

Леса России и хозяйство в них. 2024. № 1 (88). С. 151–158.

Forests of Russia and economy in them. 2024. № 1 (88). P. 151–158.

Научная статья

УДК 004.045

DOI: 10.51318/FRET.2023.88.1.015

ПРОЕКТИРОВАНИЕ ИМИТАЦИОННОЙ МОДЕЛИ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО ПРОЦЕССА ОДНОСТАДИЙНОЙ СОРТИРОВКИ ПИЛОВОЧНИКА НА ПРОДОЛЬНОМ ТРАНСПОРТЕРЕ

Евгения Васильевна Анянова¹, Александр Алексеевич Шмаков²

^{1,2} Уральский государственный лесотехнический университет, Екатеринбург, Россия

¹ anyanovagv@m.usfeu.ru, <http://orcid.org/0009-0004-4267-975C>

² alex-shma@yandex.ru

Аннотация. Статья посвящена созданию имитационной модели технологического процесса, обеспечивающей анализ всевозможных сценариев одностадийной сортировки пиловочника, а в результате более качественную подготовку пиловочника к раскрою. На основании изученной литературы о лесопильном производстве, технологическом процессе, сортировке лесоматериала рассмотрены и оценены критерии сортировки и подготовки бревен к дальнейшей распиловке, на основании которых определяются параметры для разработки имитационной модели, а в дальнейшем возможность рационального и комплексного использования сырья.

Цель работы – повышение эффективности использования пиловочного сырья за счет качественной сортировки бревен, а в дальнейшем его раскроя.

На лесных складах лесозаготовительных предприятий в первую очередь необходимо рассортировать круглые лесоматериалы по назначению, т.е. выбрать сырье, которое предназначается непосредственно для лесопильного производства. В статье обоснован каждый из критериев сортировки сырья, имеющий определенное значение для производства: а именно необходимость сортировки пиловочника по породе, диаметру, качеству.

Рассмотрена и представлена схема сортировки на автоматизированных линиях и основные технологические параметры сортировочных транспортеров. Для создания имитационной модели была выбрана среда моделирования Anylogic, так как она интуитивно понятна, имеет инструментарий, нужный для выполнения задачи.

Разработана в среде моделирования визуальная часть имитационной модели транспортера, который может сортировать пиловочник по трем категориям. Спроектирована схема логической цепи продольного транспортера. Разработана имитационная 3D-модель технологического процесса одностадийной сортировки, которая позволяет запускать компиляцию модели и увидеть готовый результат одностадийной сортировки пиловочника.

Ключевые слова: логическая цепь, имитационная модель, производственный процесс

Для цитирования: Анянова Е. В., Шмаков А. А. Проектирование имитационной модели технологического процесса одностадийной сортировки пиловочника на продольном транспортере // Леса России и хозяйство в них. 2024. № 1 (88). С. 151–158.

Original article

SIMULATION MODEL OF THE TECHNOLOGICAL PROCESS OF SINGLE-STAGE SORTING OF A SAWMILL ON A LONGITUDINAL CONVEYOR

Evgeniya V. Anyanova¹, Alexander A. Shmakov²

^{1,2} Ural State Forest Engineering University, Yekaterinburg, Russia

¹ anyanovagv@m.usfeu.ru, <http://orcid.org/0009-0004-4267-975C>

² alex-shma@yandex.ru, <http://orcid.org/>

Abstract. The article is devoted to the creation of a simulation model of the technological process that provides analysis of all possible scenarios of single-stage sorting of the sawmill, and as a result, better preparation of the sawmill for cutting. On the basis of the studied literature on sawmilling production, the technological process of sorting timber, the sorting criteria for preparing logs for further sawing are considered and evaluated, on the basis of which the parameters for the development of a simulation model are determined, and in the future the possibility of rational and integrated use of raw materials.

The purpose of the work is to increase the efficiency of using sawn raw materials due to high-quality sorting of logs, and in the future I will open it.

In the forest warehouses of logging enterprises, first of all, it is necessary to sort round timber according to its intended purpose, i.e. to choose raw materials that are intended directly for sawmill production. The article substantiates each of the criteria for sorting raw materials, which has a certain value for production. Namely, the need to sort the sawmill by breed, diameter, quality.

The sorting scheme on automated lines and the main technological parameters of sorting conveyors are considered and presented. To create a simulation model, the Anylogic modeling environment was chosen, as it is intuitive, has the tools necessary to perform the task.

The visual part of the conveyor simulation model has been developed in the simulation environment, which can sort the sawmill into three categories. The scheme of the logic circuit of the longitudinal conveyor is designed. A 3D-simulation model of the technological process of single-stage sorting has been developed, which allows you to run the compilation of the model and see the finished result of the single-stage sorting of the sawmill.

Keywords: logic circuit, simulation model, production process

For citation: Anyanova E. V., Shmakov A. A. Simulation model of the technological process of single-stage sorting of a sawmill on a longitudinal conveyor // Forests of Russia and economy in them. 2024. № 1 (88). P. 151–158.

Введение

Технологический процесс одностадийной сортировки пиловочника предусматривает применение высокопроизводительного оборудования, обеспечивающего рациональный раскрой сырья, высокое качество продукции и безопасные условия (Пастушени, 2012). Для лесопильного производства наибольшее значение имеет сортировка пиловочных бревен, целью которой является получение

в конечном итоге высокого выхода пиломатериалов заданных размеров и качества (Янушкевич, 2010). На лесных складах лесозаготовительных предприятий в первую очередь необходимо рассортировать круглые лесоматериалы по назначению, т. е. выбрать сырье, которое предназначается непосредственно для лесопильного производства. Затем для обеспечения рационального раскроя его на применяемом головном оборудовании

пиловочные бревна сортируются по породам, диаметрам, качеству (Азаренок и др., 2009). Эффективность работы лесопильного производства во многом зависит от характеристик пиловочного сырья, технологии его подготовки к раскрою на пиломатериалы (Огурцов и др., 2013).

Имитационная модель технологического процесса позволит в программной среде оценить и наглядно увидеть, как происходит сортировка пиловочника и проанализировать возможные сценарии производства «что если». Подобные цифровые модели позволяют проводить эксперименты, прорабатывать сценарии (Агапов, 2015).

Цель, задачи и методика исследования

Цель работы – повышение эффективности использования пиловочного сырья за счет качественной сортировки бревен, а в дальнейшем его раскроя.

Для реализации цели поставлены следующие задачи.

1. Изучить литературу о лесопильном производстве, технологическом процессе сортировке лесоматериала.

2. Обосновать целесообразность выбранных признаков сортировки сырья, которые имеют определенные значения для производства.

3. Определить параметры, управляя которыми можно обеспечить правильную сортировку пиловочных бревен.

4. Выбрать программную среду для проектирования и создания имитационной модели.

От правильной организации технологических процессов на складе сырья зависит эффективность всего лесопильного производства (Пастушени, 2012).

На лесных складах лесозаготовительных предприятий в первую очередь необходимо рассортировать круглые лесоматериалы по назначению, т.е. выбрать сырье, которое предназначается непосредственно для лесопильного производства. Затем для обеспечения рационального раскроя его на применяемом головном оборудовании пиловочные бревна сортируются по породам, диаметрам, качеству (Азаренок, 2009). Каждый из признаков

сортировки сырья имеет определенное значение для производства.

Целесообразность сортировки пиловочных бревен по породам обуславливается следующими соображениями:

1) технология раскроя и режимы распиловки пиловочных бревен хвойных и лиственных пород различны;

2) пиломатериалы несмешанных пород ценятся выше;

3) производительность оборудования при распиловке бревен одной породы выше, чем при распиловке смешанных пород;

4) степень использования технологической щепы и коры часто определяется породной чистотой бревен;

5) при распиловке на потоке бревен одной породы значительно упрощается операция сортировки пиломатериалов, так как отпадает необходимость разделения продукции по породам.

Необходимость сортировки пиловочника по диаметрам определяется условиями раскроя бревен по определенным поставкам для получения нормативного выхода пиломатериалов требуемых размеров. Допускается сортировать бревна с точностью ± 2 см при подаче их в один постав для распиловки, если их встречаемость в общем объеме сырья более 1 %. Снижение выхода при распиловке бревен средних диаметров может быть от 4 до 10 %, а у крупных бревен – от 1 до 3 %. Кроме того, распиловка непоставных бревен снижает производительность лесопильных рам до 5 % из-за несоблюдения режимов пиления (Габова, Курдышева, 2020).

На рамных лесопильных потоках хвойный пиловочник обычно сортируют на следующие группы диаметров: 1 – 14–16 см; 2 – 18–20 см; 3 – 22–24 см; 4 – 26–30 см; 5 – 32–38 см и 6 – 40 см и выше. На крупных лесозаводах число групп сортировки по группам диаметров может быть 10 и более. При обработке сырья на агрегатном оборудовании требуемая точность сортировки по диаметрам составляет ± 1 см. При раскросе пиловочника на однопильных станках точность сортировки по диаметрам не регламентируется, так как в этом случае она оказывает меньшее

влияние на выход пилопродукции. Неточная сортировка по диаметрам вызывает рассеивание ширин досок, что затрудняет операции по обрезке и сортировке пилопродукции (Азаренок и др., 2009, Янушкевич, 2010).

Сортировка по длинам необходима для равномерной работы оборудования и увеличения производительности труда.

Целесообразность сортировки сырья по качеству определяется влиянием отдельных пороков, таких как ядровая и заболонная гниль, чрезмерная сучковатость, трещины и изменение формы ствола (кривизна, закомелистость), на выход пиломатериалов и режимы распиловки. Для снижения отрицательного влияния этих пороков желательнее накапливать группы бревен с одинаковыми видами пороков и в последующем осуществлять их специальную раскрой.

Распиловка чрезмерно сучковатого сырья снижает скорости подачи, что уменьшает производительность оборудования, поэтому эту группу сырья целесообразно выделять для отдельной переработки.

Кривизну и закомелистость бревен необходимо перед раскроем уменьшить операцией торцовки, при этом длина оставшихся отрезков должна соответствовать техническим требованиям бревнопильного оборудования. Торцовка может быть проведена бензопилами или электрическими цепными пилами или же на стационарных раскряжевочных установках.

Сортировка пиловочника с дробностью, необходимой для лесопиления, может осуществляться в одну, две или несколько стадий с использованием для этого различного оборудования. На большинстве предприятий малой и средней мощности, куда пиловочник доставляется железнодорожным или автомобильным транспортом, проводится одностадийная сухопутная сортировка на обычных продольных лесотранспортерах или на специальных автоматизированных сортировочных линиях.

В условиях лесных складов лесозаготовительных предприятий при поступлении хлыстов сортировка пиловочника обычно организуется на тех же продольных лесотранспортерах, на которых проводится сортировка и других круглых лесоматериалов. При механизированной раскряжке хлыстов хвойных и лиственных пород электропилой ЭПЧ-3 или на полуавтоматических линиях на продольных сортировочных транспортерах при одностадийной сортировке пиловочника должно быть предусмотрено 5–6 лесонакопителей для хвойного пиловочника и 2–3 для лиственного.

Простейшим сортировочным устройством может служить продольный цепной транспортер типа Б22У-3. Специализированным оборудованием для сухопутной сортировки являются автоматизированные линии ЛСБ-2, БС-60-3, ЛТ-86Б и ЛТ-182, ЛТ-182-01 и др. (Меньшиков, Воробьева, 2010; Суровцева и др., 2014).

Принципиальные схемы сортировки на автоматизированных линиях приведены на рис. 1,

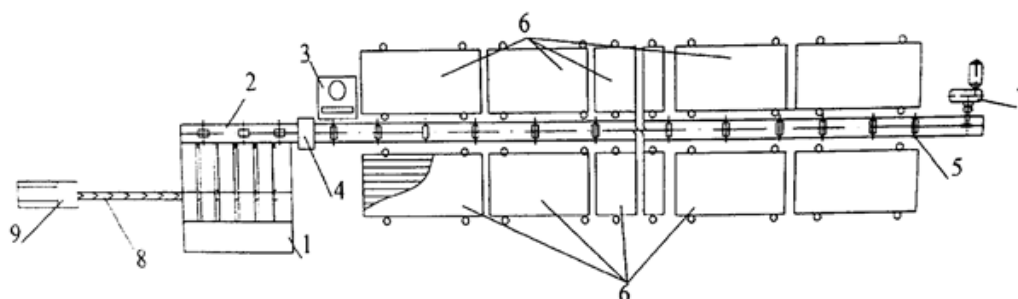


Рис. 1. Принципиальная схема автоматизированных сортировочных линий на базе транспортера ЛТ-182-01:

1 – питатель; 2 – приемный транспортер; 3 – пульт управления; 4 – измеритель размеров бревен;
5 – сортировочный транспортер; 6 – лесонакопители; 7 – приводная станция;
8 – транспортер для уборки отходов; 9 – скиповый погрузчик

Fig. 1. Schematic diagram of automated sorting lines based on the transporter LT-182-01:
1 – feeder; 2 – receiving conveyor; 3 – remote control; 4 – log size meter; 5 – sorting conveyor;
6 – loggin sites; 7 – drive station; 8 – waste conveyor; 9 – skip loader

а основные технологические параметры сортировочных транспортеров – в таблице.

Бревна на сортировочное устройство должны поступать вершиной вперед, поэтому в технологических линиях складов при необходимости

устанавливаются разворотные устройства. Эти устройства используются и при подаче бревен в лесопильный цех вершинным или комлевым торцом вперед (Габова, Курдышева, 2020).

Основные технологические параметры автоматизированных сортировочных транспортеров
The main technological parameters of automated sorting conveyors

Параметры Parameters	Марка транспортера The brand of the conveyor				
	ЛТ-86Б	ЛТ-182	ЛТ-182-01	ЛТ-173	ЛСБ-2
Размер сортируемых бревен: The size of the logs to be sorted: диаметр, см diameter, cm длина, м length, m	До 100	6–60	6–60	6–60	12–66
Число лесонакопителей, шт. The number of forest accumulators, pcs.	13	16	24	11	15
Скорость движения тягового органа, м/с The speed of movement of the traction body, m/s	0,8	1,2	1,2	1,2	0,8
Тип тягового органа Type of traction organ	Цепь разборная Collapsible chain			Лента Tape	Цепь круглозвенная Round-link chain
Тип сбрасывателя Type of dumper	Гравитационный Gravity			Электромеханический Electromechanical	
Направление сброски Discharge direction	Одностороннее Onesided	Двухстороннее Two-way		Одностороннее Onesided	
Производительность, бревен/мин Productivity, logs/min	7	11	11	8	11
Длина транспортера, м Conveyor length, m	130	75	118	124	161,3
Установленная мощность, кВт Installed capacity, kW	37	31	36,5	18	41

Результаты исследования

Для создания имитационной модели была выбрана среда моделирования Anylogic, так как она наиболее понятна в освоении, имеет инструментарий, нужный для выполнения задачи.

Любая модель состоит из различных элементов со своим функционалом, для создания имитационной модели сортировки лучше всего подойдут элементы из раздела «Библиотека производственных систем».

Для создания визуальной части модели воспользуемся элементами из раздела «Разметка пространства»:

- конвейер – элемент разметки конвейерной ленты, создает виртуальную модель конвейера в пространстве, а также путь, по которому проходит груз;
- точка конвейера – при пересечении груза выполняет определенное действие мгновенно;
- трансфер – разделяет поток груза с конвейера на несколько направлений;

- поворотный стол – разворачивает груз на 180°;
- точечный узел – задать точку, например для указания места появления груза.

В итоге получается простая модель продольного транспортера, который может сортировать пиловочник на три категории (рис. 2). Она состоит из «точечного узла», в котором появляется и хранится груз. Далее груз перекладывается на

конвейер, по которому он продвигается к поворотному столу, на котором при необходимости можно развернуть груз. После груз проходит через точку конвейера, что символически обозначает измерение параметров груза. И наконец-то груз доходит до трансфера, который и сортирует груз в различные лесонакопители, представленные в виде точечных узлов.

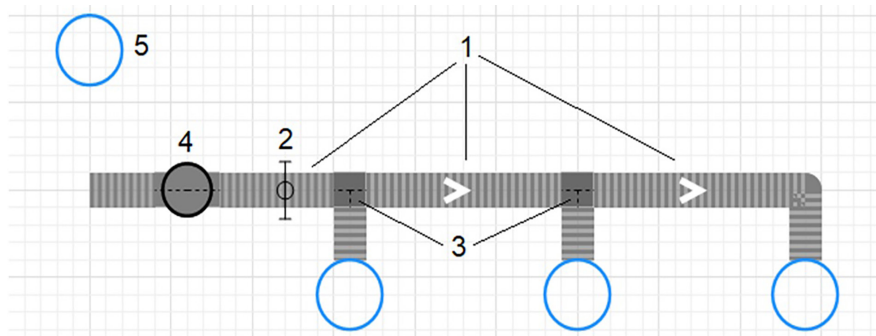


Рис. 2. Визуальная часть имитационной модели транспортера:

1 – конвейер; 2 – точка конвейера; 3 – трансфер; 4 – поворотный стол; 5 – точечный узел

Fig. 2. Visual part of the conveyor simulation model:

1 – conveyor; 2 – conveyor point; 3 – transfer; 4 – turntable; 5 – point assembly

Для симуляции процесса сортировки выстраиваем логическую цепочку из логических блоков из библиотек «Блоки» и «Библиотека моделирования процессов».

В первой библиотеке находятся логические блоки для моделирования производственных процессов, а во второй – блоки общей направленности. Основные используемые логические блоки: Source – создает агентов; Sink – удаляет агентов; Select Output – равносильно логическо-

му «ЕСЛИ»; Queue – создает очередь из агентов, можно назвать буфером цепи; Convey – симуляция конвейера, можно указать в свойствах скорость перемещение агентов и т. д., а также указать маршрут, выбрав один из участков конвейерной ленты, как на рис. 2; Conveyor Enter – помещает агента на указанный конвейер; Conveyor Exit – убирает агента с конвейера.

Используя эти блоки, выстраиваем логическую цепь (рис. 3).

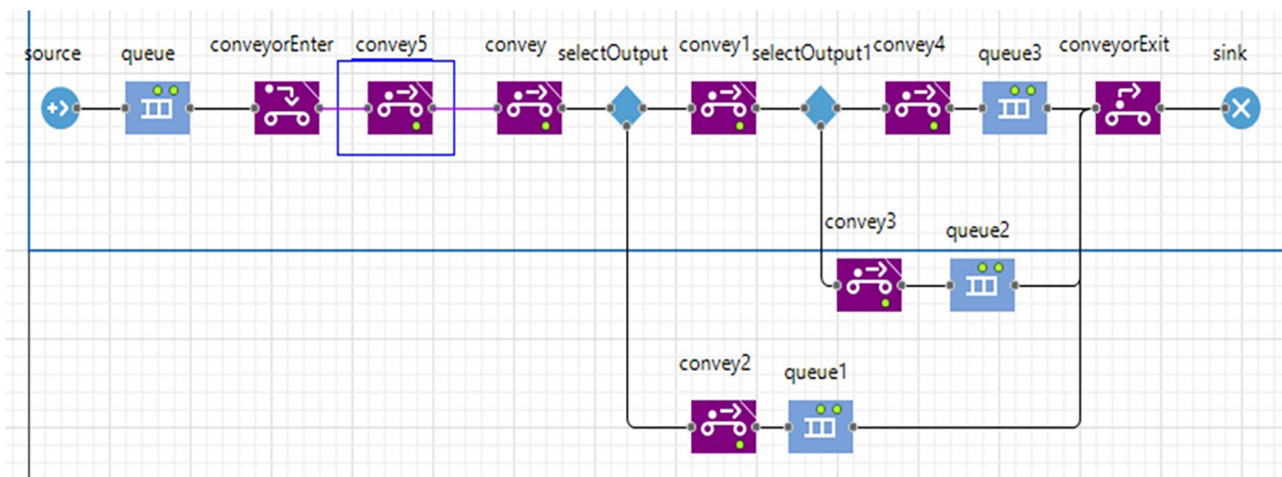


Рис. 3. Схема логической цепи продольного транспортера

Fig. 3. Diagram of the logic circuit of the longitudinal conveyor

Все приготовления закончены, осталось запустить компиляцию модели и увидеть готовый результат. С помощью 3D-окна можно увидеть модель в трехмерном пространстве (рис. 4).

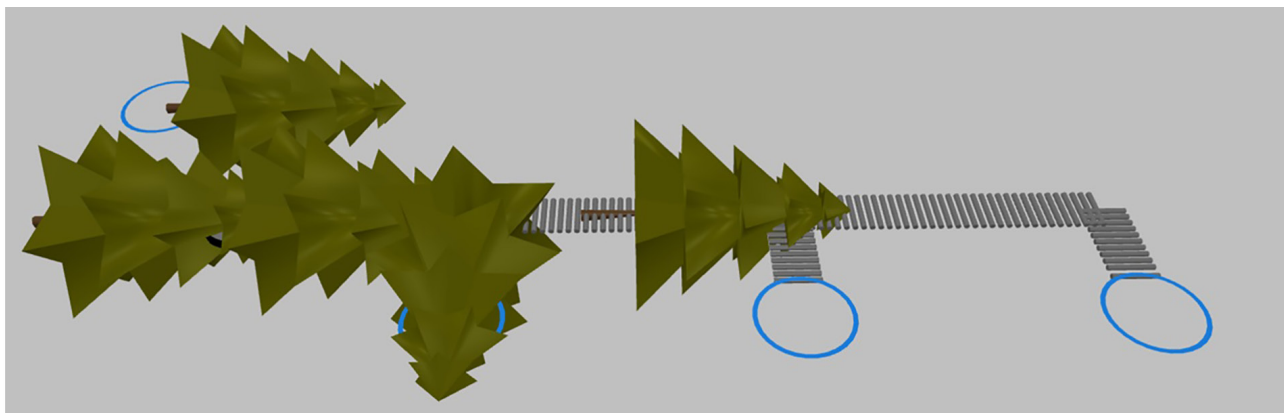


Рис. 4. Имитационная 3D-модель технологического процесса одностадийной сортировки
Fig. 4. Simulation 3D-model of the technological process of single-stage sorting

Выводы

Предлагаемые решения позволили разработать имитационную модель технологического процесса одностадийной сортировки при поставке сырья разных пород, диаметра, качества. Принятые решения позволяют:

- 1) комплексно механизировать технологические процессы и транспортные операции;
- 2) обеспечить на складе сырья необходимую подготовку бревен к раскрою с учетом рациональ-

ной сортировки бревен по породе и диаметру, их качеству и назначению.

В результате разработанные решения могут использоваться в учебном процессе и при проектировании и реконструкции лесных складов сырья. Полученная в результате этого информация необходима для быстрого принятия верных решений на ранних стадиях планирования лесопильного производства.

Список источников

- Агапов А. И. Системный подход составления математической модели задачи оптимизации брусово-развального способа раскроя пиловочника // Лесотехнические университеты в реализации концепции возрождения инженерного образования: социально-экономические и экологические проблемы лесного комплекса : материалы X Междунар. науч.-техн. конференции. Екатеринбург, 2015. С. 92–96.
- Азаренок В. А., Кошелева Н. А., Меньшиков Б. Е. Лесопильно-деревообрабатывающие производства лесозаготовительных предприятий : учеб. пособие. Екатеринбург : Урал. гос. лесотехн. ун-т, 2009. 606 с.
- Габова Н. В., Курдышева Е. В. Влияние сортировки круглых лесоматериалов по диаметру на эффективность производства оцилиндрованных деталей // Научное творчество молодежи – лесному комплексу России : матер. XVI Всерос. науч.-техн. конф. студ. и аспирантов. Екатеринбург, 2020. С. 14–16.
- Меньшиков Б. Е., Воробьева Е. В. Технологический процесс нижнего лесопромышленного склада : метод. указ. к выполнению курсового и дипломн. проектов для студ. очной и заочн. форм обучения, направление 656300, специальность 250401. Екатеринбург : УГЛТУ, 2010. 44 с.
- Огурцов В. В., Карагин Е. В., Матвеева И. С. Зависимость объемного выхода пиломатериалов от дробности сортировки бревен по толщине // Хвойные бореальные зоны. Красноярск, 2013. XXXI, № 5–6. С. 71–75.
- Пастушени В. И. Разработка технологического процесса на складе при доставке сырья разных пород в хлыстах // Лесная и деревообрабатывающая промышленность : тр. БГТУ. Минск, 2012. С. 182–185.

Суровцева Л. С., Старкова А. В., Гудкова К. А. Планирование раскроя пиловочного сырья: нормативно-справочные материалы : учеб. пособие. 2-е изд., испр. Архангельск : Северный (Арктический) федеральный университет (САФУ), 2014. 183 с.

Янушкевич А. А. Технология лесопильного производства : учебник для студ. вузов по спец. «Технология деревообрабатывающих производств», «Машины и оборудование лесного комплекса», «Профессиональное обучение (деревообработка)». Минск : БГТУ, 2010. 328 с.

References

Agapov A. I. A systematic approach to compiling a mathematical model of the optimization problem of the timber-camber cutting method of the sawmill // Forestry engineering universities in the implementation of the concept of reviving engineering education: socio-economic and environmental problems of the forest complex : materials of the X International Scientific and Technical Conferences. Yekaterinburg, 2015. P. 92–96. (In Russ.)

Azarenok V. A., Kosheleva N. A., Menshikov B. E. Sawmill and woodworking production of logging enterprises : textbook. manual. Yekaterinburg : Ural. gos. lesotechn. un-t, 2009. 606 p.

Menshikov B. E., Vorobyova E. V. In the technological process of the lower timber warehouse: method. instructions for completing the course and diploma. projects for full-time and part-time students. forms of education, direction 656300, specialty 250401. Yekaterinburg : UGLTU, 2010. 44 p.

Gabova N. V., Kurdysheva E. V. Influence of sorting round timber by diameter on the efficiency of production of rounded parts // Scientific creativity of youth – the forest complex of Russia : Materials of the XVI All-Russian Scientific and Technical Conference of Students and postgraduates. Yekaterinburg, 2020. P. 14–16. (In Russ.)

Ogurtsov V. V., Karagin E. V., Matveeva I. S. Dependence of the volume yield of lumber on the fractional sorting of logs by thickness // Coniferous boreal zones. Krasnoyarsk, 2013. XXXI, № 5–6. P. 71–75. (In Russ.)

Pastusheni V. I. Technological process development in a warehouse for the delivery of raw materials of different breeds in whips // Forestry and woodworking industry. Minsk, 2012. P. 182–185. (In Russ.)

Surovtseva L. S., Starkova A. V., Gudkova K. A. Planning the cutting of sawn raw materials: normative reference materials : textbook. 2nd ed., ispr. Arkhangelsk : Northern (Arctic) Federal University (SAFU), 2014. 183 p.

Yanushkevich A. A. Technology of sawmill production : textbook for university students on spec. “Technology of woodworking industries”, “Machinery and equipment of the forest complex”, “Vocational training (woodworking)”. Minsk : BSTU, 2010. 328 p.

Информация об авторах

Е. В. Анянова – кандидат сельскохозяйственных наук, доцент;

А. А. Шмаков – студент.

Information about the authors

E. V. Anyanova – Candidate of Agricultural Sciences, Associate Professor;

A. A. Shmakov – student.

Статья поступила в редакцию 08.10.2023; принята к публикации 02.12.2023.

The article was submitted 08.10.2023; accepted for publication 02.12.2023.