

УДК 630*372

Е. А. Леонов¹, Д. В. Клоков², В. С. Исаченков¹¹Белорусский государственный технологический университет²Белорусский национальный технический университет**ПРИМЕНЕНИЕ ДВУХСТУПЕНЧАТОЙ ТРЕЛЕВКИ
В УСЛОВИЯХ РЕСПУБЛИКИ БЕЛАРУСЬ**

Разработка труднодоступных лесосек в Республике Беларусь характеризуется значительным использованием ручного труда, низкой производительностью и высокой вероятностью производственного травматизма. Для решения поставленной проблемы авторами предлагается новый способ разработки лесосек. Его особенность состоит в том, что лесосеку разрабатывают в два этапа. На первом этапе лесосечные работы ведутся на участках лесосеки с хорошей несущей способностью грунтов. Заготовка древесины осуществляется полосами шириной, равной двойному вылету гидроманипулятора харвестера. Для этого применяется система машин «харвестер и форвардер». На втором этапе разрабатывают труднодоступные участки лесосеки с разбивкой их на пасеки шириной 25–30 м перпендикулярно к подъездному лесовозному пути. Практическое применение данного способа разработки лесосеки подразумевает необходимость применения двухступенчатой трелевки древесины. В этом случае перемещение заготовленной древесины с труднодоступных участков лесосеки осуществляется трелевочным трактором с канатно-чокерной оснасткой, а перемещение ее по грунтам с хорошей несущей способностью – погрузочно-транспортной машиной. С целью эффективной реализации двухступенчатой трелевки древесины при освоении труднодоступного лесосечного фонда в статье рассмотрены особенности ее применения в производственных условиях. Рассмотрены основные факторы, влияющие на эффективность трелевки. Произведена сравнительная оценка традиционной и двухступенчатой трелевки по критерию удельной продолжительности. Установлено, что традиционная трелевка эффективна при среднем расстоянии трелевки до 190–310 м. При дальнейшем увеличении данного параметра целесообразно применять двухступенчатую трелевку.

Ключевые слова: труднодоступные лесосеки, система машин, двухступенчатая трелевка, эффективность.

Для цитирования: Леонов Е. А., Клоков Д. В., Исаченков В. С. Применение двухступенчатой трелевки в условиях Республики Беларусь // Труды БГТУ. Сер. 1, Лесное хоз-во, природопользование и перераб. возобновляемых ресурсов. 2021. № 2 (246). С. 202–207.

E. A. Leonov¹, D. V. Klokov², V. S. Isachenkov¹¹Belarusian State Technological University²Belarusian National Technical University**USING THE TWO-STAGE SKIDDING
IN THE CONDITIONS OF THE REPUBLIC OF BELARUS**

The development of hard-to-reach felling areas in the Republic of Belarus is characterized by a significant use of manual labor, low productivity and a high probability of industrial injuries. To solve the problem posed, the authors propose a new method for the development of cutting areas. Its peculiarity lies in the fact that the cutting area is developed in two stages. At the first stage, logging operations are carried out in areas of the felling area with good soil bearing capacity. Harvesting of wood is carried out in strips with a width equal to the double overhang of the hydraulic manipulator of the harvester. For this, the “harvester and forwarder” machine system is used. At the second stage, hard-to-reach areas of the felling area are developed with their breakdown into apiaries 25–30 m wide perpendicular to the logging access road. Practical application of this method of logging area development implies the need to use a two-stage skidding of timber. In this case, the movement of harvested wood from hard-to-reach areas of the cutting area is carried out by a skidder with a rope-choker equipment, and its movement over soils with good bearing capacity is carried out by a loading and transport machine. In order to effectively implement a two-stage skidding of wood in the development of a hard-to-reach logging fund, the article discusses the features of its use in industrial conditions. The main factors influencing the efficiency of skidding are considered. A comparative assessment of traditional and two-stage skidding was carried out according to the criterion of the specific duration of skidding. It has been established that traditional skidding is effective with an average skidding distance of up to 190–310 m. With a further increase in this value, it is advisable to use a two-stage skidding.

Key words: hard-to-reach felling areas, machine system, two-stage skidding, efficiency.

For citation: Leonov E. A., Klokov D. V., Isachenkov V. S. Using the two-stage skidding in the conditions of the Republic of Belarus. *Proceedings of BSTU, issue 1, Forestry. Nature Management. Processing of Renewable Resources*, 2021, no. 2 (246), pp. 202–207 (In Russian).

Введение. В последние годы в Беларуси сложилась устойчивая тенденция к ежегодному увеличению расчетной лесосеки по всем видам рубок [1]. По итогам 2020 г. фактический объем заготовки древесины в государственных лесохозяйственных учреждениях (ГЛХУ) Министерства лесного хозяйства составил около 21,2 млн м³.

Традиционно лесосечные работы в нашей стране осуществляются по сортиментной технологии. При этом лесосеки с хорошей несущей способностью грунтов разрабатываются системами машин «бензиномоторная пила + погрузочно-транспортная машина» или «харвестер + форвардер». Труднодоступный лесосечный фонд осваивается, как правило, системой машин «бензиномоторная пила + трелевочный трактор с канатно-чokerной оснасткой» [1–12].

Разработка труднодоступных лесосек по традиционной технологии с использованием на операции трелевки древесины тракторов с канатно-чokerной оснасткой имеет ряд недостатков, среди которых значительная трудоемкость производственных операций, тяжелые условия и низкая производительность труда, повышенная вероятность производственного травматизма [2, 3].

С целью рационального и эффективного освоения труднодоступного лесосечного фонда в учреждении образования «Белорусский государственный технологический университет» разработан и запатентован способ разработки лесосеки, включающий разбивку ее территории на доступные и труднодоступные для освоения участки с прокладкой технологических коридоров и трелевочных волоков, к которым примы-

кает верхний склад с зоной безопасности и подъездным лесовозным путем [12].

Особенность данной технологии состоит в том, что лесосека разрабатывается в два этапа. На первом этапе разрабатываются доступные ее участки полосами шириной, равной двойному вылету гидроманипулятора харвестера с применением системы машин «харвестер + форвардер». На втором этапе разрабатываются труднодоступные участки лесосеки с разбивкой их на пасеки шириной 25–30 м перпендикулярно к подъездному лесовозному пути с использованием бензопилы и колесного трелевочного трактора с канатно-чokerной оснасткой при валке деревьев вершиной на волок, трелевкой их за вершину на верхний склад с последующей обработкой харвестером [13].

Реализация данного способа разработки лесосеки подразумевает необходимость применения двухступенчатой трелевки древесины (рис. 1), при которой перемещение заготовленной древесины с труднодоступных участков лесосеки осуществляется трелевочным трактором с канатно-чokerной оснасткой, а при перемещении ее по грунтам с хорошей несущей способностью – погрузочно-транспортной машиной (ПТМ).

В этой связи для реализации двухступенчатой трелевки древесины при освоении труднодоступного лесосечного фонда встает вопрос об особенностях ее применения в производственных условиях.

Основная часть. Сравнительную оценку традиционной и двухступенчатой трелевки произведем по критерию времени, затрачиваемого на трелевку 1 м³ древесины.

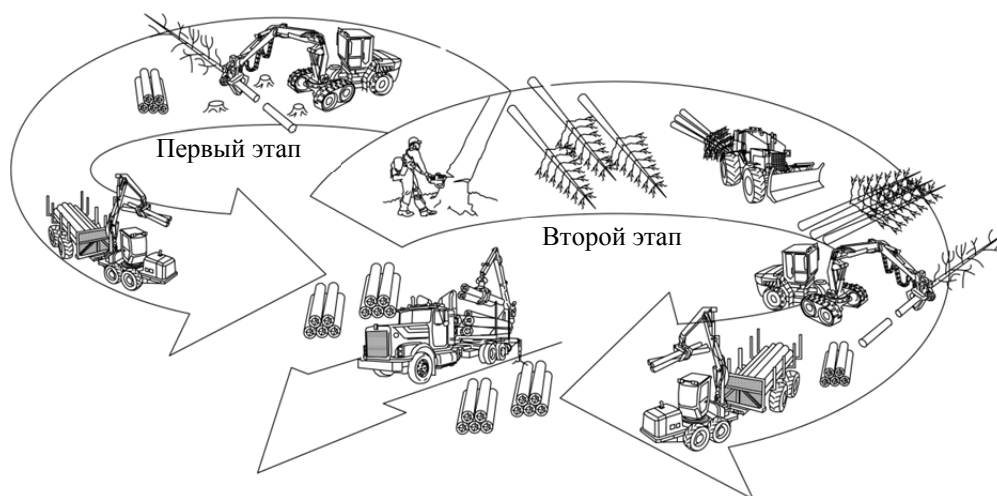


Рис. 1. Разработка лесосек с использованием двухступенчатой трелевки древесины трактором с канатно-чokerной оснасткой и погрузочно-транспортной машиной

Рассмотрим производительность трелевочного трактора с канатно-чокерной оснасткой, определяемую по выражению [3, с. 37]. После его преобразования получим, что время, затрачиваемое на трелевку 1 м^3 древесины, составит

$$t_{\text{тр}} = \frac{S}{v_{\text{px1}}} + \frac{S}{v_{\text{xx1}}} + t_{\text{пр}} + t_{\text{от}}, \quad (1)$$

где S – среднее расстояние трелевки, м; $v_{\text{px1}}, v_{\text{xx1}}$ – средняя скорость движения трактора соответственно с грузом и без груза, м/с; $t_{\text{пр}}$ – время на чокеровку деревьев и формирование пачки, с; $t_{\text{от}}$ – время на отцепку пачки и чокеров на верхнем складе и выравнивание комлей, с; $V_{\text{п1}}$ – объем древесины, трелеваемый трактором за один рейс, м^3 .

Для тракторов с канатно-чокерным оборудованием

$$t_{\text{пр}} = \left(2 + 0,08l_{\text{тк}} + \frac{0,8V_{\text{п1}}}{nV_{\text{хл}}} + \frac{2V_{\text{п1}}}{n} \right) \cdot 60; \quad (2)$$

$$t_{\text{от}} = \left(0,6 + \frac{0,06V_{\text{п1}}}{V_{\text{хл}}} + 0,5V_{\text{п1}} \right) \cdot 60, \quad (3)$$

где $l_{\text{тк}}$ – среднее расстояние подачи собирающего каната от трактора к месту чокеровки хлыстов (деревьев), м; n – количество рабочих, участвующих в чокеровке хлыстов (деревьев); $V_{\text{хл}}$ – средний объем хлыста, м^3 .

Рассмотрим производительность погрузочно-транспортной машины (ПТМ) или форвардера определяемую по выражению [3, с. 36]. После его преобразования получим, что время, затрачиваемое на трелевку 1 м^3 древесины, составит

$$t_{\text{птм}} = \frac{t_{\text{п.пач}} \frac{V_{\text{п2}}}{V_{\text{п.пач}}} + t_{\text{р.пач}} \frac{V_{\text{п2}}}{V_{\text{р.пач}}}}{V_{\text{п2}}} + k_0 S \left(\frac{1}{v_{\text{px2}}} + \frac{k_1}{v_{\text{xx2}}} \right) + \frac{1}{v_{\text{пер}}} \left(\frac{10^4 V_{\text{п2}}}{Q_{\text{га}} b_{\text{п}}^i} + l_{\text{р.пер}} \right), \quad (4)$$

где $t_{\text{п.пач}}$ и $t_{\text{р.пач}}$ – затраты времени на погрузку и разгрузку одной пачки соответственно, с; $V_{\text{п.пач}}$ и $V_{\text{р.пач}}$ – объем пачки, захватываемой гидроманипулятором за один прием, при погрузке и разгрузке соответственно, м^3 ; k_0, k_1 – коэффициенты, учитывающие увеличение пройденного пути за счет непрямолинейности при движении по волоку и увеличение пути при развороте машины соответственно; S – среднее расстояние трелевки (подвозки) сортиментов, м; $v_{\text{px2}}, v_{\text{xx2}}$ – скорости ПТМ в грузовом и порожнем направлениях соответственно, м/с; $v_{\text{пер}}$ – средняя скорость

движения ПТМ при сборе пачки, м/с; $Q_{\text{га}}$ – ликвидный запас древесины на 1 га, $\text{м}^3/\text{га}$; $b_{\text{п}}$ – ширина пачки, м; i – интенсивность рубки насаждения (при сплошных рубках $i = 1$; $l_{\text{р.пер}}$ – путь, проходимый машиной от одного штабеля к другому при разгрузке, м; $V_{\text{п2}}$ – объем древесины, который будет вывезен ПТМ за один рейс, м^3 .

Затраты времени на погрузку и разгрузку одной пачки определяются по регрессионным зависимостям Г. М. Ушакова:

$$t_{\text{п.пач}} = 7,78 + 58,74V_{\text{п.пач}} + 2,18l_c - 5,77V_{\text{п.пач}}l_c; \quad (5)$$

$$t_{\text{р.пач}} = -48,5 + 95,29V_{\text{р.пач}} + 7,01l_c - 1,32V_{\text{р.пач}}l_c^2; \quad (6)$$

$$V_{\text{п.пач}} = \sqrt{\frac{l_c - 1,96}{4,04}}; \quad (7)$$

$$V_{\text{р.пач}} = \sqrt{\frac{l_c - 2,08}{3,98}}; \quad (8)$$

где l_c – средняя длина сортимента, м.

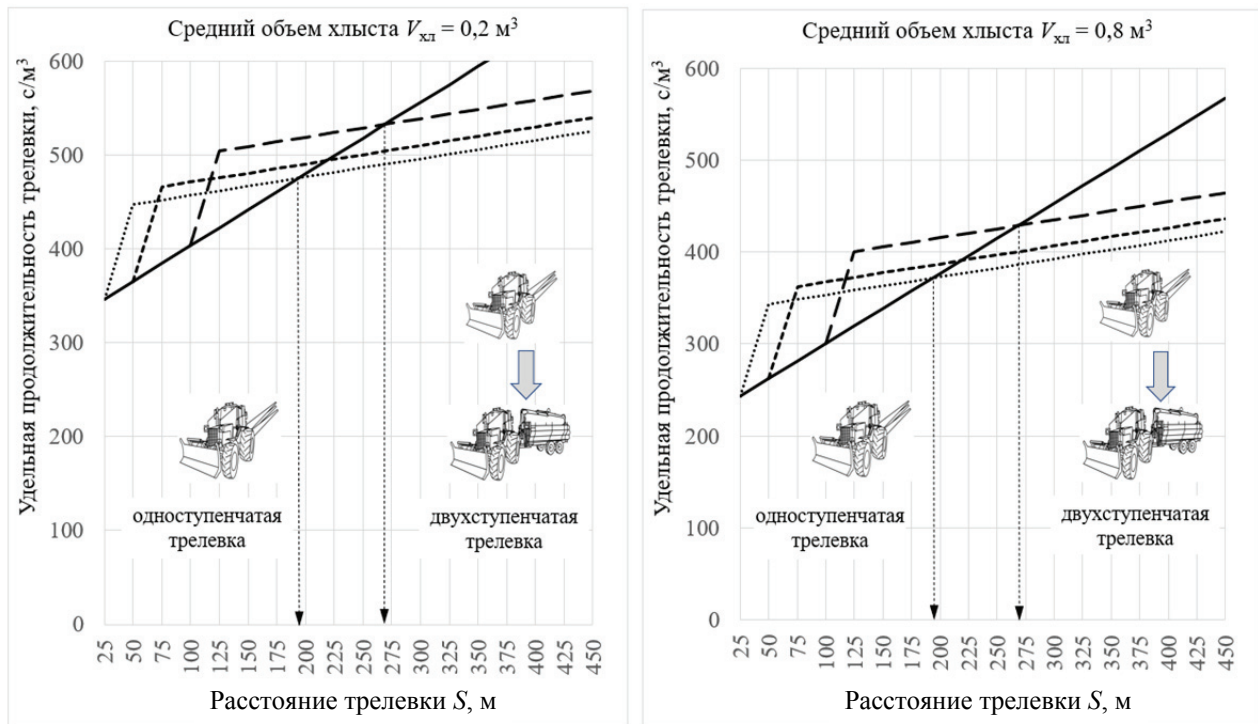
Тогда на основании выражений (1) и (4) время, затрачиваемое на двухступенчатую трелевку 1 м^3 древесины, составит:

$$t_{\text{тр+птм}} = \frac{S_{\text{тр}} \left(\frac{1}{v_{\text{px1}}} + \frac{1}{v_{\text{xx1}}} \right) + t_{\text{пр}} + t_{\text{от}}}{V_{\text{п1}}} + \frac{t_{\text{п.пач}} \frac{V_{\text{п2}}}{V_{\text{п.пач}}} + t_{\text{р.пач}} \frac{V_{\text{п2}}}{V_{\text{р.пач}}}}{V_{\text{п2}}} + \frac{k_0 (S - S_{\text{тр}}) \left(\frac{1}{v_{\text{px2}}} + \frac{k_1}{v_{\text{xx2}}} \right) + \frac{1}{v_{\text{пер}}} \left(\frac{10^4 V_{\text{п2}}}{Q_{\text{га}} b_{\text{п}}^i} + l_{\text{р.пер}} \right)}{V_{\text{п2}}}, \quad (9)$$

где $S_{\text{тр}}$ – протяженность первой ступени трелевки древесины (трелевочным трактором с канатно-чокерной оснасткой), м; $(S - S_{\text{тр}})$ – протяженность второй ступени трелевки древесины (погрузочно-транспортной машиной), м.

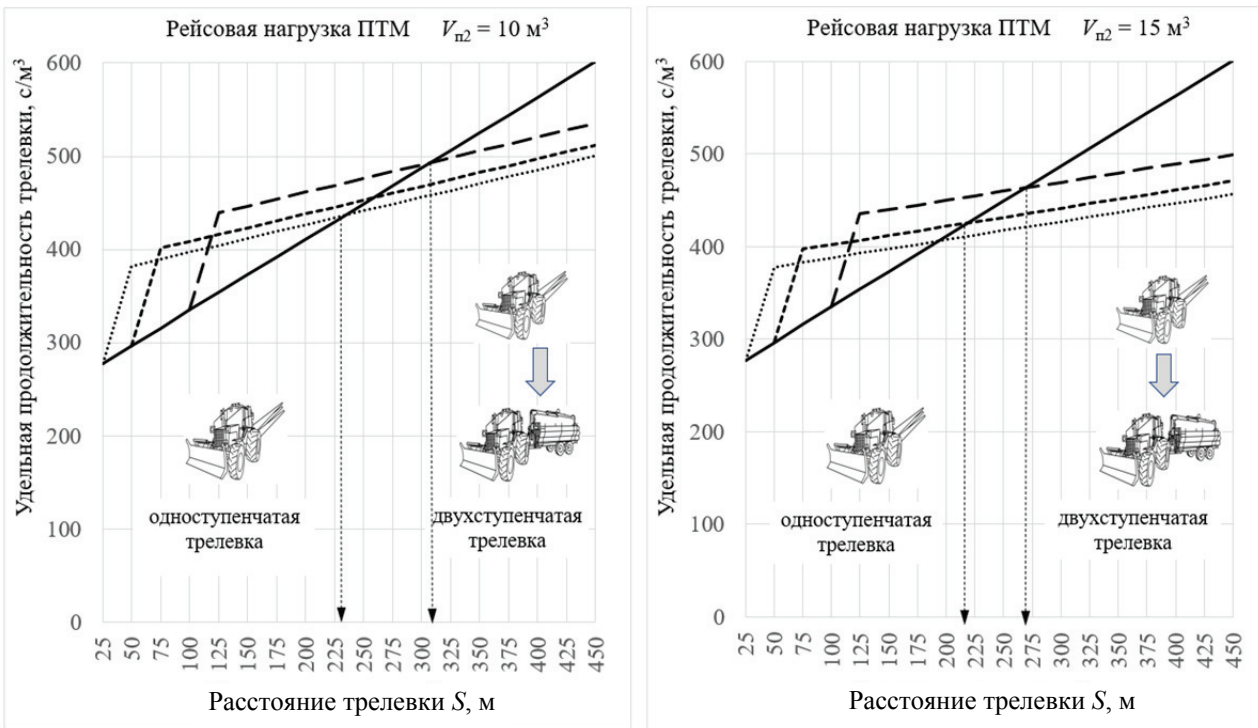
Для сравнительной оценки традиционной и двухступенчатой трелевки древесины в расчетах нами приняты следующие марки лесных машин: в качестве трелевочного трактора с канатно-чокерной оснасткой – ТТР-411 ($V_{\text{п1}} = 3,5 \text{ м}^3$); в качестве погрузочно-транспортных машин – МПТ-461.1 ($V_{\text{п2}} = 10 \text{ м}^3$) и «Амкодор 2661-01» ($V_{\text{п1}} = 15 \text{ м}^3$).

Сравнительная характеристика традиционной и двухступенчатой трелевки приведена на рис. 2 и 3.



..... протяженность первой ступени трелевки 25 м
 - - - протяженность первой ступени трелевки 50 м
 — — — протяженность первой ступени трелевки 50 м
 — — — однастадийная трелевка

Рис. 2. Зависимость удельной продолжительности трелевки от расстояния трелевки и объема хлыста



..... протяженность первой ступени трелевки 25 м
 - - - протяженность первой ступени трелевки 50 м
 — — — протяженность первой ступени трелевки 50 м
 — — — однастадийная трелевка

Рис. 3. Зависимость удельной продолжительности трелевки от расстояния трелевки и рейсовой нагрузки ПТМ

Заключение. На основании проведенного теоретического исследования установлено, что время, затрачиваемое на трелевку 1 м^3 древесины, зависит от среднего объема хлыста, расстояния трелевки и рейсовой нагрузки на трелевочный трактор и погрузочно-транспортную машину.

С увеличением среднего объема хлыста $V_{\text{хл}}$ с $0,2$ до $0,8 \text{ м}^3$ удельная продолжительность традиционной трелевки при использовании трактора ТТР-411 с канатно-чокерной оснасткой уменьшается на $15\text{--}30\%$. При использовании двухстадийной трелевки в зависимости от марки применяемой ПТМ (МПТ-461.1 или «Амкодор 2661-01») данный параметр уменьшается на $18\text{--}26\%$. При этом одностадийная трелевка трактором ТТР-411 предпочтительна при перемещении древесины на расстояние до 190 м , двухстадийная с применением ТТР-411 и

МПТ-461.1 – при перемещении древесины на расстояние свыше 260 м .

С увеличением рейсовой нагрузки на ПТМ $V_{\text{п2}}$ с 10 до 15 м^3 при постоянном среднем объеме хлыста $V_{\text{хл}} = 0,4 \text{ м}^3$ удельная продолжительность двухстадийной трелевки уменьшается на $1\text{--}9\%$.

При использовании погрузочно-транспортной машины МПТ-461.1 грузоподъемностью $V_{\text{п2}} = 10 \text{ м}^3$ двухступенчатая трелевка становится эффективной при перемещении древесины на расстояние свыше 310 м .

С увеличением грузоподъемности погрузочно-транспортной машины до $V_{\text{п2}} = 15 \text{ м}^3$ (применяется «Амкодор 2661-01») эффективность двухступенчатой трелевки обеспечивается при перемещении древесины на расстояние свыше 260 м .

Список литературы

1. Германович А. О., Леонов Е. А., Мохов С. П. Оборудование лесопромышленных предприятий. Практикум. Минск : БГТУ, 2020. 223 с.
2. Игнатенко В. В., Леонов Е. А. Установление рациональных параметров многооперационных машин в лесозаготовительной промышленности // Актуальные направления научных исследований XXI века: теория и практика. 2015. Т. 3, № 5–4. С. 291–295.
3. Леонов Е.А., Клоков Д. В. Технология лесозаготовок и переработки древесины. Минск: БГТУ, 2018. 231 с.
4. Федоренчик А. С., Клоков Д. В., Леонов Е. А. Технология и оборудование лесосечных и лесоскладских работ. Минск: БГТУ, 2016. 204 с.
5. Клоков Д. В., Турлай И. В., Леонов Е. А. Оборудование лесопромышленных предприятий. Лабораторный практикум. Минск: БГТУ, 2015. 200 с.
6. Федоренчик А. С., Клоков Д. В., Леонов Е. А. Энергетическое использование древесной биомассы. Практикум. Минск: БГТУ, 2015. 212 с.
7. Технология и оборудование комплексного использования древесного сырья. Практикум / А. С. Федоренчик [и др.]. Минск: БГТУ, 2014. 274 с.
8. Григорьев И. В., Валяжонков В. Д. Современные машины и технологические процессы лесосечных работ. СПб.: Темплан, 2009. 287 с.
9. Инновационные технологии лесосечных работ / И. Р. Шегельман [и др.]. Петрозаводск: Verso, 2016. 134 с.
10. Жуков А. В. Теория лесных машин. Минск: БГТУ, 2001. 640 с.
11. Федоренчик А. С., Ледницкий А. В. Энергетическое использование низкокачественной древесины и древесных отходов. Минск: БГТУ, 2010. 446 с.
12. Матвейко А. П. Технология и оборудование лесозаготовительного производства. Минск: Техноперспектива, 2006. 444 с.
13. Способ разработки лесосеки: пат. 23001 Респ. Беларусь, МПК А01G23/02 / В. А. Симанович, Е. А. Леонов, Д. А. Кононович, С. Е. Арико, С. П. Мохов, С. А. Голякевич, А. А. Духовник; заявитель Белорус. гос. технол. ун-т. – № а 20180500; заявл. 04.12.2018; опубл. 27.03.2020.

References

1. Hermanovich A. O., Leonov E. A., Mokhov S. P. *Oborudovaniye lesopromyshlennykh predpriyatiy. Praktikum* [Equipment for timber industry enterprises. Practicum]. Minsk, BGTU Publ., 2020. 223 p.
2. Ignatenko V. V., Leonov E. A. Establishment of rational parameters of multi-operation machines in the timber industry. *Aktual'nyye napravleniya nauchnykh issledovaniy XXI veka: teoriya i praktika* [Actual directions of scientific research of the XXI century: theory and practice], 2015, no. 5–4, pp. 291–295 (In Russian).
3. Leonov E. A., Klokov D. V. *Tekhnologiya lesozagotovok i pererabotki drevesiny* [Logging and wood processing technology]. Minsk, BGTU Publ., 2018. 231 p.
4. Fedorenchik A. S., Klokov D. V., Leonov E. A. *Tekhnologiya i oborudovaniye lesosechnykh i lesoskladskikh rabot* [Energy use of wood biomass. Practical work]. Minsk, BGTU Publ., 2016. 204 p.

5. Klokov D. V., Turlay I. V., Leonov E. A. *Oborudovaniye lesopromyshlennykh predpriyatiy. Laboratornyy praktikum* [Equipment timber companies. Laboratory practicum]. Minsk, BGTU Publ., 2015. 200 p.
6. Fedorenchik A. S., Klokov D. V., Leonov E. A. *Energeticheskoye ispol'zovaniye drevesnoy biomassy. Praktikum* [Energy use of wood biomass. Practical work]. Minsk, BGTU Publ., 2015. 212 p.
7. Fedorenchik A. S., Mokhov S. P., Klokov D. V., Leonov E. A. *Tekhnologiya i oborudovaniye kompleksnogo ispol'zovaniya drevesnogo syr'ya. Praktikum* [Technology and equipment for the integrated use of wood raw material. Practical work]. Minsk, BGTU Publ., 2014. 274 p.
8. Grigor'ev I. V., Valyazhonkov V. D. *Sovremennyye mashiny i tekhnologicheskiye protsessy lesosechnykh rabot* [Modern machines and technological processes logging activities]. St. Petersburg, Templan Publ., 2009. 287 p.
9. Shegel'man I. R., Laurila Ya. T., Skrypnik V. I., Galaktionov O. N. *Innovatsionnyye tekhnologii lesosechnykh rabot* [Innovative logging technology]. Petrozavodsk, Verso Publ., 2016. 134 p.
10. Zhukov A. V. *Teoriya lesnykh mashin* [The theory of forest machines]. Minsk, BGTU Publ., 2001. 640 p.
11. Fedorenchik A. S., Lednitskiy A. V. *Energeticheskoye ispol'zovaniye nizkokachestvennoy drevesiny i drevesnykh otkhodov* [Energy use of low-quality wood and wood waste]. Minsk, BGTU Publ., 2010. 446 p.
12. Matveyko A. P. *Tekhnologiya i oborudovaniye lesozagotovitel'nogo proizvodstva* [Technology and equipment of timber production]. Minsk, Tekhnoperspektiva Publ., 2006. 444 p.
13. Simanovich V. A., Leonov E. A., Kononovich D. A., Ariko S. Ye., Mokhov S. P., Golyakevich S. A., Dukhovnik A. A. *Sposob razrabotki lesosek* [The method of harvesting area]. Patent BY, no. a 20180500, 2020.

Информация об авторах

Леонов Евгений Анатольевич – кандидат технических наук, доцент, доцент кафедры лесных машин, дорог и технологий лесопромышленного производства. Белорусский государственный технологический университет (220006, г. Минск, ул. Свердлова, 13а, Республика Беларусь). E-mail: debager13@rambler.ru

Клоков Дмитрий Викторович – кандидат технических наук, доцент кафедры «Инженерная графика машиностроительного профиля». Белорусский национальный технический университет (220013, г. Минск, ул. Я. Коласа, 12, Республика Беларусь). E-mail: klokov_dm@mail.ru

Исаченков Владимир Сергеевич – старший преподаватель кафедры инженерной графики. Белорусский государственный технологический университет (220006, г. Минск, ул. Свердлова, 13а, Республика Беларусь). E-mail: v.isachenkov@belstu.by

Information about the authors

Leonov Evgeniy Anatol'yevich – PhD (Engineering), Associate Professor, Assistant Professor, the Department of Logging Machinery, Forest Roads and Timber Production Technology. Belarusian State Technological University (13a, Sverdlova str., 220006, Minsk, Republic of Belarus). E-mail: debager13@rambler.ru

Klokov Dmitriy Viktorovich – PhD (Engineering), Assistant Professor, the Department of Engineering Graphics for Machine-Building. Belarusian National Technical University (12, Ya. Kolasa str., 220013, Minsk, Republic of Belarus). E-mail: klokov_dm@mail.ru

Isachenkov Vladimir Sergeevich – Senior Lecturer, the Department of Engineering Drawing. Belarusian State Technological University (13a, Sverdlova str., 220006, Minsk, Republic of Belarus). E-mail: v.isachenkov@belstu.by

Поступила 20.03.2021