktual'nye napravleniya nauchnyh issledovaniy XXI veka: teoria i praktika* [Current Directions of Scientific Research of the XXI Century: Theory and Practice], 2014, vol. 2, no. 3-2(8-2), pp. 47–50.
3. Васильев В.В. Бесперевалочная транспортировка древесины различными видами транспорта // Актуальные направления научных исследований XXI века: теория и практика. 2014. Т. 2, № 3-4(8-4). С. 182–186. Vasiliev V.V. Beperevalochny Transportation of Wood by Various Type of Transport. *Aktual'nye napravleniya nauchnyh issledovaniy XXI veka: teoria i praktika* [Current Directions of Scientific Research of the XXI Century: Theory and Practice], 2014, vol. 2, no. 3-4(8-4), pp. 182–186.
4. Васильев В.В., Аксенов И.И. Анализ конструкций перспективных плоских сплотовых единиц // Повышение эффективности использования ресурсов при производстве сельскохозяйственной продукции – новые технологии и техника нового поколения для АПК: сб. науч. докл. XX Междунар. науч.-практ. конф. Тамбов: Студия печати Галины Золотовой, 2019. С. 188–191. Vasiliev V.V., Aksenov I.I. Analysis of Structures of Perspective Flat Rafting Units. *Improving the Efficiency of Resource Use in Agricultural Production – New Technologies and Equipment of a New Generation for the Agro-Industrial Complex: Collection of Academic Papers of the XX International Scientific and Practical Conference*. Tambov, Studiya pechati Galiny Zolotovoy Publ., 2019, pp. 188–191.

5. Васильев В.В., Афоничев Д.Н. Усовершенствованные системы плотового сплава лесоматериалов. Saarbrucken (Германия): LAP Lambert Academic Publishing, 2014. 284 с. Vasiliev V.V., Afonichev D.N. *Improved Timber Rafting Systems*. Saarbrucken, Germany, LAP, 2014. 284 p.

6. Водный транспорт леса: справ. / сост. Е.Н. Гаврилова, А.А. Гоник, И.П. Донской, Г.А. Жуков, М.П. Лазарев, С.И. Нефедов, Я.П. Петров, В.В. Савельев, С.С. Филимонов, Г.Ф. Шульц. М.: Гослесбумиздат, 1963. 560 с. *Water Transport of the Forest: Handbook*. Content by E.N. Gavrilova, A.A. Gonik, I.P. Donskoy, G.A. Zhukov, M.P. Lazarev, S.I. Nefedov, Ya.P. Petrov, V.V. Savel'yev, S.S. Filimonov, G.F. Shul'ts. Moscow, Goslesbumizdat Publ., 1963. 560 p.

7. Войтко П.Ф., Царев Е.М., Гайсин И.Г., Рощина М.М. Обоснование конструкции плоской сплотовой единицы для первоначального лесосплава // Лесн. вестн. / Forestry Bulletin. 2018. Т. 22, № 6. С. 88–94. Voitko P.F., Tsarev E.M., Gaisin I.G., Roshchina M.M. Feasibility of Construction Flat Raft Section for Initial Wood Floating. *Lesnoy vestnik* [Forestry Bulletin], 2018, vol. 22, no. 6, pp. 88–94. DOI: <https://doi.org/10.18698/2542-1468-2018-6-88-94>

8. Донской И.П., Савельев В.В. Водный транспорт леса. М.: Лесн. пром-сть, 1973. 288 с. Donskoy I.P. *Water Transport of the Forest*. Moscow, Lesnaya promyshlennost' Publ., 1973. 288 p.

9. Куколевский Г.А., Зайцев А.А. Первоначальный плотовый лесосплав. М.: Лесн. пром-сть, 1976. 88 с. Kukolevskiy G.A., Zaytsev A.A. *Initial Timber Rafting*. Moscow, Lesnaya promyshlennost' Publ., 1976. 88 p.

10. Митрофанов А.А. Лесосплав. Новые технологии, научное и техническое обеспечение. Архангельск: АГТУ, 2007. 492 с. Mitrofanov A.A. *Forest Rafting. New Technologies, Scientific and Technical Support*. Arkhangelsk, ASTU Publ., 2007. 492 p.

11. 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. DOI: <https://doi.org/10.17238/issn0536-1036.2017.1.141>

12. Посыпанов С.В. Определение геометрических характеристик двухъярусной пакетной сплотовой единицы, расположенной на твердом основании // Изв. вузов. Лесн. журн. 2019. № 5. С. 135–147. Posypanov S.V. Dimensional Determination of a Two-Storeyed Package Rafting Unit Placed on a Solid Basement. *Lesnoy Zhurnal* [Russian Forestry Journal], 2019, no. 5, pp. 135–147. DOI: <https://doi.org/10.17238/issn0536-1036.2019.5.135>

13. Akay A.E., Sessions J. Applying the Decision Support System, TRACER, to Forest Road Design. *Western Journal of Applied Forestry*, 2005, vol. 20, iss. 3, pp. 184–191. DOI: <https://doi.org/10.1093/wjaf/20.3.184>

14. Andoh T., Andoh H. *Metal Ring for Fastening Parts by Means of Ocean Wave Force*. Patent US no. US 3662413 A, 1972.

15. Gerasimov Yu., Katarov V. Effect of Bogie Track and Slash Reinforcement on Sinkage and Soil Compaction in Soft Terrains. *Croatian Journal of Forest Engineering*, 2010, vol. 31, no. 1, pp. 35–45.

16. Himislioglu S., Ađar E. Use of Waste High Density Polyethylene as Bitumen Modifier in Asphalt Concrete Mix. *Materials Letters*, 2004, vol. 58, iss. 3-4, pp. 267–271. DOI: [https://doi.org/10.1016/S0167-577X\(03\)00458-0](https://doi.org/10.1016/S0167-577X(03)00458-0)

17. Merzlyakov V.P. Physical and Mechanical Conditions for Primary Frost Crack Formation. *Soil Mechanics and Foundation Engineering*, 2016, vol. 53, iss. 4, pp. 221–225. DOI: <https://doi.org/10.1007/s11204-016-9389-1>

18. Skrypnikov A., Dorokhin S., Kozlov V.G., Chernyshova E.V. Mathematical Model of the Statistical Identification of Car Transport Informational Provision. *ARPN Journal of Engineering and Applied Sciences*, 2017, vol. 12, no. 2, pp. 511–515.
19. Skrypnikov A.V., Kozlov V.G., Belyaev A.N., Chernyshova E.V. Theoretical Foundations of the Method of Designing a Clothoid Track with Approximation of Succession of Points. Perspectives on the Use of New Information and Communication Technology (ICT) in the Modern Economy. Ed. by E. Popkova, V. Ostrovskaya. Cham, Springer, 2019, pp. 654–657. DOI: https://doi.org/10.1007/978-3-319-90835-9_76
20. Skrypnikov A.V., Kozlov V.G., Samtsov V.V., Nikitin V.V., Denisenko V.V., Boltnev D.E. Theoretical Background of Road Landscape Zoning. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, 2021, vol. 659, no. 1, art. 012011. DOI: <https://doi.org/10.1088/1755-1315/659/1/012011>
21. Syuney V., Sokolov A., Konovalov A., Katarov V., Seliverstov A., Gerasimov Yu., Karvinen S., Välkky E. Comparison of Wood Harvesting Methods in the Republic of Karelia. *Working Papers of the Finnish Forest Research Institute 120*. Vantaa, Finland, MELTA, 2009. 117 p.
22. Yin S. *Development of Recycled Polypropylene Plastic Fibres to Reinforce Concrete*. PhD Thesis. Singapore, Springer, 2017. 137 p. DOI: <https://doi.org/10.1007/978-981-10-3719-1>
23. Yukawa Sh. *Method for Transporting Timbers by Sea*. Patent US no. US 3450279 A, 1969.