

УДК 630*31(043.3)

Р. О. Короленя

Белорусский государственный технологический университет

**МОДЕЛИРОВАНИЕ РАБОТЫ СОРТИМЕНТОВОЗОВ
ПРИ ТРАНСПОРТИРОВКЕ ДРЕВЕСИНЫ: ГРАФ СОСТОЯНИЙ**

Основные объемы заготовленной древесины в Республике Беларусь в настоящее время перевозятся с помощью специализированных лесовозных транспортных средств – сортиментовозов. Для получения возможности качественного моделирования работы сортиментовозов лесозаготовительное производство представлено в виде системы: заготовка – переработка – транспортировка. Причем отмечено, что моделирование состояний и поведения подсистемы «транспортировка» является одной из первостепенных задач при формировании полноценной структуры логистического управления на предприятиях лесного комплекса. Указано, что для эффективной реализации данной задачи необходима адекватная формализация работы подсистемы, основанная на структурированном описании поведения входящих объектов и их состояний во времени. На основании проведенного анализа существующей практики организации транспортного процесса на предприятиях лесного комплекса дано описание применяемых транспортно-технологических схем работы сортиментовозов. Для более полного описания возможных состояний работы систематизированы в три группы основные возможные варианты организации маршрутов транспортировки. При обобщении результатов анализа возможных форм и способов организации работы сортиментовозов разработан граф их состояний. Полученное описание позволяет в полной мере учитывать возможные состояния сортиментовозов в процессе их эксплуатации и суточного (сменного) цикла, что позволяет более полно проектировать процесс транспортировки заготовленной древесины.

Ключевые слова: транспортировка древесины, сортиментовоз, маршрут перевозки, граф состояний.

Для цитирования: Короленя Р. О. Моделирование работы сортиментовозов при транспортировке древесины: граф состояний // Труды БГТУ. Сер. 1, Лесное хоз-во, природопользование и перераб. возобновляемых ресурсов. 2022. № 1 (252). С. 129–135.

R. O. Korolenia

Belarusian State Technological University

MODELING OF LUMBER TRUCKS WHEN TRANSPORTING TIMBER: STATE GRAPH

The main volumes of harvested timber in the Republic of Belarus are currently transported using specialized timber transport vehicles – log trucks. To obtain the possibility of high-quality modeling of the operation of log trucks, logging production is presented in the form of a system: harvesting – processing – transportation. Moreover, it is noted that modeling the states and behavior of the “transportation” subsystem is one of the primary tasks in the formation of a full-fledged structure of logistics management at the enterprises of the forestry complex. It is indicated that for the effective implementation of this task, an adequate formalization of this subsystem is necessary, based on a structured description of the behavior of incoming objects and their states in time. Based on the analysis of the existing practice of organizing the transport process at the enterprises of the forestry complex, a description of the applied transport and technological schemes for the operation of short log trucks is given. For a more complete description of the possible states of work, the main possible options for organizing transportation routes are systematized into three groups. Summarizing the results of the analysis of possible forms and methods of organizing the work of timber trucks, a graph of their states has been developed. The obtained description allows one to fully take into account the possible states of the timber trucks during their operation and the daily (shift) cycle, which makes it possible to more fully design the process of transporting harvested timber.

Key words: timber transportation, log truck, route of transportation, graph of states.

For citation: Korolenia R. O. Modeling of lumber trucks when transporting timber: state graph. *Proceedings of BSTU, issue 1, Forestry. Nature management. Processing of Renewable Resources*, 2022, no. 1 (252), pp. 129–135 (In Russian).

Введение. Одним из важнейших аспектов эффективного функционирования любой сложной системы является возможность моделирования

и прогнозирования ее состояния и поведения при различных вариантах комбинаций возмущающих воздействий, исходных данных и точек входа.

Известно, что лесозаготовительное производство является сложной, многоуровневой системой с обратной связью [1–3]. С точки зрения системного подхода лесозаготовительное производство можно представить в виде системы, включающей, как минимум, три подсистемы:

- *заготовка* (происходит производство предмета труда – древесины);
- *переработка* (осуществляется обработка (потребление) древесины);
- *транспортировка* (обеспечивается пространственная и временная связь между местами производства и потребления древесины).

Таким образом, подсистема «транспортировка» является неотъемлемой частью рассматриваемой производственной системы, без которой невозможно ее функционирование в принципе. Поэтому моделирование состояний и поведения данной подсистемы является одной из первоочередных задач при формировании полноценной структуры логистического управления на предприятиях лесного комплекса. Для эффективной реализации данной задачи, очевидно, необходима адекватная формализация данной подсистемы, основанная на структурированном описании поведения входящих объектов.

В настоящее время под транспортировкой древесины следует понимать «перемещение древесины в заготовленном виде при осуществлении внутриреспубликанских перевозок, в том числе при внутреннем перемещении, или потребителю» [1].

Анализ организации транспортного процесса на предприятиях, ведущих заготовку и транспортировку древесины в Республике Беларусь, дает возможность заключить, что основные объемы заготовленной древесины перевозятся специализированными лесовозными транспортными средствами – сортиментовозами. При этом основными транспортно-технологическими схемами транспортировки

древесины являются: прямая вывозка, одно- и двухступенчатая транспортировка [2, 3].

В связи с чем целью исследований является разработка графа состояний сортиментовозов, работающих на вывозке древесины по указанным ранее схемам, позволяющего корректно моделировать состояние и поведение подсистемы «транспортировка».

Основная часть. *Прямая вывозка* (рис. 1) – перевозка, при которой заготовленную древесину (сортименты) вывозят с лесосек (мест валки) до мест ее дальнейшей переработки (потребителям) без перегрузок [4]. Транспортные средства – погрузочно-транспортные машины (редко форвардеры). Такой подход в организации транспортного процесса целесообразен в следующих основных случаях:

- при небольших расстояниях до пунктов переработки (потребителей), величины которых определяются для конкретных природно-производственных условий работы;
- разработке небольших лесосек (делянок) и малом выходе с них сортиментов, когда получаемые объемы древесины менее грузоподъемности сортиментовозов.

Одноступенчатая транспортировка древесины (рис. 2) – перевозка, при которой заготовленная древесина перемещается к лесным дорогам, где ее грузят на лесовозные транспортные средства – автомобили и автопоезда и после этого перевозят потребителям [4].

Использование такой схемы в организации транспортировки древесины требует устройства мест складирования древесины и подъездов к ним. Рациональна одноступенчатая транспортировка при объемах заготовки древесины, превышающих грузоподъемность сортиментовозов. Используется при освоении доступных для сортиментовозов лесосек.



Рис. 1. Прямая вывозка древесины

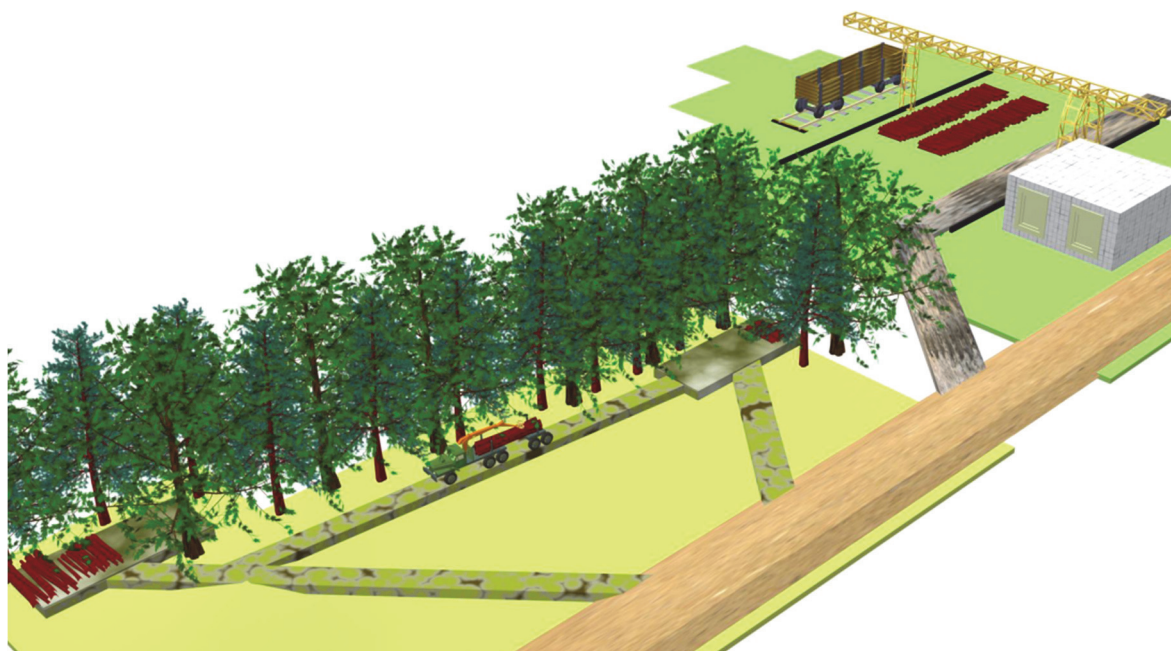


Рис. 2. Одноступенчатая транспортировка древесины

Двухступенчатая транспортировка древесины (рис. 3) – перевозка, при которой на первой ступени сортименты перемещаются на промежуточный склад одним видом лесовозных транспортных средств, а на другой ступени – другим видом. На первой ступени, как правило, используются погрузочно-транспортные машины (форвардеры), а на другой ступени – сортиментовозы.

Применение данной схемы транспортировки древесины сопряжено с решением ряда организационных задач, в том числе и задачи оптимизации очередей на погрузку и разгрузку (снижением времени простоев в ожидании).

С позиций организации перевозочного процесса при транспортировке древесины следует выделить три основные схемы работы подвижного состава по типу связи между местами погрузки

и разгрузки: «*один к одному*», «*один ко многим*» и «*многие ко многим*» [5, 6, 7].

Для схемы организации «**один к одному**» при транспортировке древесины возможен только один вариант организации маршрута перевозки – *маятниковый*. При данном варианте сортименты с одного погрузочного пункта или промежуточной площадки перевозятся одному потребителю.

Для схемы организации «**один ко многим**» возможны два варианта организации маршрутов перевозки: *веерный* и *маятниковый развозочный*. На *веерном* маршруте транспортировки с одного погрузочного пункта или одной промежуточной площадки сортименты последовательно перевозятся на разные разгрузочные площадки (различным потребителям).

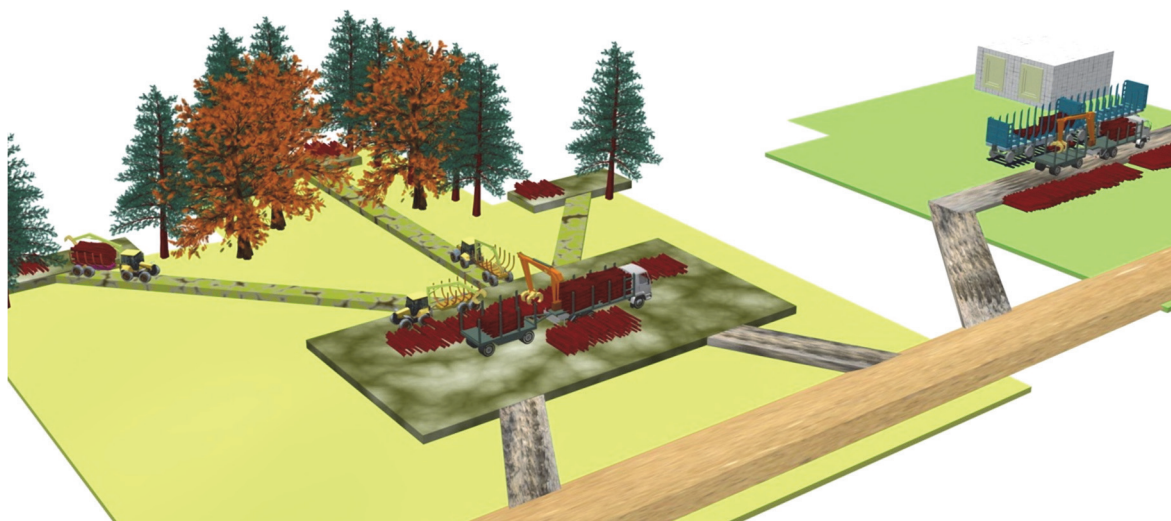


Рис. 3. Одноступенчатая транспортировка древесины потребителям

Для маятникового развозочного маршрута доставка из одного погрузочного пункта или с одной промежуточной площадки осуществляется на несколько разгрузочных площадок (нескольким потребителям) за одну езду.

Для схемы организации «многие ко многим» возможны три варианта организации маршрутов транспортировки: *сборный*, *сборно-развозочный* и *кольцевой*. При работе по *сборному маршруту* сортименты с нескольких погрузочных площадок или промежуточных пунктов поставляются на одну разгрузочную площадку.

При *сборно-развозочном* маршруте сортиментовозы с нескольких погрузочных площадок транспортируют сортименты на несколько разгрузочных площадок за одну езду.

На *кольцевом маршруте* работы сортименты последовательно с разных погрузочных площадок поставляются на разные разгрузочные площадки. Каждая новая езда начинается из нового погрузочного пункта (промежуточной площадки).

Выбор той или иной схемы поставок заготовленной древесины потребителям должен обеспечивать минимум транспортных затрат на поставку всего заявленного объема древесины и выдерживать нормативные сроки поставок. В условиях ограниченного количества лесовозных транспортных средств, что характерно для предприятий лесного комплекса Республики Беларусь, соблюдение указанных требований напрямую связано с определением продолжительности транспортировки (транспортного процесса).

В общем случае во всех отраслях материального производства конечный продукт – это результат определенного производственного цикла [8, 9].

Транспортный процесс (циклический) можно рассматривать двояко – с точки зрения операций с лесовозными транспортными средствами и операций с сортиментами.

Совместное рассмотрение операций с сортиментами и сортиментовозами (рис. 4) показывает, что транспортный процесс является многоэлементным. Основной его элемент – перемещение сортиментов (лесных грузов), все другие элементы подсистемы подчинены ему [9–11]. Обязательные элементы (рис. 4) – погрузка, перемещение и выгрузка сортиментов (элементы операции с грузом).

Совокупность обязательных элементов отвечает за простой сортиментовозов под погрузкой, движение с грузом и простой под разгрузкой (операции с подвижным составом).

Этим элементам операций с сортиментами и сортиментовозами, выполняемых совместно, предшествуют подготовительные элементы операций. К таким операциям относятся накапливание и формирование (подсортировка) сортиментов в запасах (штабелях), их подготовка к

перевозке и с сортиментовозами – подача подвижного состава к месту погрузки.

Если выгрузка груза характеризует окончание цикла перевозок, которое в практике нормирования транспортного процесса на автомобильном транспорте относится ко времени разгрузки [10–12], то цикл доставки сортиментов может еще продолжаться и включать ряд других операций, связанных с сортировкой и перемещением к месту складирования.

Перевозочный процесс, включающий операции с сортиментами, следует рассматривать как составную часть транспортного процесса [12, 13]. В нем находит отражение активная и пассивная роль подвижного состава.

Первая проявляется в подаче подвижного состава под погрузку и движении с грузом.

Вторая связана с простоем транспортного средства под погрузкой и разгрузкой. Это означает, что выполнение перевозок связано с нахождением транспортных средств в различных состояниях. Сюда можно отнести следующие:

- движение без груза и с грузом;
- простои при погрузке и разгрузке;
- простои при догрузке и частичной разгрузке;
- простои в ожидании [2–5].

Немаловажным вопросом является возможность моделировать первый и второй нулевые пробеги сортиментовозов и учитывать продолжительность их технического обслуживания.

Под первым нулевым пробегом следует понимать выезд из места хранения сортиментовоза и его движение без груза до первого места погрузки (подача под погрузку из гаража). Под вторым нулевым пробегом следует понимать движение сортиментовоза без груза с последнего места разгрузки до места его хранения (возврат в гараж). Данные операции в обязательном порядке необходимо моделировать при изучении поведения модели лесозаготовительного производства в разрезе календарного планирования и моделирования работы подвижного состава.

Следует отметить, что в общем случае простои сортиментовозов в ожидании погрузки (разгрузки), при оформлении документов и простоем погрузочно-разгрузочных средств в ожидании прибытия сортиментовозов имеют разную продолжительность и не совпадают во времени.

Таким образом, с учетом выделенных транспортно-технологических схем, а также вариантов организации процесса транспортировки [9, 16, 7] граф возможных состояний сортиментовоза в процессе эксплуатации предлагается сформировать, как показано на рис. 5.

На рис. 5 состояния представлены прямоугольниками, а возможные переходы из состояния в состояние – стрелками, соединяющими соответствующие прямоугольники.

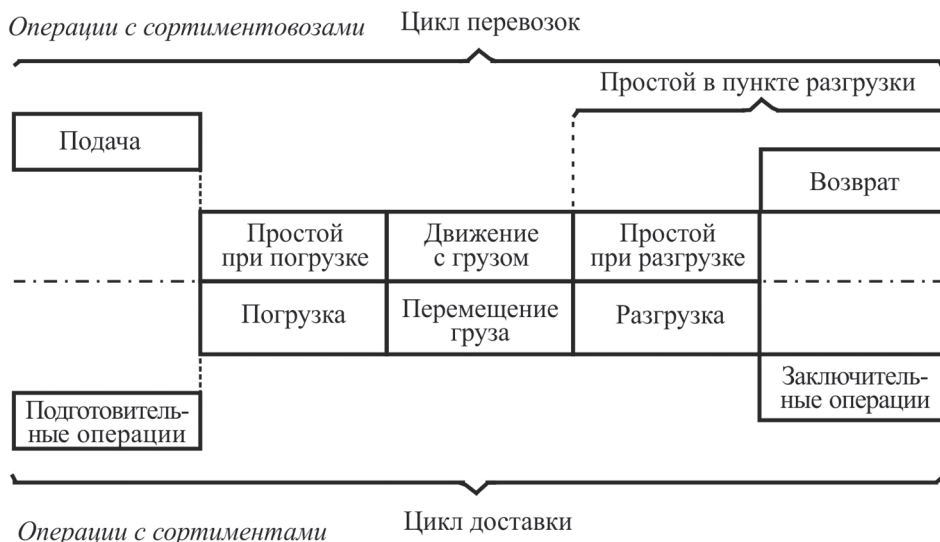


Рис. 4. Представление подсистемы «транспортировка»

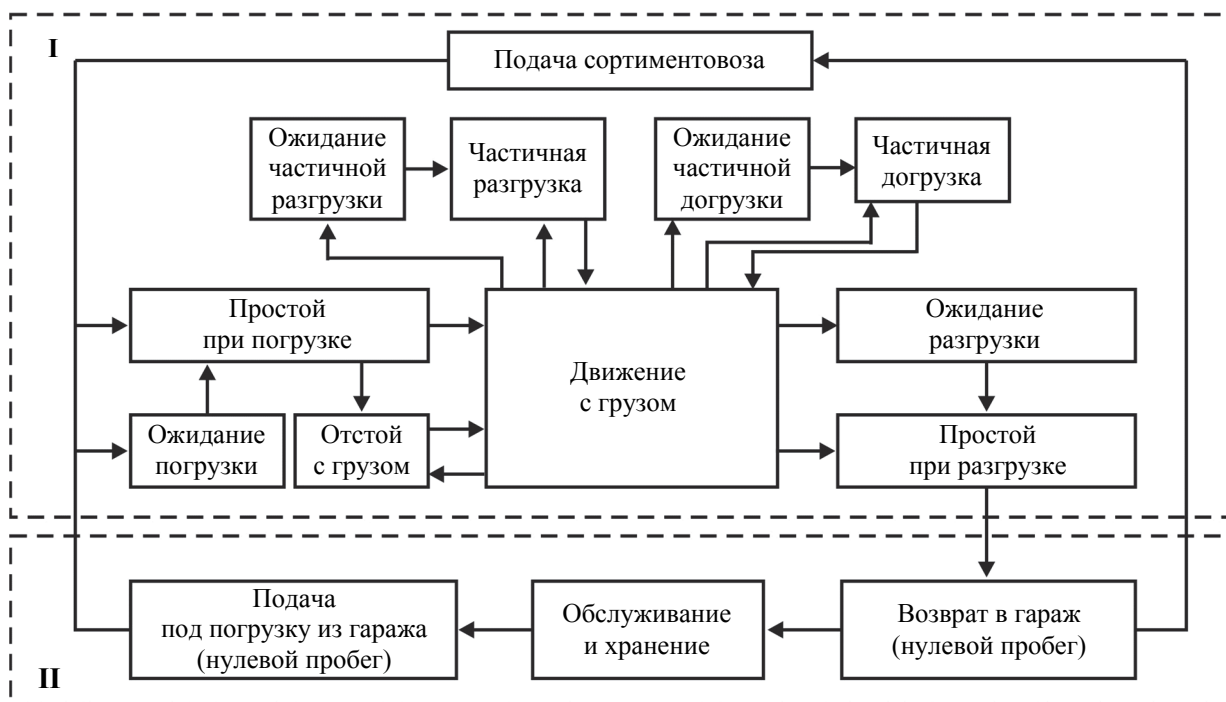


Рис. 5. Граф состояний сортиментовозов:

I – элементы цикла транспортировки; II – дополнительные элементы, относящиеся к суточному (сменному) циклу

Необходимо отметить, что элементы цикла транспортировки на рис. 5 включают возможные состояния работы сортиментовозов в условиях безотказной работы техники.

Для учета состояний технических отказов, повторных маневров, непроизводительных переездов и т. п., вызванных форс-мажорными обстоятельствами, полученный граф состояний следует дополнить вероятностными состояниями непроизводительных простоев для каждого элемента графа цикла транспортировки.

Заключение. Обобщая полученные результаты, на наш взгляд, необходимо выделить следующие основные моменты.

Одной из ключевых подсистем лесозаготовительной системы является транспортировка. Поэтому проектирование оптимального процесса транспортировки сортиментов во многом определяет эффективность лесозаготовительного производства в целом.

С учетом современного развития методик, средств и инструментов для моделирования процессов, состояний и поведения различных систем, для получения качественных моделей и имитационного моделирования необходима качественная формализация моделируемых объектов. В связи с чем полученный граф состояний сортиментовозов, работающих на вывозке

древесины, учитывает возможные варианты их состояний в суточном цикле эксплуатации и позволяет получить более полное описание функционирования подсистемы «транспортировка». Полнота описания состояний и переходов достигается за счет структуризации

всех элементов цикла транспортировки сортиментов.

Таким образом, полученные результаты позволяют корректно формализовать состояния подсистемы «транспортировка» при моделировании лесозаготовительного производства.

Список литературы

1. О совершенствовании деятельности по учету древесины: Указ Президента Респ. Беларусь, 18 февр. 2021 г., № 50 // Национальный правовой Интернет-портал Республики Беларусь. URL: <https://pravo.by/document/?guid=12551&p0=P32100050&p1=1&p5=0> (дата обращения: 05.10.2021).
2. Короленя Р. О., Насковец М. Т. Моделирование процесса поставок круглых лесоматериалов потребителям // Труды БГТУ. 2011. № 2, Лесная и деревообраб. пром-сть. С. 65–68.
3. Korolenia R. O. Forecasting the process transportations of wood to consumers taking into priority of deliveries // Science progress in European countries: new concepts and modern solutions, proceedings of the 1st International scientific conference. Stuttgart, 2013. P. 96–97.
4. Сухопутный транспорт леса / В. И. Алябьев [и др.]. М.: Лесная пром-сть, 1990. 413 с.
5. Гаджинский А. М. Практикум по логистике. М.: ИВЦ Маркетинг, 2001. 180 с.
6. Ванчукевич В. Ф., Седюкевич В. Н., Холупов В. С. Грузовые автомобильные перевозки. Минск: Выш. школа, 1989. 272 с.
7. Ванчукевич В. Ф., Седюкевич В. Н., Холупов В. С. Автомобильные перевозки. Минск: ДизайнПро, 1999. 224 с.
8. Короленя Р. О. Определение функции срочности перевозки древесины по основным схемам организации транспортного процесса // Труды БГТУ. 2012. № 2: Лесная и деревообраб. пром-сть. С. 83–85.
9. Воркут А. И. Грузовые автомобильные перевозки. Киев: Вища школа, 1986. 447 с.
10. Аземша С. А., Скирковский С. В., Сушко С. В. Автомобильные перевозки грузов и пассажиров. Практикум. Гомель: БелГУТ, 2009. 181 с.
11. Михальченко А. А., Парфенов Б. Б., Сафроненко А. А. Основы теории транспортных процессов и систем. Гомель: БелГУТ, 2017. 379 с.
12. Савин В. И. Перевозки грузов автомобильным транспортом. М.: Дело и сервис, 2002. 544 с.
13. Салминен Э. О. Лесопромышленная логистика. СПб.: СПбГЛТУ, 2012. 139 с.
14. Транспортные системы пути и перевозки лесопродукции. В 3 т. Т. 1: Транспортные системы. / Ф. А. Павлов [и др.]. Архангельск: Арханг. гос. техн. ун-т, 2001. 382 с.
15. Транспортные системы, пути и перевозки лесопродукции. В 3 т. Т. 3: Перевозки лесопродукции / Ф. А. Павлов [и др.]. Архангельск: Арханг. гос. техн. ун-т, 2003. 496 с.
16. Короленя Р. О. Результаты исследований временных характеристик движения сортиментовозов // Труды БГТУ. Сер. II, Лесная и деревообраб. пром-сть. 2009. Вып. XVII. С. 67–70.

References

1. On the improvement of timber accounting: Decree of the President of the Republic of Belarus, 18.02.2021, no. 50. Available at: <https://pravo.by/document/?guid=12551&p0=P32100050&p1=1&p5=0> (accessed 05.10.2021) (In Russian).
2. Korolenia R. O., Naskovets M. T. Modeling the process of supplying round timber to consumers. *Trudy BGTU* [Proceedings of BSTU], 2011, no. 2: Forest and Woodworking Industry, pp. 65–68 (In Russian).
3. Korolenia R. O. Forecasting the process transportations of wood to consumers taking into priority of deliveries. *Science progress in European countries: new concepts and modern solutions, proceedings of the 1st International scientific conference*. Stuttgart, 2013, pp. 96–97.
4. Alyab'ev V. I., Grekhov G. F., Il'in B. A., Kuvaldin B. I. *Sukhoputnyy transport lesa* [Forest land transport]. Moscow, Lesnaya prom-st' Publ., 1990. 413 p. (In Russian).
5. Gadzhinskiy A. M. *Praktikum po logistike* [Workshop on logistics]. Moscow, IVTs Marketing Publ., 2001. 180 p. (In Russian).
6. Vanchukevich V. F., Sedyukevich V. N., Holupov V. S. *Gruzovyye avtomobil'nyye perevozki* [Freight transport by road]. Minsk, Vysheyshaya shkola Publ., 1989. 272 p. (In Russian).
7. Vanchukevich V. F., Sedyukevich V. N., Holupov V. S. *Avtomobil'nyye perevozki* [Transportation by road]. Minsk, DizaynPro Publ., 1999. 224 p. (In Russian).
8. Korolenia R. O. Determining the urgency function of timber transport by the main transport process organisation schemes. *Trudy BGTU* [Proceedings of BSTU], 2012. no. 2: Forest and Woodworking Industry, pp. 83–85 (In Russian).

9. Vorkut A. I. *Gruzovyye avtomobil'nyye perevozki* [Freight road transport]. Kiev, Vishcha shkola Publ., 1986. 447 p. (In Russian).
10. Azemsha S. A., Skirkovskiy S. V., Sushko S. V. *Avtomobil'nyye perevozki грузов i passazhirov. Praktikum* [Automobile transportation of goods and passengers. Practicum]. Gomel, BelGUT Publ., 2009. 181 p. (In Russian).
11. Mihal'chenko A. A., Parfenov B. B., Safronenko A. A. *Osnovy teorii transportnykh protsessov i sistem* [Fundamentals of the theory of transport processes and systems]. Gomel, BelGUT Publ., 2017. 379 p. (In Russian).
12. Savin V. I. *Perevozki грузов avtomobil'nyim transportom* [Transportation of Goods by Road: A Reference Guide]. Moscow, Delo i servis Publ., 2002. 544 p. (In Russian).
13. Salminen E. O. *Lesopromyshlennaya logistika* [Timber logistics]. St. Petersburg, SPbGLTU Publ., 2012. 139 p. (In Russian).
14. Pavlov F. A., Kalinin G. A., Sokolov M. O., Pavlov E. G., Carev E. G. *Transportnyye sistemy puti i perevozki lesoproductsii T. 1: Perevozki lesoproductsii* [Transport systems of the track and transportation of timber products. Vol. 1: Transport systems]. Arkhangelsk, Arkhang. gos. tekhn. un-t Publ., 2001. 382 p. (In Russian).
15. Pavlov F. A., Molnar Ya. F., Pavlova N. F., Sokolov M. O., Carev E. G. *Transportnyye sistemy puti i perevozki lesoproductsii. T. 3: Transportnyye sistemy* [Transport systems of the track and transportation of timber products. Vol. 3: Transportation of timber products]. Arkhangelsk, Arkhang. gos. tekhn. un-t Publ., 2003. 496 p. (In Russian).
16. Korolenia R. O. The results of research on the temporal characteristics of the movement of log trucks. *Trudy BGTU* [Proceedings of BSTU], 2009. no. 2: Forest and Woodworking Industry, pp. 67–70 (In Russian).

Информация об авторе

Короленя Руслан Олегович – кандидат технических наук, доцент кафедры информатики и веб-дизайна. Белорусский государственный технологический университет (220006, г. Минск, ул. Свердлова, 13а, Республика Беларусь). E-mail: korolenia@belstu.by

Information about the author

Korolenia Ruslan Olegovich – PhD (Engineering), Assistant Professor, the Department of Informatics and Web-Design. Belarusian State Technological University (13a, Sverdlova str., 220006, Minsk, Republic of Belarus). E-mail: korolenia@belstu.by

Поступила 15.10.2021