

РАЗРАБОТКА МАТЕМАТИЧЕСКОЙ МОДЕЛИ ЛЕСООБРАБАТЫВАЮЩЕГО ПРОЦЕССА ПРИ ГИБКОЙ КОМПОНОВКЕ СТАНКОВ В ТЕХНОЛОГИЧЕСКОМ ПОТОКЕ

А.А. ШАДРИН, *проф. МГУЛ, д-р техн. наук*⁽¹⁾,
А.С. ВАСИЛЬЕВ *доц. ПетрГУ, канд. тех. наук*⁽²⁾,
Н.Н. КОСТЮКЕВИЧ, *инж. МГУЛ*⁽¹⁾,
С.А. КАТКОВ, *асп. МГУЛ*⁽¹⁾

shadrin@mgul.ac.ru, alvas@mail.petrstu.ru, k_mikola@mail.ru, katkovsa@ya.ru

⁽¹⁾ФГБОУ ВО «Московский государственный университет леса»
141005, Московская обл., г. Мытищи-5, ул. 1-я Институтская, д. 1

⁽²⁾ФГБОУ ВО «Петрозаводский государственный университет», 185910, Россия, Республика Карелия, г. Петрозаводск, пр. Ленина, 33.

Гибкие лесоперерабатывающие процессы цехов в условиях лесозаготовительного предприятия должны учитывать природно-производственные условия функционирования лесозаготовительного производства, которые характеризуются таксационными показателями эксплуатируемых лесонасаждений, объемами лесозаготовок, выходом отдельных видов сортиментов на нижнем лесопромышленном складе, применяемыми системами машин и рядом других факторов. Для формализации описания гибкого лесоперерабатывающего процесса (ГЛП) его представляют в виде системы, функционирующей как некое множество агрегатов, подчиненных решению общей задачи. При передаче пачек заготовок между станками или группой станков появляется возможность организации производственного процесса по схеме «склад заготовок–станок–склад заготовок», что при обработке лесоматериалов различного назначения обеспечивает непрерывное управление ходом производства и оперативное изменение маршрута обработки заготовок в цехе в зависимости от изменения состава обрабатываемого древесного сырья. Применительно к лесоперерабатывающим цехам заслуживают внимания подвесные и напольные транспортные средства, имеющие возможность доставлять груз в любую точку площади цеха. Применение мостового крана позволяет размещать станки в любой последовательности и обеспечивает их независимую работу друг от друга и наиболее рациональное использование производственных площадей. В цехах могут также эффективно использоваться автопогрузчики для транспортировки пачек лесоматериалов при наличии достаточных площадей для обустройства проездов. Приводится укрупненная блок-схема имитационной модели лесоперерабатывающего цеха. Разработанная имитационная модель пригодна для исследования гибких лесоперерабатывающих процессов цехов с различным составом применяемого оборудования, параметрами обрабатываемых лесоматериалов и параметрами перемещаемых пачек лесоматериалов.

Ключевые слова: гибкие лесоперерабатывающие процессы, имитационная модель.

Гибкие лесоперерабатывающие процессы цехов в условиях лесопромышленного предприятия должны учитывать природно-производственные условия функционирования лесозаготовительного производства, которые характеризуются таксационными показателями эксплуатируемых лесонасаждений, объемами лесозаготовок, выходом отдельных видов сортиментов на нижнем лесопромышленном складе, применяемыми системами машин и рядом других факторов.

Кроме того, организация гибкого лесоперерабатывающего производства в настоящее время в значительной степени зависит от спроса на рынке лесопроизводства.

Исследованиями [1, 3] установлено, что лесозаготовительному производству в целом и лесоперерабатывающему производству

в частности свойственны систематические и случайные причины неравномерности.

Сгладить отрицательное влияние этих неравномерностей на загрузку технологических линий лесоперерабатывающих цехов в условиях лесозаготовительных предприятий можно путем создания цехов с гибким производственным процессом, в которых можно обрабатывать различные виды древесного сырья, в общих потоках на различную лесопроизводство.

Для формализации описания и последующего моделирования гибкого лесоперерабатывающего процесса (ГЛП) его представляют в виде системы, функционирующей как некое множество агрегатов, подчиненных решению общей задачи. При формализации ГЛП необходимо предварительное изучение структуры составляющих его агрегатов, ре-

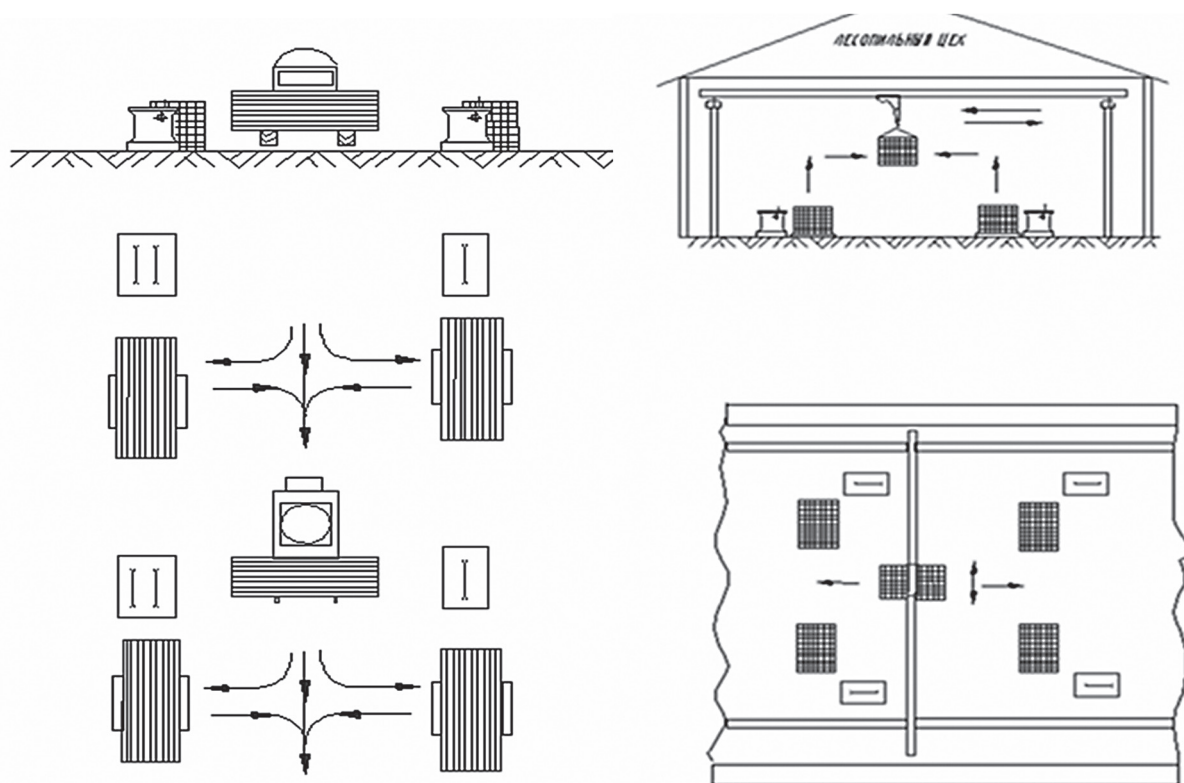


Рис. 1. Схема транспортировки пачек в цехе при помощи автопогрузчика и кран-балки
Fig. 1. Scheme of the transport packets in the shop with the help of a forklift and crane

результатом чего является описание процесса, позволяющее определить количественные характеристики агрегатов, степень и характер взаимодействия между ними, место и значение каждого агрегата в лесообрабатывающем процессе [4]. При этом необходимо выделить рассматриваемый ГЛП как элемент некоторой системы, чтобы исследовать функционирование ГЛП как целого, выделить в ГЛП составляющие его элементы и формально их описать, изучить взаимодействие элементов ГЛП.

При всем разнообразии ГЛП в них можно выявить общие структурные признаки [4]:

- любой ГЛП состоит из конечного множества технологических машин, которые представляют структурные элементы системы;
- ГЛП включает конечное множество структурных связей между агрегатами и внешними системами. Эти структурные связи обеспечивают функционирование ГЛП;
- каждый агрегат имеет вход и выход, служащие соответственно для приема и вы-

дачи заготовок. Моменты поступления заготовок на агрегат является случайной величиной;

- агрегаты ГЛП функционируют не изолированно друг от друга, а во взаимодействии, при котором свойства одного агрегата зависят от других;
- все технологические операции являются конечными по времени, а продолжительности технологических операций на различных станках являются случайными величинами;
- маршруты обработки заготовок есть множество возможных маршрутов.

Таким образом, структура ГЛП рассматривается как определенный закон взаимосвязи агрегатов и отражает детальное описание связей между системными компонентами.

Технологические потоки по обработке древесного сырья в цехах с ГЛП могут быть сформированы в технологические линии с поштучной передачей заготовок от станка к станку в процессе обработки или по принципу передачи пачек заготовок между станками или

группой станков. В последних случаях появляется возможность организации производственного процесса по схеме «склад–станок–склад», что при обработке лесоматериалов различного назначения обеспечивает непрерывное управление ходом производства. При этом можно оперативно менять маршрут обработки заготовок в цехе в зависимости от изменения состава обрабатываемого древесного сырья.

Применительно к лесообрабатывающим цехам заслуживают внимания подвесные и напольные транспортные средства [5], имеющие возможность доставлять груз в любую точку площади цеха. Такому условию отвечает, например, мостовой кран, снабженный автоматизированным захватным устройством. Это позволит размещать станки в любой последовательности, обеспечит их практически независимую работу друг от друга и наиболее рациональное использование производственных площадей. В цехах могут также эффективно использоваться автопогрузчики для транспортировки пачек лесоматериалов при наличии достаточных площадей для обустройства проездов (рис.1).

Структура лесообрабатывающих потоков в цехах с гибким технологическим процессом на нижних лесопромышленных складах, как правило, является сложной, разветвленной. Кроме того, реальные потоки лесоматериалов в таких цехах не являются простейшими, что обуславливает необходимость учитывать стохастичность поступления сырья в цех и стохастичность его обработки в цехе. Поэтому исследование гибких технологических процессов лесообрабатывающих цехов проводится методом статистического моделирования [6]. Имитационное моделирование производственной системы проводят в случаях, когда применение традиционных аналитических методов из-за сложности анализируемой системы невозможно вообще или же модели не удовлетворяют требуемой точности. Такие сложные системы, как правило, характеризуются нелинейностью и разнообразием связей между параметрами, стохастичностью выполнения операций, изменением состояния системы во времени, ограничениями разных типов [3].

Необходимость применения имитационного моделирования в исследовании гибких лесообрабатывающих процессов цехов лесозаготовительных предприятий диктуется также следующими положениями [2, 3]:

– Особенность цехов с гибкими лесообрабатывающими процессами заключается в возможности обрабатывать в них различные по назначению сортименты, а, следовательно, и по размерно-качественным характеристикам пачек сортиментов, которые подаются в цех случайным образом и через случайные промежутки времени.

– Распределение интервалов поступления пачек сортиментов в цех, как правило, отличается от показательного закона, характерного для простейших потоков. Время обработки лесоматериалов на станках в лесообрабатывающих цехах также не соответствует показательному закону. Указанные обстоятельства обуславливают сложность описания таких потоков аналитическими методами.

– Моделирование гибких лесообрабатывающих процессов цехов с сохранением логических взаимосвязей между выполняемыми операциями во времени дает возможность исследовать рассматриваемые процессы в различных условиях.

Процесс имитационного моделирования заключается в многократном воспроизведении операций моделируемой системы случайных элементов («датчиков» случайных величин) с последующей обработкой полученных статистических результатов. Последнее дает возможность оценить искомые показатели системы (вероятности, математические ожидания) как статистические характеристики по данным большого количества реализаций [7].

Имитационная модель гибкого лесообрабатывающего процесса обеспечивает достаточную точность получаемого результата, сохранение сложных взаимосвязей между выполняемыми операциями и предназначена для определения эксплуатационных параметров функционирования исследуемого гибкого лесообрабатывающего процесса: коэффициентов загрузки станков, их производительностей, объемов выхода готовой продукции и отходов и т. д. [1, 2].

Имитационная модель включает моделирование текущего времени, потока пачек сырья, маршрута обработки заготовок, случайного времени цикла, объема и состава обрабатываемого сырья, объема и вида готовой продукции и отходов, выхода из строя и восстановления станков, числа реализации.

В разработанной имитационной модели используется метод моделирования текущего времени по особым состояниям. Под особым состоянием понимается момент времени начала или окончания какого-либо процесса в имитационной модели (момент начала или окончания цикла работы станка, момент времени отказа или восстановления единицы технологического оборудования и т. п.) или момент наступления какого-либо события (момент поступления заготовки в буферное устройство, на станок и т. д.). Такой метод моделирования обеспечивает более высокую точность результатов модели и сокращает

время ее реализации по сравнению с моделированием времени с детерминированным шагом Δt . Алгоритм моделирования времени по особым состояниям следующий [1]:

- в соответствии со структурой модели и входными параметрами формируются начальные особые состояния звеньев модели;
- осуществляется поиск ближайшего по времени наступления особого состояния $T_{\min}$;
- осуществляется анализ особого состояния, накопление статистики, формирование следующих особых состояний звеньев модели;
- контроль текущего времени до момента $T_{\min} > T_M$ (где: $T_{\min}$ – текущее время ближайшего особого состояния; T_M – время моделирования);
- при наступлении события $T_{\min} > T_M$ осуществляется обработка накопленного в результате моделирования статистического материала и вывод на печать результатов работы имитационной модели. Схема моделирования по особым состояниям показана на рис. 2.

Для моделирования значений случайных величин временных интервалов и параметров сырья приняты их распределения вероятностей, которые были получены в результате проведенных экспериментов на ряде лесопромышленных предприятий Центрального региона России, а также в Республике Марий-Эл.

За статистическую модель размерных параметров сырья (диаметров сортиментов) принято логнормальное распределение, плотность которого имеет вид

$$P(dx) = \frac{1}{\sigma_z \sqrt{2\pi}} \cdot e^{-\frac{1}{2}u^2},$$

где $u = \frac{\ln dx - \mu}{\sigma_z}$, $\pi = 3,141$

μ – математическое ожидание случайной величины $z = \ln dx$;

σ_z – среднее квадратическое отклонение случайной величины $z = \ln dx$;

e – основание натуральных логарифмов, $e = 2,718$.

Интенсивность поступления лесоматериалов к станкам на обработку задается функцией плотности распределения Эрланга с параметром k

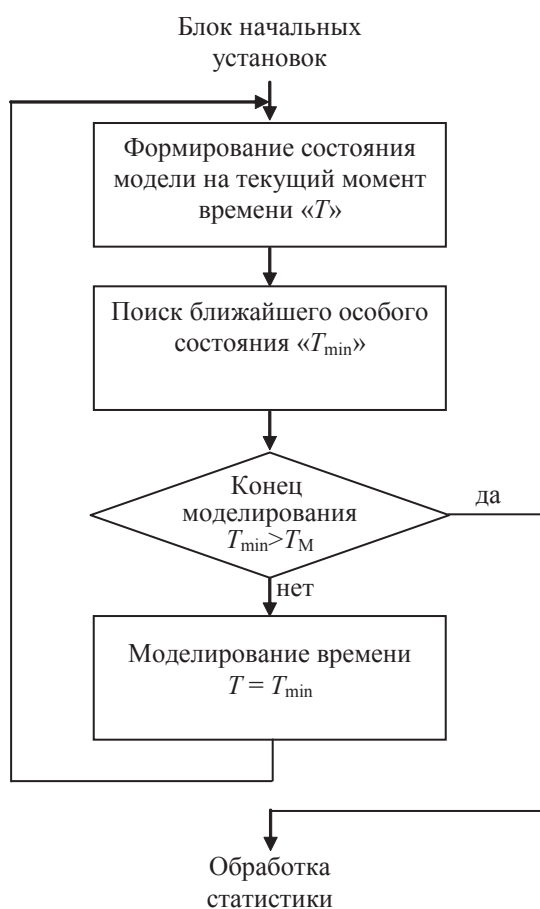


Рис. 2. Схема моделирования времени по особым состояниям

Fig. 2. Scheme of simulation time on special conditions

$$f(t) = \frac{(k\lambda)^k \cdot t^{k-1}}{(k-1)!} \cdot e^{-k\lambda t},$$

где k – порядок распределения Эрланга;
 λ – интенсивность поступления заготовок к станкам;
 t – интервал времени.

Учет параметров надежности станка организуется как некий поток заявок на ремонт и обслуживание этих заявок. Блок-схема моделирования ремонта единицы оборудования представлена на рис. 3.

При этом моделируются случайные по величине интервалы времени восстановления t_B и безотказной работы станков t_P , которые задаются функцией плотности экспоненциального распределения

$$f(t) = \lambda e^{-\lambda t},$$

где λ – интенсивность простейшего потока,
 t – интервал времени (t_B, t_P).

Момент времени восстановления станка (ТВ) определяется соотношением

$$ТВ = ТП + t_B,$$

где ТП – текущее время поломки станка.

Через интервал времени t_P произойдет следующая поломка станка (ТСП)

$$ТСП = ТВ + t_P,$$

При моделировании поток заявок на ремонт станков имеет приоритет перед потоком заявок на обработку заготовок этими станками.

Блок-схема формирования длительности цикла обработки заготовок на станках лесоперерабатывающего цеха представлена на рис. 4.

Согласно схеме при поступлении сырья происходит распознавание моделируемого станка в момент анализируемого особого состояния. Длительности обработки заготовок на станках лесоперерабатывающего цеха являются случайными величинами и формируются посредством псевдослучайных чисел, которые представляются детерминантой для каждого единичного события

$$t_{ц} = f(c),$$

где $t_{ц}$ – длительность цикла обработки заготовки на станке;
 c – случайная величина.

Состав сырья, поступающего в цех на обработку, задается в процентном отношении

по каждому виду сортиментов с последующим вычислением коэффициента комбинирования. В модели предусмотрено варьирование

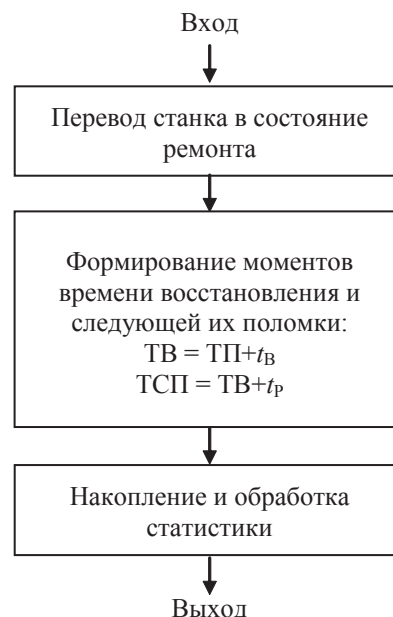


Рис. 3. Блок-схема моделирования ремонта станков
 Fig. 3. Block diagram modeling machine repair

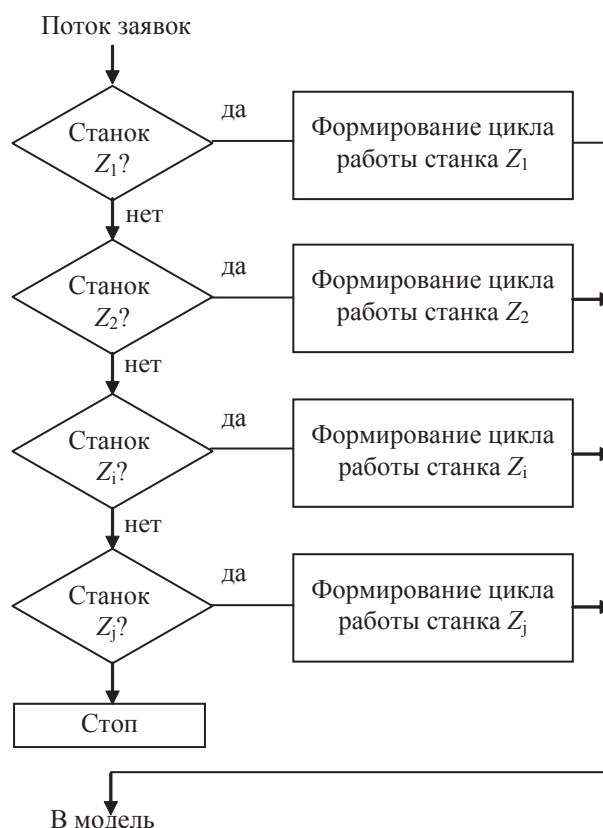


Рис. 4. Блок-схема моделирования длительности цикла обработки заготовок на станках
 Fig. 4. Block diagram of simulation processing cycle time for machining workpieces

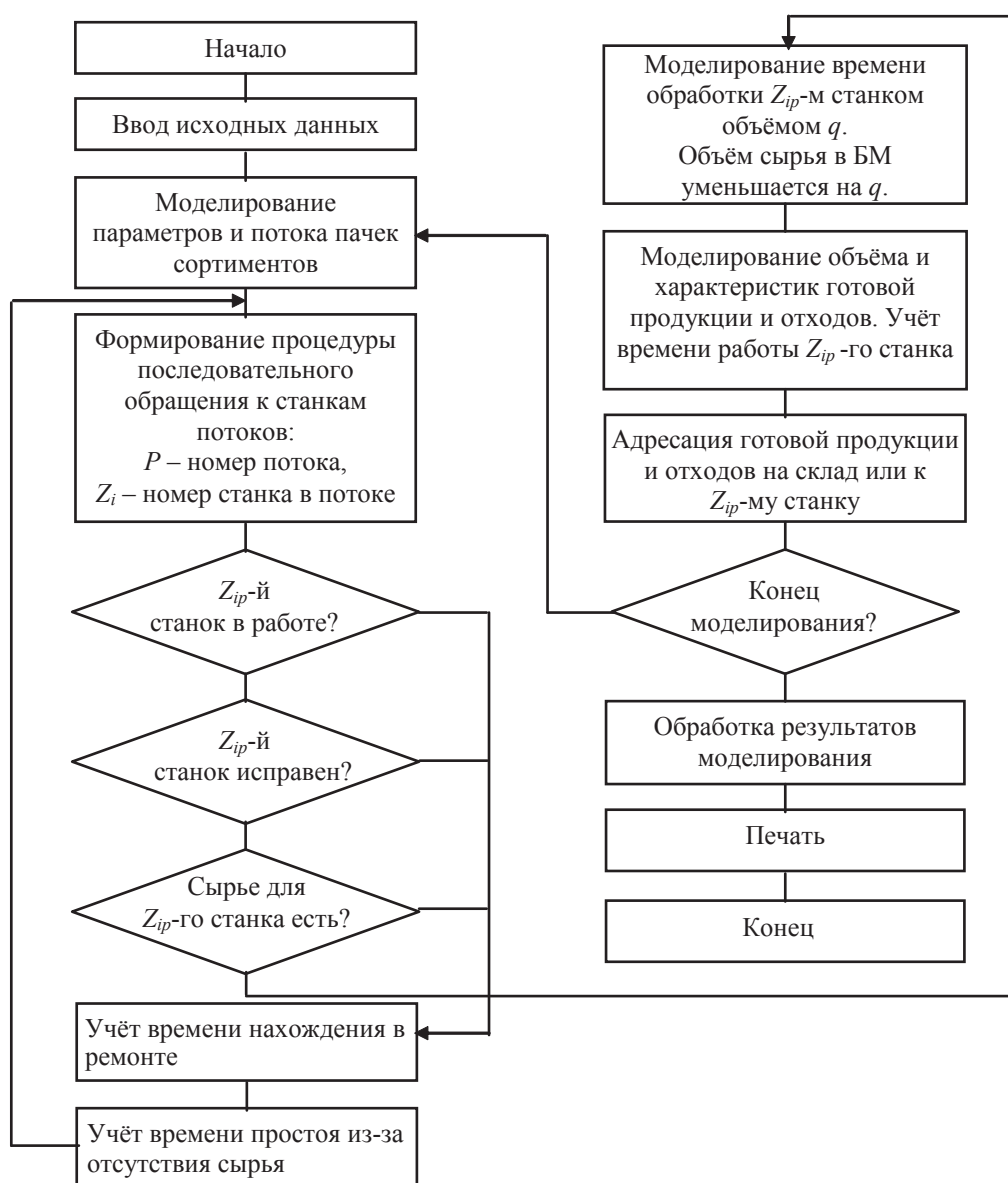


Рис. 5. Укрупненная блок-схема имитационной модели лесоперерабатывающего цеха
Fig. 5. The integrated block diagram of a simulation model of forest processing plant

состава обрабатываемого сырья; его размерно-качественных параметров, количества станков по фазам обработки заготовок, вместимостей буферных устройств перед станками, параметров надежности применяемого оборудования. Возможны также различные варианты управления потоками лесоматериалов в процессе их обработки.

Укрупненная блок-схема имитационной модели гибкого лесоперерабатывающего производства представлена на рис. 5.

Разработанная имитационная модель пригодна для исследования гибких лесоперерабатывающих процессов цехов с различным

составом применяемого оборудования, параметрами обрабатываемых лесоматериалов и параметрами перемещаемых пачек лесоматериалов.

Библиографический список

1. Шадрин, А.А. Комбинированные лесоперерабатывающие цехи лесозаготовительных предприятий: монография / А.А. Шадрин. – М.: МГУЛ. 2006. – 100 с.
2. Шадрин, А.А. Гибкие лесоперерабатывающие процессы лесозаготовительных предприятий / А.А. Шадрин // Вестник МГУЛ – Лесной вестник. – 2009. – № 2(65). – С. 108–111.
3. Редькин, А.К. Основы моделирования и оптимизации процессов лесозаготовок: учебник для вузов / А.К. Редькин. – М.: Лесная пром-сть, 1988. – 256 с.

4. Медведев, А.В. Технологические основы гибких производственных систем / В.А. Медведев. – М.: Высшая школа, 2000. – 255 с.
5. Лозовецкий, В.В. Транспортное обслуживание станков в лесообрабатывающих цехах / В.В. Лозовецкий, А.А. Шадрин, Н.Н. Костюкевич и др. – Наука, техника, управление/ВИНИТИ РАН. – 2013. – № 10. – С. 7–10.
6. Нейлор, Т. Машинные имитационные эксперименты с моделями экономических систем / Т. Нейлор. – М.: Мир, 1975. – 500 с.
7. Гоберман, В.А. Технология научных исследований – методы, модели, оценки: учебное пособие. 2-е изд. Стеротипное / В.А. Гоберман, Л.А. Гоберман. – М.: МГУЛ, 2002. – 390 с.

DEVELOPMENT OF MATHEMATICAL MODELS OF THE FOREST PROCESSING PROCESS IN A FLEXIBLE ARRANGEMENT OF THE MACHINE IN THE PROCESS STREAM

Shadrin A.A., Prof. MSFU, Dr. Sci. (Tech.)⁽¹⁾; **Vasilev A.S.**, Assoc. Prof. Petrusu, Ph.D. (Tech.)⁽²⁾; **Kostyukevich N.N.**, MSFU⁽¹⁾; **Katkov, S.A.**, pg. MSFU⁽¹⁾

shadrin@mgul.ac.ru, alvas@mail.petrus.ru, k_mikola@mail.ru, katkovsa@ya.ru

⁽¹⁾Moscow State Forest University (MSFU), 1st Institutskaya st., 1, 141005, Mytisch, Moscow reg., Russia

⁽²⁾Petrozavodsk State University, 33, Lenin Av., 185910, Petrozavodsk, Russia

Flexible timber processes of the workshops in terms of logging companies should consider natural and production conditions for the functioning of timber production, which are characterized by biophysical indicators of exploited forests, the logging volumes, the release of certain types of assortments on the bottom of the timber stock, the applicable systems of machines and a number of other factors. To formalize descriptions of flexible timber process (GLP) it is represented in the form of a system, functioning as a kind of group of units subordinate to the overall task. When transferring bundles of workpieces between the machines or group of machines allows the production process in a «warehouse blanks – machine – warehouse blanks» in the processing of timber for various purposes provides continuous control of the production process and operational changes in the route of machining in the shop depending on changes in the composition of the treated wood. In relation to timber workshops noteworthy overhead and floor of the vehicle having the ability to deliver goods anywhere in the area of the shop. The use of bridge crane allows you to place the machines in any order and ensures that they operate independently from each other and most rational use of production space. The workshops can also be effectively used forklifts for transporting packs of timber if there is sufficient space for the installation of driveways. Is enlarged block diagram of the simulation model wood-working shop. Developed a simulation model suitable for studying flexible timber processes workshops with different composition of equipment used, the parameters of processed timber and parameters of the roaming packs of timber.

Keywords: flexible timber processes, simulation model.

References

1. Shadrin A.A. *Kombinirovannye lesobrabatyvayushhie cehi lesozagotovitel'nyh predpriyatiy* [Combined wood-working shops logging companies]. Moscow: MSFU. 2006. 100 p.
2. Shadrin A.A. *Gibkie lesobrabatyvayushhie processy lesozagotovitel'nyh predpriyatiy* [Flexible wood-working processes of logging companies]. Moscow state forest university bulletin – Lesnoy vestnik. 2009. № 2(65). pp. 108-111.
3. Red'kin A.K. *Osnovy modelirovaniya i optimizacii processov lesozagotovok* [Fundamentals of modeling and optimization of harvesting]. Moscow: Lesnaya promyshlennost', 1988. 256 p.
4. Medvedev A.V. *Tehnologicheskie osnovy gibkih proizvodstvennyh sistem* [Technological bases of flexible manufacturing systems]. Moscow: Vysshaya shkola, 2000. 255 p.
5. Lozovetskiy V.V., Krymasov V.N. *Gidromekhanicheskie i teplovyte protsessy v yadernykh reaktorakh s mikrotvel'nym toplivom* [Hydro-mechanical and thermal processes in nuclear reactors microvolum fuel]. Moscow: VINITI RAN. 2003. 326 p.
6. Neylor T. *Mashinnye imitacionnye eksperimenty s modelyami ekonomicheskikh sistem* [Machine simulation experiments with models of economic systems]. Moscow: Mir, 1975. 500 p.
7. Goberman V.A., Goberman L.A. *Tehnologiya nauchnyh issledovaniy – metody, modeli, ocenki* [Technology research – methods, models, estimation]. Moscow: MSFU, 2002. 390 p.