

УДК 630\*356

**А. С. Панкратович, П. А. Протас**

Белорусский государственный технологический университет

**МЕТОДЫ ОЦЕНКИ ВЛИЯНИЯ РАЗМЕЩЕНИЯ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ЭЛЕМЕНТОВ ЛЕСОСЕКИ НА ПРОИЗВОДИТЕЛЬНОСТЬ ФОРВАРДЕРА**

В процессе лесозаготовительных работ большой объем трудовых затрат приходится на проведение транспортно-логистических операций форвардером (сбор и погрузку круглых лесоматериалов на грузовую платформу, их трелевку включая рабочий, холостой ход и маневрирование машины, сортировку, выгрузку и штабелевку), что в значительной степени влияет на эффективность работы и производительность форвардера. Оптимизация данных операций может производиться различными способами, например с помощью математического моделирования или же путем использования готового программного продукта. Был проведен анализ методов математического моделирования и приведены варианты их применения в различных областях лесозаготовительного производства, а также анализ готовых программных решений, дающих возможность проводить оптимизацию переместительных операций с меньшими трудовыми затратами.

Для апробации анализа выполнения транспортно-логистических операций форвардером использовался программный продукт Ponsse Forwarder Game. При этом были заданы технологические параметры лесозаготовительного процесса, такие как габаритные размеры лесосеки и ее технологических элементов, основные таксационные показатели, количество сортотипов при сортировке круглых лесоматериалов, а также составлены схемы расположения технологических элементов лесосек в соответствии с организацией лесозаготовительных работ и требованиями нормативных документов.

В результате исследований были получены определенные выводы о применимости и эффективности использования метода оценки оптимизации транспортно-логистических операций на лесосеке на базе программного продукта Ponsse Forwarder Game и анализа производительности форвардера.

**Ключевые слова:** лесосека, параметры, технологические элементы, методы, моделирование, форвардер, производительность.

**Для цитирования:** Панкратович А. С., Протас П. А. Методы оценки влияния размещения технологических элементов лесосеки на производительность форвардера // Труды БГТУ. Сер. 1, Лесное хозяйство, природопользование и перераб. возобновляемых ресурсов. 2022. № 2 (258). С. 130–136.

**A. S. Pankratovich, P. A. Protas**

Belarusian State Technological University

**METHODS FOR ASSESSING THE IMPACT OF THE PLACEMENT OF TECHNOLOGICAL ELEMENTS OF THE CUTTING AREA ON THE FORWARDER'S PERFORMANCE**

In the process of logging operations, a large amount of labor is spent on carrying out transport and logistics operations by the forwarder (collecting and loading round timber materials onto a cargo platform, their skidding, including working, idling and maneuvering of the machine, sorting, unloading and stacking), which significantly affects the efficiency of work and productivity of the forwarder. Optimization of these operations can be carried out in various ways, for example, using mathematical modeling, or using a ready-made software product. The analysis of mathematical modeling methods was carried out and the variants of their application in various fields of logging production were given, as well as the analysis of ready-made software solutions that make it possible to optimize moving operations with less labor.

The software product Ponsse Forwarder Game was used to test the analysis of the performance of transport and logistics operations by the forwarder. For this purpose, the technological parameters of the logging process were set, such as the overall dimensions of the cutting area and its technological elements, the main taxation indicators, the number of varietal groups when sorting round timber, and the layout of the technological elements of the cutting areas were drawn up in accordance with the organization of logging operations and the requirements of regulatory documents.

As a result of the research, certain conclusions were obtained about the applicability and effectiveness of using the method of evaluating the optimization of transport and logistics operations in the cutting area based on the software product Ponsse Forwarder Game and the analysis of the forwarder's productivity.

**Key words:** cutting area, parameters, technological elements, methods, modeling, forwarder, productivity.

**For citation:** Pankratovich A. S., Protas P. A. Methods for assessing the impact of the placement of technological elements of the cutting area on the forwarder's performance. *Proceedings of BSTU, issue 1, Forestry. Nature Management. Processing of Renewable Resources*, 2022, no. 2 (258), pp. 130–136 (In Russian).

**Введение.** Лесозаготовительное производство Республики Беларусь движется в направлении расширения использования систем машин «харвестер – форвардер», которыми в настоящее время заготавливается более 50% от общего объема заготовки древесного сырья [1]. Эффективность работы такой системы машин зависит от различных факторов: технологии разработки лесосеки, природно-производственных условий, квалификации операторов, параметров лесосеки и ее технологических элементов, степени сортировки круглых лесоматериалов и др. При этом совокупность данных факторов усиливает их влияние на временные затраты для выполнения операций по заготовке и трелевке (транспортировке) лесоматериалов, что, в свою очередь, существенно влияет на производительность системы машин [2–9].

Если рассматривать производительность форвардера, то существенное влияние на нее оказывают параметры лесосеки и ее технологических элементов (пасечных и магистральных трелевочных волоков, верхних и промежуточных складов, подъездных путей). К таким параметрам можно отнести суммарную площадь технологических элементов, ширину трелевочных волоков и их размещение на лесосеке, площадь лесосеки, размеры и расположение верхнего (промежуточного) склада.

Изменение этих параметров будет влиять на объем транспортно-логистических операций системы машин в процессе лесозаготовки. Учитывая ряд требований нормативных документов, а также то, что большинство разрабатываемых лесосек имеет неправильную геометрию, необходимо находить оптимальные решения и проводить корректировки схем расположения технологических элементов для того, чтобы обеспечить эффективность лесозаготовительного производства [10–12].

Процесс оптимизации лесозаготовительного производства, а именно транспортно-логистических операций лесозаготовки, является важной задачей, в дальнейшем значительно влияющей на эффективность лесосечных работ. Она включает в себя оптимизацию параметров и размещения технологических элементов лесосеки, что требует применения знаний во многих аспектах, таких как технология лесозаготовительного производства, математическое моделирование процессов, экономический анализ и др.

**Основная часть.** Целью исследования является анализ методов размещения технологи-

ческих элементов на лесосеке, а также оценка влияния такого размещения на производительность форвардера. В соответствии с целью задачи исследования заключаются в следующем:

- проведение анализа возможных методов моделирования транспортно-логистических операций форвардера;
- выбор метода моделирования, соответствующего заданным исходным параметрам;
- апробация выбранного метода и анализ полученных результатов.

В зависимости от требуемой точности в решении задачи оптимизации транспортно-логистических операций на лесосеке, трудозатрат, применяемых средств и др. могут использоваться различные методы оценки влияния размещения технологических элементов лесосеки на производительность форвардера.

Для этого можно воспользоваться определенными методами математического моделирования производственных процессов на лесозаготовках. К таким методам можно отнести [13]:

- линейные модели. Этот принцип базируется на пренебрежении в отдельных случаях нелинейностью связи между параметрами системы, различными ограничениями и целевыми функциями. Подобные модели получили распространение при анализе эффективности, а также оптимизации по экономическим критериям, при решении транспортных и распределительных задач планирования и управления;
- модели массового обслуживания. Суть заключается в отыскании функциональных зависимостей величин, характеризующих эффективность системы, от характеристик входящего потока, параметров и способов организации обслуживающей системы в целом, а также от способов управления системой. На практике к задачам, решаемым подобным способом, можно отнести процесс разгрузки форвардера и штабелевки, освобождение лесопромышленного склада, устранение неисправностей машин и т. д.;
- модели управления запасами. Подобные модели с помощью составления математических зависимостей позволяют создать запасы древесины, определить их оптимальные размеры на различных фазах лесозаготовительного процесса;
- модели, основанные на теории графов и сетей. Данные модели могут использоваться при решении широкого спектра задач, таких как задачи по распределению трудовых ресурсов

и материальных средств по фазам процесса, для определения моментов начала и конца отдельных этапов работ, для выявления возможных препятствий выполнению работ и поиску путей их устранения;

– модели, основанные на теории игр и статистических решений. При управлении производством приходится иметь дело с неопределенными условиями выполнения операций (например, погодными-климатическими), неопределенностью поведения объекта управления в связи со случайными помехами, а также с неопределенностью целей или эффективности операций. Подобные модели предлагают математические варианты решения данных неопределенностей, а если нет решения, то позволяют получить максимальную величину минимального «выигрыша».

Также находят применение частные решения задачи оценки эффективности размещения технологических элементов лесосеки. Например, в работах [14, 15] представлена имитационная модель проектирования сети трелевочных волоков и выполнения трелевки древесины при определении некоторых критериев эффективности, а также анализ данной модели в случае нескольких вариантов лесосек с разной конфигурацией, но одинаковыми таксационными и технологическими параметрами. Авторами также рассматриваются вопросы компьютерного программного проектирования трелевочных волоков на лесосеке [16].

Сегодня все большее применение находят прикладные программы, которые также могут быть использованы для решения задачи оптимизации транспортно-логистических операций при лесозаготовке, а также для нахождения эффективных путей повышения производительности форвардеров.

Так, разработана программа на основе языка MapBasic, позволяющая при оценке эффективности работы машин генерировать модельные лесосеки с различными характеристиками, такими как таксационные характеристики древостоя, крутизна склонов рельефа местности, климатические и грунтовые условия, схемы размещения волоков и погрузочного пункта [17].

Для решения данной задачи специалистами компании Ponsse Oyj (Финляндия) была разработана программа Ponsse Forwarder Game. Данная программа предназначена для планирования оптимальной работы при транспортировке лесоматериалов из лесосеки на верхний или промежуточный лесосклад, а также для обучения операторов форвардеров эффективным методам работы [18].

При выполнении планирования работы по транспортировке лесоматериалов в данной программе можно учитывать различные природно-

производственные факторы: условия эксплуатации форвардера, размещение технологических элементов, количество сортируемых категорий круглых лесоматериалов, их укладку в штабели на промскладе и др. Задавшись определенными параметрами лесосеки и ее технологических элементов, а также приняв в учет технологические аспекты работы и требования нормативных документов, можно моделировать множество вариантов транспортировки лесоматериалов с одной лесосеки, чтобы в дальнейшем выбрать из них оптимальный.

Выполнив анализ методов оценки влияния размещения технологических элементов лесосеки на производительность форвардера, можно сделать вывод, что применение программы Ponsse Forwarder Game для выбора из множества вариантов минимального числа рациональных с дальнейшим их анализом математическими и экономическими методами является эффективным.

Для апробации выбранного метода в работе рассматривалось влияние размещения трелевочных волоков, количества и размещения пачек сортиментов, погрузочных пунктов на производительность форвардера с учетом неизменности геометрии самой лесосеки, а также без изменения количества лесоматериалов, расположенных вдоль волоков. Для расчета приняты следующие данные:

- сплошные рубки главного пользования;
- породный состав 5С3Е2Б;
- ликвидный запас на 1 га 280 м<sup>3</sup>;
- длина и ширина лесосеки 100 и 160 м соответственно, площадь лесосеки 1,6 га;
- схема расположения волоков – параллельная;
- ширина волока 5 м, ширина пасеки 20 м;
- схема 1 – параллельная схема расположения волоков с промежуточным складом, находящимся за пределами лесосеки, на расстоянии 150 м;
- схема 2 – параллельная схема расположения волоков с центральным расположением верхнего (промежуточного) склада в пределах лесосеки.

Для каждой схемы было выбрано по 2 варианта заготовки и сортировки круглых лесоматериалов: 4 сортгруппы – лесоматериалы сосновые длиной 4 и 6 м, еловые длиной 4 м и березовые длиной 6 м; 6 сортгрупп – лесоматериалы сосновые 4 и 6 м, еловые 4 и 6 м и березовые 4 и 6 м.

С учетом вышеперечисленных параметров были составлены 4 схемы движения форвардера.

Результатом моделирования процессов трелевки форвардером в данной программе является статистика (рис. 1), в которой приводятся следующие показатели: затрачиваемое время и

расстояние при погрузке, разгрузке, холостом и рабочем ходах, общий объем перевозимых лесоматериалов, производительность работы и т. д.

**Total**

**Time Usage**

Total working time	10:03:00
Driving empty	00:55:24
Loading	06:00:58
Driving loaded	00:58:02
Unloading	02:08:34

**Loads**

Loads transported	30
Total volume [m3]	450.0
Loading density [m3/100m]	13.4

**Productivity**

Productivity [m3/h]	44.8
GTkm	191.4
NTkm	53.6

**Driving distance [m]**

Total	9843.1
Forward	8947.4
Backward	895.7
Backward with limited visibility	93.1
Driving empty	3403.1
Loading	3347.4
Driving loaded	3092.5
Unloading	0.0

Рис. 1. Пример статистики

В процессе моделирования рассмотрены схемы расположения технологических элементов и организации работы форвардера, представленные на рис. 2–5.



Рис. 2. Схема 1

При работе по схеме 1 верхний склад примыкает к лесосеке, а подсортировка форвардером круглых лесоматериалов осуществляется на четыре сортотруппы.

Схема 2 отличается тем, что подсортировка осуществляется на шесть сортотрупп.

Схемы 3 и 4 отличаются расположением промежуточного склада, который удален от

лесосеки на 150 м (расположен у лесохозяйственной дороги). При этом по схеме 3 организация работы форвардера осуществляется с подсортировкой круглых лесоматериалов на четыре сортотруппы, по схеме 4 – на шесть.

При моделировании процесса трелевки круглых лесоматериалов по приведенным схемам получены следующие результаты.

В первом варианте (рис. 2) общее затраченное время на лесосеке составило 10 ч 3 мин, из которых 6 ч заняла загрузка форвардера. Остальное время затрачено на ход машины в холостом и груженом состоянии, а также на разгрузку. Часовая производительность составила 44,8 м<sup>3</sup>, а общее расстояние перемещения форвардера – 9843 м, из которых 3092 м машина перемещалась полностью загруженная.



Рис. 3. Схема 2

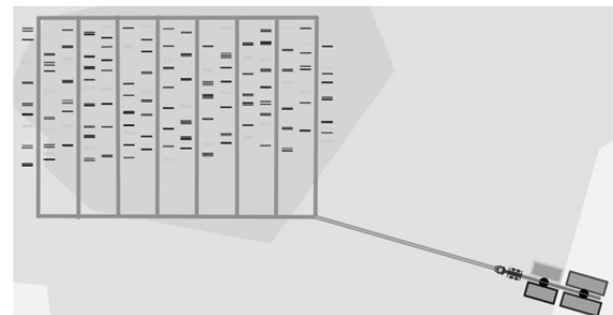


Рис. 4. Схема 3

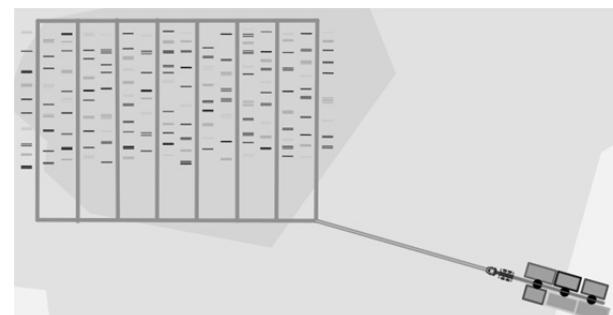


Рис. 5. Схема 4

При аналогичной организации работы форвардера, но расположении промежуточного лесосопромышленного склада на удалении от лесосеки (рис. 4) общее затраченное на лесосеке время составило 13 ч 7 мин, из которых 6 ч заняла загрузка форвардера. Часовая производительность составила 34,3 м<sup>3</sup>, а общее расстояние перемещения форвардера 20 080 м, из которых 8225 м машина перемещалась полностью загруженная.

Аналогично получены данные для других вариантов работы форвардера, которые могут быть использованы для анализа его эффективности и выбора рационального размещения технологических элементов лесосеки.

**Заключение.** Выполненный анализ различных методов оценки влияния размещения технологических элементов лесосеки на производительность форвардера позволил сделать следующие выводы:

– применение методов математического моделирования производственных процессов на лесозаготовках (линейные модели, модели массового обслуживания, модели управления запасами, модели, основанные на теории графов и сетей, модели, основанные на теории игр и статистических решений и др.) не всегда эффективно для оперативного принятия решений и укрупненного выбора рациональной схемы

размещения технологических элементов лесосек ввиду значительных трудовых и временных затрат, необходимости применения различных математических решений, имеющих ряд допущений и др.;

– применение методов решения частных случаев может детально рассматривать решение вопросов в узком диапазоне, что не всегда эффективно для оценки множества влияющих факторов;

– эффективным решением для укрупненного анализа размещения технологических элементов лесосеки и оценки их влияния на производительность форвардера с целью минимизации выбора основных рациональных схем для последующего их детального анализа являются программные методы;

– для оценки эффективности работы форвардера с учетом множества факторов, в том числе размещения, и параметров технологических элементов лесосеки может быть применена программа Ponsse Forwarder Game, разработанная в компании Ponsse Oyj (Финляндия);

– апробация применения программы Ponsse Forwarder Game показала ее эффективность и применимость для укрупненного анализа размещения технологических элементов лесосеки и их влияния на производительность форвардера.

### Список литературы

1. Заготовка и переработка древесных лесных ресурсов // Министерство лесного хозяйства Республики Беларусь. URL: <https://mlh.by/our-main-activities/forest/zagotovka-i-ispolzovanie-drevesnykh-resursov> (дата обращения: 18.03.2022).
2. Герц Э. Ф. Сравнительная оценка эффективности технологических схем работы систем машин «харвестер – форвардер» по критериям площади технологических коридоров и производительности // Вестник Московского государственного университета леса – Лесной вестник. 2012. № 4. С. 63–67.
3. Изотова Е. Н. О факторах повышения эффективности работы на харвестерах и форвардерах // Приоритетные направления развития науки и образования. 2016. № 4-2 (11). С. 67–68.
4. Просужих А. А. Повышение производительности колесных форвардеров обоснованием их параметров и режимов работы: дис. ... канд. техн. наук. Ухта, 2020. 158 л.
5. Федоренчик А. С., Протас П. А., Хотянович А. И. Повышение эффективности эксплуатации системы машин «харвестер – форвардер» // Наука и инновации вузов – производству: взаимодействие, эффективность, перспективы: сб. ст. и тез. науч.-практ. семинара, Минск, 22–23 мая 2007 г. Минск, 2008. С. 78–80.
6. Полукаров М. В. Оценка резервов эксплуатационных затрат систем машин заготовки древесины «харвестер – форвардер» // Научное творчество молодежи – лесному комплексу России: материалы XIII Всерос. науч.-техн. конф. студентов и аспирантов и конкурса по программе «Умник». Екатеринбург, 2017. С. 23–25.
7. Санталов А. А. Имитационный эксперимент на симуляторе харвестера – форвардера «KOMATSU» // Научное творчество молодежи – лесному комплексу России: материалы XIII Всерос. науч.-техн. конф. студентов и аспирантов и конкурса по программе «Умник». Екатеринбург, 2017. С. 25–29.
8. Бурмистрова О. Н., Просужих А. А., Рудов С. Е. Экспериментальные исследования производительности форвардера с учетом его эксплуатационных характеристик, параметров лесосеки и физико-механических свойств почвогрунта // Resources and Technology. 2021. Т. 18. № 1. С. 94–124. DOI: 10.15393/j2.art.2021.5583.
9. Божбов В. Е. Повышение эффективности процесса трелевки путем обоснования рейсовой нагрузки форвардеров. СПб.: С.-Петербург. гос. лесотехн. ун-т им. С. М. Кирова, 2015. 119 с.

10. Матвейко А. П., Протас П. А. Технология и машины лесосечных работ. Минск: БГТУ, 2008. 116 с.
11. Угрюмов Б. И., Ильин И. М. Определение оптимальных размеров лесосек при проведении рубок главного пользования // Вестник КрасГАУ. 2009. № 12 (39). С. 169–172.
12. Устойчивое лесоуправление и лесопользование. Рубки главного пользования. Требования к технологиям: СТБ 1360–2002. Минск: Госстандарт, 2003. 16 с.
13. Алябьев В. И. Оптимизация производственных процессов на лесозаготовках. М.: Лесная пром-сть, 1977. 232 с.
14. Макаренко А. В. Оптимизация размещения сети трелевочных волоков на лесосеке // Лесозаготовительное производство: проблемы и решения: материалы междунар. науч.-техн. конф., Минск, 26–28 апр. 2017 г. Минск, 2017. С. 233–237.
15. Макаренко А. В. Моделирование и оценка эффективности прокладки трелевочных волоков на лесосеке // Лесной вестник. Forestry Bulletin. 2018. Т. 22, № 6. С. 70–78. DOI: 10.18698/2542-1468-2018-6-70-78.
16. Макаренко А. В. Программное проектирование трелевочных волоков на лесосеке // Вестник Московского государственного университета леса – Лесной вестник. 2013. № 1. С. 99–104.
17. Суханов Ю. В. Моделирование природно-производственных условий эксплуатации лесных машин // Труды лесоинженерного факультета ПетрГУ. 2010. № 8. С. 149–150.
18. Ponsse Forwarder Game. URL: <https://ponsseforwardergame.software.informer.com> (дата обращения: 18.03.2022).

### References

1. Harvesting and processing of wood forest resources. Available at: <https://mlh.by/our-main-activities/forest/zagotovka-i-ispolzovanie-drevesnykh-lesnykh-resursov> (accessed 18.03.2022) (In Russian).
2. Gerts E. F. Comparative evaluation of the efficiency of technological schemes of the harvester-forwarder machine systems according to the criteria of the area of technological corridors and productivity. *Vestnik Moskovskogo gosudarstvennogo universiteta lesa – Lesnoy vestnik* [Bulletin of the Moscow State University of the Forest – Forestry Bulletin], 2012, no. 4, pp. 63–67 (In Russian).
3. Izotova E. N. About the factors of increasing the efficiency of work on harvesters and forwarders. *Prioritetnyye napravleniya razvitiya nauki i obrazovaniya* [Priority directions of development of science and education], 2016, no. 4-2 (11), pp. 67–68 (In Russian).
4. Prosuzhikh A. A. *Povysheniye proizvoditel'nosti kolesnykh forvarderov obosnovaniyem ikh parametrov i rezhimov raboty. Dissertatsiya kandidata tekhnicheskikh nauk* [Improving the performance of wheel forwarders by justifying their parameters and operating modes. Dissertation PhD (Engineering)]. Ukhta, 2020. 158 p. (In Russian).
5. Fedorenchik A. S., Protas P. A., Khotyanovich A. I. Improving the operational efficiency of the harvester-forwarder machine system. *Nauka i innovatsii vuzov – proizvodstvu: vzaimodeystviye, effektivnost', perspektivy: sbornik statey i tezisev nauchno-prakticheskogo seminara* [Science and innovation of universities – production: interaction, efficiency, prospects: a collection of articles and abstracts of a scientific and practical seminar]. Minsk, 2008, pp. 78–80 (In Russian).
6. Polukarov M. V. Estimation of operating cost reserves of harvester – forwarder wood harvesting machine systems. *Nauchnoye tvorchestvo molodezhi – lesnomu kompleksu Rossii: materialy XIII Vserossiyskoy nauchno-tekhnicheskoy konferentsii studentov i aspirantov i konkursa po programme “Umnik”* [Scientific creativity of youth – to the forest complex of Russia: materials of XIII All-Russian scientific and technical conference of students and postgraduates and the competition under the program “Umnik”]. Ekaterinburg, 2017, pp. 23–25 (In Russian).
7. Santalov A. A. Simulation experiment on the KOMATSU harvester forwarder simulator. *Nauchnoye tvorchestvo molodezhi – lesnomu kompleksu Rossii: materialy XIII Vserossiyskoy nauchno-tekhnicheskoy konferentsii studentov i aspirantov i konkursa po programme “Umnik”* [Scientific creativity of youth – to the forest complex of Russia: materials of XIII All-Russian scientific and technical conference of students and postgraduates and the competition under the program “Umnik”]. Ekaterinburg, 2017, pp. 25–29 (In Russian).
8. Burmistrova O. N., Prosuzhikh A. A., Rudov S. E. Experimental studies of forwarder performance taking into account its operational characteristics, cutting area parameters, and physical and mechanical properties of the soil. *Resources and Technology*, 2021, vol. 18, no. 1, pp. 94–124. DOI: 10.15393/j2.art.2021.5583 (In Russian).
9. Bozhbov V. E. *Povysheniye effektivnosti protsessa trelevki putem obosnovaniya reysovoy nagruzki forvarderov* [Improving the efficiency of the skidding process by justifying the flight load of forwarders]. St. Petersburg, St. Petersburg State Forest Technical University Publ., 2015. 119 p. (In Russian).

10. Matveyko A. P., Protas P. A. *Tekhnologiya i mashiny lesosechnykh rabot* [Technology and machines of logging operations]. Minsk, BGTU Publ., 2008. 116 p. (In Russian).
11. Ugryumov B. I., Il'in I. M. Determination of the optimal size of cutting areas during logging of the main use. *Vestnik KrasGAU* [Bulletin of the Krasnoyarsk State Agrarian University], 2009, no. 12 (39), pp. 169–172 (In Russian).
12. STB 1360-2002. Sustainable forest management and forest exploitation. Cabins of the main use. Technology requirements. Minsk, Gosstandart Publ., 2003. 16 p. (In Russian).
13. Alyab'yev V. I. *Optimizatsiya proizvodstvennykh protsessov na lesozagotovkakh* [Optimization of production processes in logging]. Moscow, Lesnaya promyshlennost' Publ., 1977. 232 p. (In Russian).
14. Makarenko A. V. Optimization of the placement of a network of skidding hauls in the cutting area. *Lesozagotovitel'noye proizvodstvo: problemy i resheniya; materialy mezhdunarodnoy nauchno-tekhnicheskoy konferentsii* [Logging production: problems and solution; materials of the International scientific and practical conference]. Minsk, 2017, pp. 233–237 (In Russian).
15. Makarenko A. V. Modeling and evaluation of the efficiency of laying skidding lines in the cutting area. *Lesnoy vestnik* [Forestry Bulletin], 2018, vol. 22, no. 6, pp. 70–78. DOI: 10.18698/2542-1468-2018-6-70-78 (In Russian).
16. Makarenko A. V. Software design of skidding drags in the cutting area. *Vestnik Moskovskogo gosudarstvennogo universiteta lesa – Lesnoy vestnik* [Bulletin of the Moscow State University of the Forest – Forestry Bulletin], 2013, no. 1, pp. 99–104 (In Russian).
17. Suhanov Yu. V. Modeling of natural and industrial operating conditions of forest machines. *Trudy lesoinzhenernogo fakul'teta PetrGU* [Proceedings of the Forest Engineering Faculty of Petrozavodsk State University], 2010, no. 8, pp. 149–150 (In Russian).
18. Ponsse Forwarder Game. Available at: <https://ponsseforwardergame.software.informer.com> (accessed 18.03.2022) (In Russian).

#### Информация об авторах

**Панкратович Александр Сергеевич** – аспирант кафедры лесных машин, дорог и технологий лесопромышленного производства. Белорусский государственный технологический университет (220006, г. Минск, ул. Свердлова, 13а, Республика Беларусь). E-mail: halva97@mail.ru

**Протас Павел Александрович** – 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: protas77@rambler.ru

#### Information about the authors

**Pankratovich Alexander Sergeevich** – PhD student, 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: halva97@mail.ru

**Protas Pavel Alexandrovich** – 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: protas77@rambler.ru

Поступила 11.03.2022