

УДК: 004.942

ИМИТАЦИОННОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ПРОИЗВОДСТВЕННОГО ПРОЦЕССА ДЕРЕВООБРАБАТЫВАЮЩЕГО ПРЕДПРИЯТИЯ

П.А. Кашо, М.М. Кумарина, М.П. Филяев (Санкт-Петербург)

Деревообрабатывающая промышленность сегодня является главным вектором развития всего Лесопромышленного комплекса (ЛПК) России, одновременно являясь одним из самых сложных и трудоемких направлений. В России сосредоточено около 20% лесных ресурсов мира, причем три четверти из них занимают ценные породы: сосна, лиственница, ель, пихта, кедр. В деревообработке применяются как химические, так и механические методы для получения из древесины и древесных материалов готовой продукции.

В современных условиях деятельности предприятия отрасли должны быть оборудованы высокотехнологичным оборудованием, а для управления производственными процессами нужны квалифицированные кадры. В 2023 году объем инвестиций предприятий лесного комплекса составил почти 200 млрд. рублей, однако эта отрасль по-прежнему сталкивается с серьезными экономическими и техническими проблемами, которые ограничивают ее прибыльность и рост. В этих условиях актуальным является развитие и применение предиктивных методов управления деревообрабатывающим производством, основанных, в том числе, на широком внедрении в процессы принятия решений методов имитационного моделирования [1].

Другим актуальным направлением применения имитационного моделирования в рассматриваемой отрасли является подготовка специалистов по управлению производственными процессами. Применение имитационных моделей процессов, происходящих в реальной профессиональной деятельности, при обучении специалистов приобретает здесь ключевое значение.

Актуальность внедрения методов и средств имитационного моделирования обусловлена, прежде всего, тем, что производство пиломатериалов является многогранным и многофакторным процессом, который требует тщательной рационализации для достижения максимальной эффективности. В рамках этого процесса необходимо учитывать различные факторы, включая скорость работы оборудования, интервалы технического обслуживания, затраты на ремонт, логистику и качество продукции. Эффективное управление такой сложной системой с множеством характеризующих её состояние параметров крайне затруднительно при использовании только традиционных методов. В этом контексте имитационное моделирование выступает незаменимым инструментом, позволяющим создать достаточно точную и комплексную модель производственного процесса, на основе которой можно учесть все ключевые факторы, провести анализ различных сценариев и определить рациональный вариант организации производства в различных условиях. Решить эту задачу простыми аналитическими методами с аналогичной степенью точности и детализации практически невозможно [2].

В результате проведенного исследования были обобщены и формализованы основные принципы и этапы функционирования производственных цехов деревообрабатывающих предприятий, и на этой основе разработана имитационная модель.

Для сбора данных, необходимых при создании модели, был установлен контакт с производственным предприятием «Красный октябрь» (г. Пермь) [3]. Это предприятие представляет собой деревообрабатывающий завод полного цикла – заготавливает, транспортирует и обрабатывает древесину самостоятельно. Оно имеет права

долгосрочной аренды на участки лесного фонда в Пермском, Горнозаводском, Соликамском, Чердынском, Добрянском, Ильинском и Гайнском районах Пермского края. Максимальный годовой объём заготовки составляет 640 тыс. кубических метров, из которых 50% приходится на хвойную древесину.

В общем случае деревообрабатывающие предприятия имеют большие производственные площади, из которых значительную часть складские помещения. Обычно в производственных цехах располагаются несколько типов станков и сушильные камеры. Сами цеха рассчитаны на разные задачи, например, в каждом цеху предприятия обрабатываются бревна определенного диаметра, из них пилится доска и проводится калибровка. Цеха оснащены, как правило, автоматической подачей бревен, но присутствие рабочих все равно обязательно, так как к оборудованию автоматической подачи бревна нужно доставить. Цеха различаются в основном только диаметром бревен, с которыми они работают, но внутреннее устройство обычно не сильно отличается. После распила доски отправляются в сушильную камеру. Процесс сушки контролируется компьютером и полностью автоматизирован [4].

В связи с этим для разработки модели выбран один из типовых производственных процессов деревообработки. Модель имитирует работу цеха, который занимается распилом бревен на 2 типа досок и изготовлением шпона. Бревна доставляют очищенными от веток и сучков, а готовые пиломатериалы забирают упакованными. В цеху работают специалисты по деревообработке, ремонтники, разнорабочие. Бревна хранятся на складе, а затем передаются на продольную пилу, которая распиливает бревна на доски. Доски разрезаются пилой на детали определенной длины. В модели по умолчанию бревна будут всегда поступать на один склад, а пиломатериалы будут отбывать с другого склада. Также учитываются возможные поломки оборудования и время на их ремонт.

При разработке модели принят дискретно-событийный подход и соответственно были определены и выделены события и действия в моделируемом процессе. События – это изменения состояния системы, которые происходят в определенные моменты времени. Основные выделенные события приведены далее.

Прибытие сырья – момент времени, когда новая партия лесоматериалов прибывает в цех.

Начало обработки – начало процесса распила бревна на пилораме.

Завершение обработки – завершение процесса распила, когда бревно распилено на доски.

Перемещение на склад – перемещение обработанной древесины (пиломатериалов) на склад для хранения.

Отгрузка готовой продукции – отправка готовой продукции клиентам или на дальнейшую переработку.

Поломка оборудования – момент времени, когда оборудование выходит из строя и требует ремонта.

Завершение ремонта – момент времени, когда оборудование восстановлено и снова готово к использованию.

Действия – это отдельные операции, которые выполняются в ответ на возникающие события. Примерами действий являются:

- **Приемка сырья** – проверка и учет поступившего лесоматериала;
- **Сортировка сырья** – сортировка поступившего лесоматериала;
- **Обработка дерева** – распил бревна на различные размеры и формы в зависимости от требований;
- **Упаковка и маркировка** – подготовка обработанной древесины для хранения или отгрузки, включая упаковку и нанесение маркировки;

- **Транспортировка** – перемещение готовой продукции на склад или отгрузка клиентам;
- **Ремонт оборудования** – выполнение необходимых ремонтных работ для восстановления работоспособности оборудования.

Имитационная модель была разработана в инструментальной программной среде AnyLogic [6]. В соответствии с принятой в среде терминологией был создан набор агентов (моделируемых объектов).

Агент Brewno – транспортируется в цех и затем отвозится в складское помещение, где ожидает погрузки на одну из трех рабочих линий. В дальнейшем агент исчезает и на месте него появляется другой агент.

Агент Doski1 – является агентом первого вида досок. Агент появляется на рабочей линии номер один. При загрузке бревна на конвейер и последующей обработки пилой бревно превращается в доски и продвигается далее по линии к сушильному аппарату. После сушки доски упаковывают и загружают на склад, где они ожидают своей загрузки в машину, которая увозит их из цеха.

Агент Doski2 – является агентом второго вида досок. Агент появляется на рабочей линии номер два. При загрузке бревна на конвейер и последующей обработки пилой бревно превращается в доски другого формата и продвигается далее по линии к сушильному аппарату. После сушки доски упаковывают и загружают на склад, где они ожидают своей загрузки в машину, которая увозит их из цеха.

Агент Mash_sort – является агентом сортировочного робота. Агент находится перед рабочими линиями и занимается сортировкой бревен. Модель построена так, что нельзя загрузить случайное бревно на случайную рабочую линию. Несовпадение габаритов бревна с ожидаемым габаритом для оборудования вызовет поломку или произведет брак.

Агент Pila – является агентом пилы. Агент находится на каждой рабочей линии и занимается распилом бревен на доски или шпон. Агент является неким перевалочным пунктом для приёма агентов Brewno и отправки агентов Doski1, Doski2 и Shpon. Также для агента предусмотрено состояние поломки. В данной модели вероятность поломки вычисляется с помощью нормального закона распределения. Также с помощью панели управления можно отключить поломки, настроить скорость работы, настроить скорость ремонта, влиять на вероятность поломки.

Агент Pogruschik – является агентом погрузчика. Агент занимается перевозкой других, неспособных к самостоятельному перемещению агентов. Погрузчик разгружает прибывшие машины с бревнами и перевозит их на сортировку, откуда бревна попадают на склад. Также со склада на рабочую линию погрузчик доставляет отсортированное бревно. Далее готовый пиломатериал (доски обоих видов и шпон), погрузчик после упаковки доставляет на склад в ожидании машины, которая должна забрать их и увезти из цеха. Когда у погрузчика нет работы, он находится в режиме ожидания.

Агент Rabochie – является агентом рабочего. Агент занимается тем, что оперирует статическими агентами, такими как Pila. А также занимается устранением (ремонтом) поломок.

Агент Schpon – является агентом единственного вида шпона. Агент появляется на рабочей линии номер три. При загрузке бревна на конвейер и последующей обработки пилой, бревно превращается в шпон и продвигается далее по линии к сушильному аппарату. После сушки шпон, как и доски, упаковывают и загружают на склад, где они ожидают своей загрузки в машину, которая увозит их из цеха.

9) Агент Sushilka – является агентом сушильного аппарата. Агент находится на каждой рабочей линии и занимается сушкой напильных досок или шпона.

10) Агент Urapk1 – является агентом упакованных досок первого типа. Агент находится на первой рабочей линии.

11) Агент Urapk2 – является агентом упакованных досок второго типа. Агент находится на второй рабочей линии.

12) Агент Urapkov – Является агентом упакованного шпона. Агент находится на третьей рабочей линиями.

Созданный агент Main отвечает за расположение всех указанных выше агентов в размеченном пространстве, графического отображения результатов моделирования, визуализации графиков, панели управления моделированием, переменных, использующихся в процессе моделирования.

При запуске модели отображается графический экран, визуализирующий расположение объектов моделируемого цеха, как показано на рис. 1.

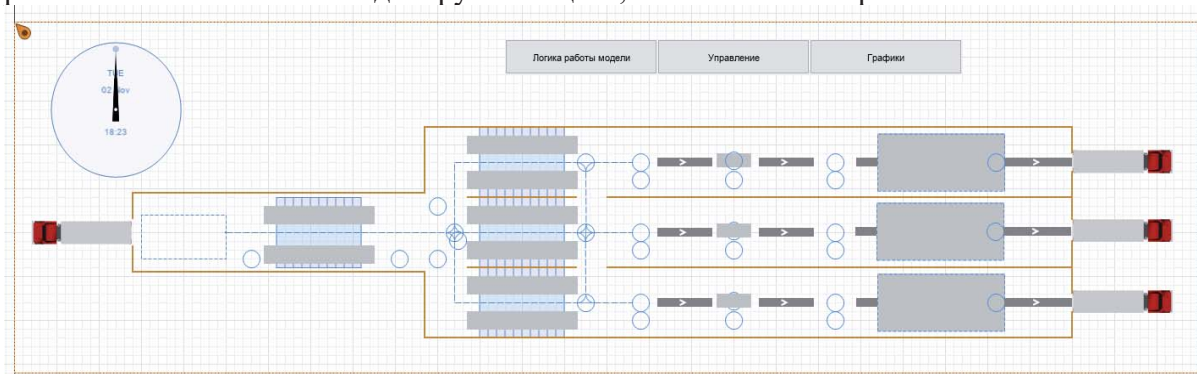


Рис. 1. Графический экран модели

На графическом экране пользователю доступны 3 кнопки для просмотра логики работы модели (рис. 2), управления параметрами и отображения графиков изменения параметров.

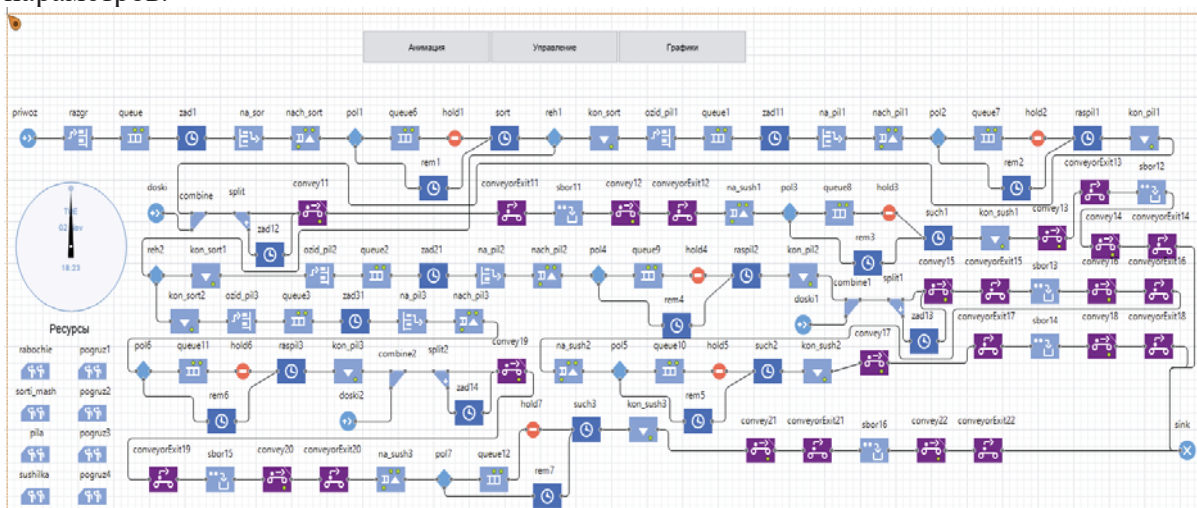


Рис. 2. Логическая структура модели

Для управления изменением параметров объектов и настройки их на исследуемые условия функционирования цеха в модели реализована панель управления. Пользователю доступно изменение следующих параметров:

1. количество привозимых бревен за один раз;
2. время сортировки бревен;
3. время распила первого типа бревен;
4. время распила второго типа бревен;
5. время распила третьего типа бревен;

6. время сушки первого типа досок;
7. время сушки второго типа досок;
8. время сушки шпона;
9. количество получаемых досок из первого типа бревен;
10. количество получаемых досок из второго типа бревен;
11. количество получаемого шпона из третьего типа бревен;
12. вероятность безотказной работы сортировочной машины;
13. среднее время ремонта сортировочной машины;
14. вероятность безотказной работы первой пилы;
15. среднее время ремонта первой пилы;
16. вероятность безотказной работы второй пилы;
17. среднее время ремонта второй пилы;
18. вероятность безотказной работы третьей пилы;
19. среднее время ремонта третьей пилы;
20. вероятность безотказной работы первой сушилки;
21. среднее время ремонта первой сушилки;
22. вероятность безотказной работы второй сушилки;
23. среднее время ремонта второй сушилки;
24. вероятность безотказной работы третьей сушилки;
25. среднее время ремонта третьей сушилки.

Общий вид панели управления представлен на рисунке 3.

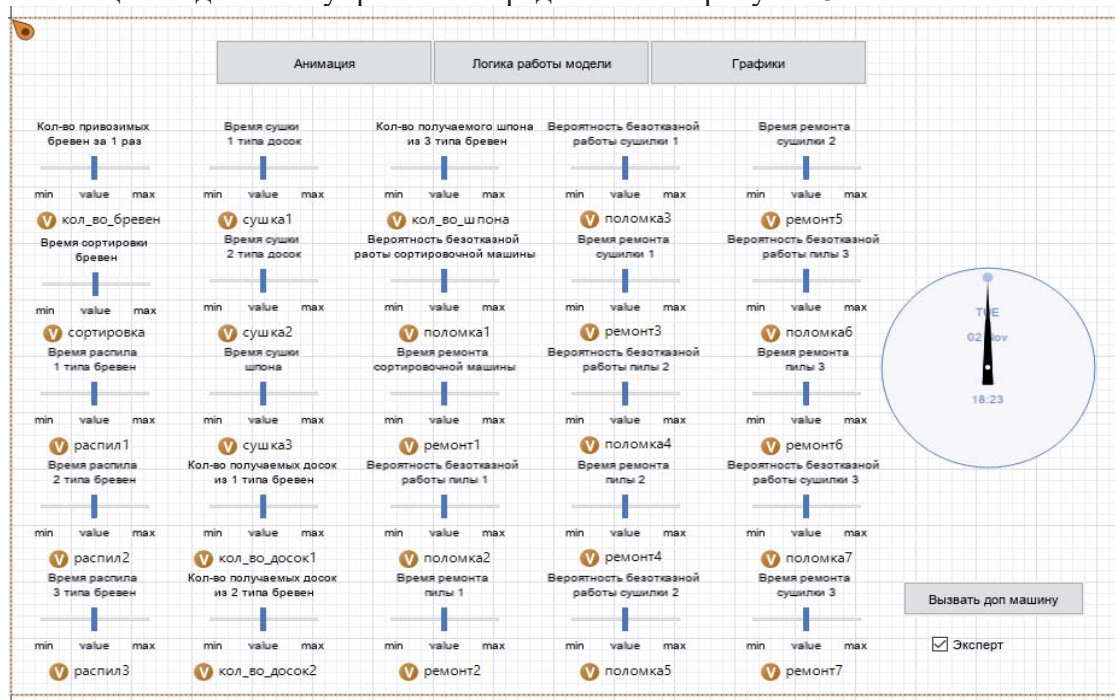


Рис. 3. Панель управления

В панели управления реализована защита от заведомо неадекватных данных. Например, невозможно отремонтировать пилу за отрицательное количество минут, это вызовет временной парадокс, и модель остановится с ошибкой. Или вызвать один миллиард машин с бревнами, переменная, отвечающая за бревна, переполнится, и модель также остановится с ошибкой. Также заблокированы значения непосредственно не вызывающие ошибку, но нарушающие достоверность работы модель. Например, теоретически модель не прекратит свою работу, если ремонт пилы, сушилки, или сортировщика произойдет за 0,0001 сек. Но это не реалистично. Или установка

получения 12000 досок из 1 бревна. Поскольку мы моделируем производство в виртуальном пространстве, где теоретически всё возможно, такая манипуляция с цифрами тоже не вызовет ошибку, однако сильно застопорит процесс сушки и переполнит склады. Поэтому такие нереалистичные значения заранее заблокированы. Также, например, если установить любую из пил, сушилок или сортировщик в состояние нулевой вероятности поломки, скроется ползунок, отвечающий за время ремонта, так как не нужно ремонтировать то, что никогда не сломается.

Вместе с тем, на панели управления существуют галочка «Эксперт» для проведения различных вариантов тестирования. При её нажатии появляется предупреждение о том, что дальнейшие манипуляции без защиты могут нарушить ход моделирования и вызвать ошибки, несовместимые с её работой.

Пример динамики работы модели представлен на рис. 4-6, а на рис. 7-8 – графики изменения параметров моделируемых объектов при нерациональном и рациональном вариантах организации производственного процесса.

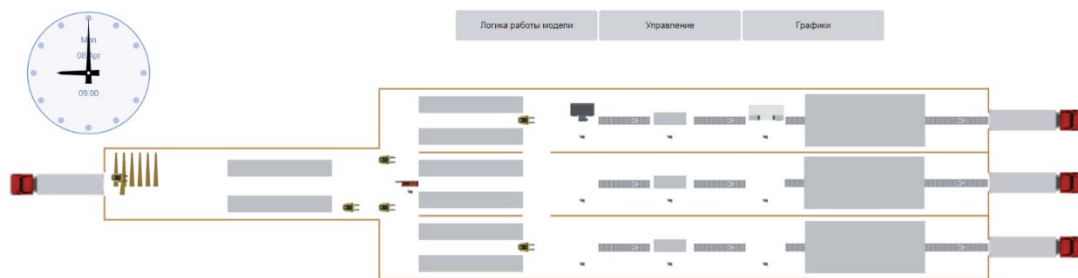


Рис. 4. Поступление бревен на распил



Рис. 5. Перемещение бревен на пилу

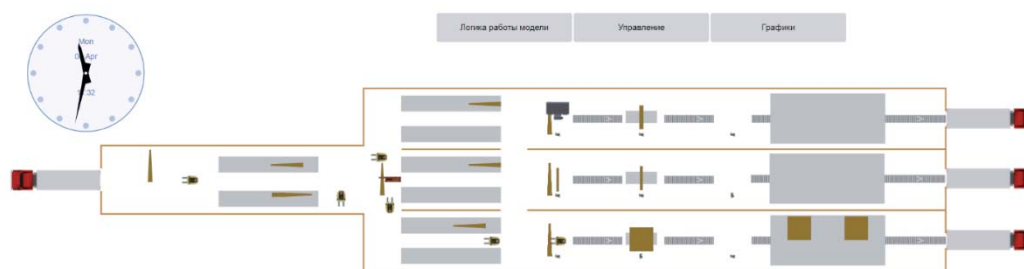


Рис. 6. Распил бревен и сушка шпона

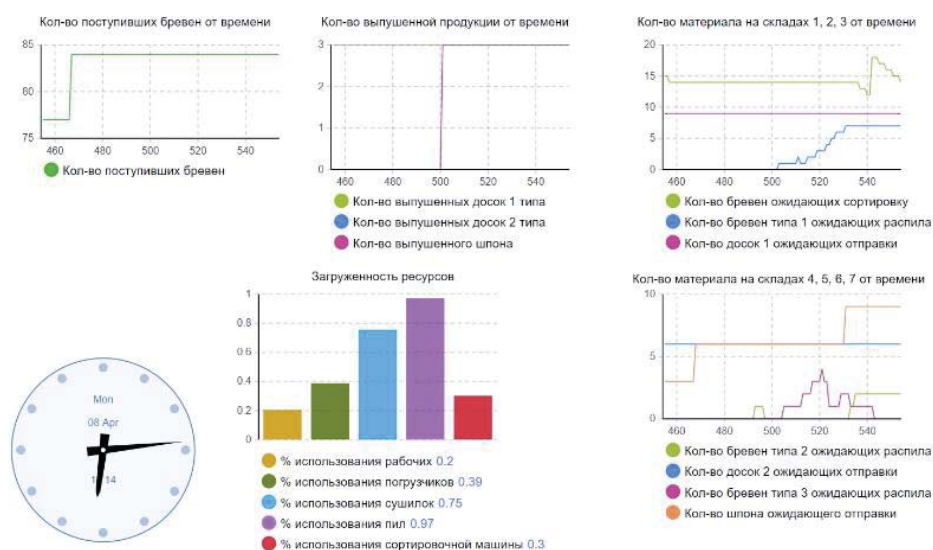


Рис. 7. Изменение параметров при нерациональной организации производственного процесса

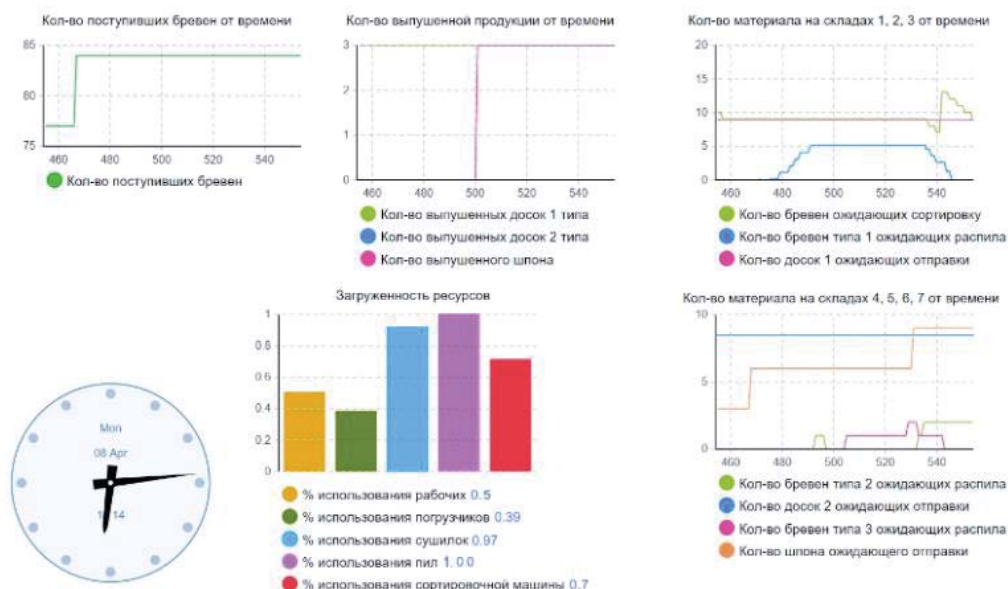


Рис. 8. Изменение параметров при более рациональном варианте организации производственного процесса

Таким образом, на основе разработки рассмотренной модели показана актуальность применения методов и средств имитационного моделирования в управлении производственными процессами деревообрабатывающих предприятий. В представленной упрощенной версии имитационная модель может успешно использоваться при обучении студентов по специальности «Технология лесозаготовительных и деревоперерабатывающих производств», профиль «Технология деревообработки».

В перспективе в случае существенной доработки и адаптации модели к условиям конкретного производственного процесса деревообработки модель может быть полезна при решении задач снижения затрат и улучшения качества продукции. Такая модель позволит детально анализировать каждую стадию производства, выявлять и устранять узкие места, прогнозировать влияние различных изменений и оптимальных настроек оборудования, а также оценивать потенциал различных сценариев развития производственной линии, а именно решать следующие задачи:

1. определение оптимальной конфигурации производственного оборудования, распределения рабочих мест и использования ресурсов для повышения производительности и снижения затрат;
2. оценка текущей производительности производственного процесса, выявление узких мест и предложения мер по их устранению;
3. разработка эффективных производственных графиков, которые учитывают загрузку оборудования, время выполнения задач и требования к ресурсам;
4. моделирование и анализ воздействия изменений в производственном процессе, таких как внедрение новых технологий, изменение состава продукции или реорганизация рабочих процессов;
5. оптимизация уровней запасов и логистических операций для обеспечения бесперебойного снабжения производства при минимальных затратах на хранение и транспортировку.

Литература

1. Теоретические аспекты агентного моделирования в развитии лесного комплекса // URL: <https://www.researchgate.net/> (дата обращения 12.09.2025).
2. **Филяев М.П.** Проблемные вопросы применения имитационного моделирования при автоматизации производственных процессов // В сборнике: Машиностроение: новые концепции и технологии. Всероссийская научно-практическая конференция студентов, аспирантов и молодых ученых. Красноярск, 2020. С. 192-196
3. Официальный сайт организации «Красный Октябрь» // URL: <https://www.ro1910.ru/> (дата обращения 15.11.2024).
4. **Чернышев О.Н., Уласовец В.Г.** Проектирование технологических процессов деревообработки: учебное пособие – Екатеринбург: УГЛТУ, 2023. 125 с.
5. **Алиев Т.И.** Основы моделирования дискретных систем. – СПб: СПбГУ ИТМО, 2009. 363 с.
6. Сайт компании «AnyLogic» // URL: <https://www.anylogic.com/> (дата обращения 15.02.2025) .