

Н. С. Веремчук¹

✉ n-veremchuk@rambler.ru

¹Сибирский государственный автомобильно-дорожный университет (СибАДИ), г. Омск, Российской Федерации

Имитационное моделирование как инструмент экономического планирования производственных линий

Аннотация: С точки зрения экономики цифрового производства ключевым аспектом обеспечения прибыльности выступает цифровизация процессов проектирования производственных линий. Острая необходимость в решении таких задач возникает на этапах проектирования и реконструкции производственных участков. Неоптимальное размещение может привести к серьезным затратам не только финансовым, но и ресурсным. Для эффективного решения задач проектирования производственных линий применяются цифровые технологии, машинное обучение, искусственный интеллект и имитационное моделирование. В статье приводится пример использования одного из таких инструментов – методов имитационного моделирования. Рассматривается создание и анализ имитационной модели производственных линий, соединенных виадуком. Основной целью работы является моделирование альтернативных экономических режимов работы производственных линий виадукного типа с последующей формализацией рекомендаций по совершенствованию их функционирования. Техническая реализация модели выполнена в AnyLogic с применением библиотеки FluidLibrary для моделирования материальных потоков. В исследовании обоснована эффективность имитационных методов при решении задач ресурсной оптимизации в производственном планировании. Имитационная модель может служить методологической основой для решения задач анализа производственных процессов и экономического планирования деятельности предприятий. Результаты исследования имеют прикладное значение для управления материальными потоками в производственных системах.

Ключевые слова: имитационная модель, производственные процессы, сырьевые ресурсы, AnyLogic.

Дата поступления статьи: 18 апреля 2025 г.

Для цитирования: Веремчук Н. С. (2025) Имитационное моделирование как инструмент экономического планирования производственных линий. Наука о человеке: гуманитарные исследования, том 19, № 3, с. 216–228. DOI: 10.57015/issn1998-5320.2025.19.3.20.

Scientific article

Н. С. Veremchuk¹

✉ n-veremchuk@rambler.ru

¹The Siberian State Automobile and Highway University (SibADI), Omsk, Russian Federation

Simulation modeling as a tool for economic planning of production lines

Abstract: From the point of view of the economics of digital production, digitalization of production line design processes is a key aspect of ensuring profitability. There is an urgent need to solve such problems at the design and reconstruction stages of production sites. Suboptimal placement can lead to serious costs, not only the financial ones, but also in terms of resources. Digital technologies, machine learning, artificial intelligence, and simulation are used to effectively solve the problems of designing production lines. The article provides an example of the use of one such tools i.e. simulation modeling methods. The creation and analysis of a simulation model of production lines connected by a viaduct is considered. The main purpose of the work is to model alternative economic modes of operation of viaduct-type production lines, followed by formalization of recommendations for improving their functioning. The technical implementation of the model is performed in AnyLogic using the FluidLibrary library for modeling material flows. The study substantiates the effectiveness of simulation methods in solving resource optimization problems in production planning. The simulation model can serve as a methodological basis for

solving the problems of analysis of production processes and economic planning of enterprises. The results of the study are of practical importance for managing material flows in production systems.

Keywords: simulation model, production processes, raw materials, AnyLogic.

Paper submitted: April 18, 2025.

For citation: Veremchuk N. S. (2025) Simulation modeling as a tool for economic planning of production lines. Russian Journal of Social Sciences and Humanities, vol. 19, no. 3, pp. 216–228. DOI: 10.57015/issn1998-5320.2025.19.3.20.

Введение

В последние годы при разработке проектных решений для предприятий особое внимание уделяется решению задач оптимального размещения технологических линий и оборудования. Острая необходимость в решении таких задач возникает на этапах проектирования и реконструкции производственных участков (Веремчук, 2024). Неоптимальное размещение может привести к серьезным затратам не только финансовым, но и ресурсным. При выполнении проектирования сначала, как правило, определяется расположение технологических линий и далее осуществляется оптимальное размещение оборудования на них. В некоторых случаях положение линий находится с учетом уже фиксированного расположения оборудования. Все это определяется спецификой предприятия и его производственной деятельностью. При реконструкции предприятий положение производственных линий фиксировано и требуется заменить некоторые единицы оборудования с целью переналадки производства, например, на выпуск новой продукции. В таких случаях часть оборудования остается на месте. Его можно рассматривать как специальные области (запрещенные зоны), где не возможно новое расположение объектов (Веремчук, Привалова, Воробьева, 2024).

Технологическое оборудование может быть связано между собой и с внешними объектами различными коммуникациями (связями). Причем могут варьироваться и способы прокладки коммуникаций, например, через специальные проходы между линиями (виадуками). При этом часто необходимо минимизировать суммарную стоимость коммуникаций. С целью сокращения суммарных затрат, связанных с размещением оборудования, следует уделять внимание проектированию и оптимальному расположению технологических линий производства в процессах проектирования, реконструкции предприятий (Веремчук, Привалова, Воробьева, 2024).

В контексте современных экономических тенденций и экспоненциального развития информационно-коммуникационных технологий цифровая модернизация промышленного комплекса приобретает характер императива (Антипов, 2019; Бушуева и др., 2022; Гейда, 2022; Масюк и др., 2022). Интенсификация негативных экзогенных воздействий и их выраженное влияние на макроэкономические показатели акцентируют внимание на необходимости совершенствования методологии управления материальными ресурсами производственных систем (Антипов, 2019; Масюк и др., 2023; Мельникова, 2022). Перспективным направлением в данном контексте выступает апробация и внедрение технологических инноваций, разработанных на основе новейших достижений научной мысли (Веремчук, Куликова, 2024; Макаров и др., 2022; Beklaryan et al., 2019; Jia et al., 2023).

Современное производство требует высокой эффективности, гибкости и минимизации издержек. Для достижения этих целей при проектировании производственных линий активно применяются цифровые технологии, включая машинное обучение (МО) (Kritzinger et al., 2018), искусственный интеллект (ИИ) (Lee et al., 2019) и имитационное моделирование (Веремчук, Привалова, Воробьева, 2024; Railsback, Grimm, 2019; Tao et al., 2019).

Эти методы позволяют оптимизировать производственные процессы, прогнозировать возможные сбои и улучшать управление ресурсами.

В литературе рассматриваются ключевые технологии, их применение в проектировании производственных линий, а также примеры успешного внедрения. В контексте цифрового производства основные направления исследований по данной тематике следующие.

1. Цифровые двойники и имитационное моделирование

Имитационное моделирование (Simulation Modeling) – один из наиболее эффективных инструментов для анализа и оптимизации производственных процессов. Оно позволяет создавать цифровые двойники (Digital Twins) – виртуальные копии реальных производственных линий, на которых можно тестировать различные сценарии без остановки производства.

Примеры применения:

– AnyLogic, FlexSim, Siemens Process Simulate – программные пакеты, используемые для моделирования производственных потоков.

– Оптимизация логистики на заводе BMW с помощью цифровых двойников позволила сократить время переналадки на 30 % (Tao et al., 2019).

2. Машинное обучение в управлении производством

Машинное обучение применяется:

– для прогнозирования отказов оборудования (Predictive Maintenance) – алгоритмы анализируют данные с датчиков и предсказывают поломки до их возникновения;

– оптимизации загрузки станков – нейросети помогают распределять задачи между машинами, минимизируя простой.

Примеры:

– компания Siemens использует машинное обучение для прогнозирования износа деталей турбин, что снижает затраты на ремонт на 15 % (Lee et al., 2019);

– Google DeepMind применяет reinforcement learning для оптимизации энергопотребления в данных центрах, что может быть адаптировано для заводов.

3. Искусственный интеллект в автоматизации проектирования

ИИ-алгоритмы помогают:

– генерировать оптимальные компоновки цехов (Generative Design);

– автоматизировать контроль качества (Computer Vision).

Примеры:

– Autodesk Generative Design создает варианты компоновки оборудования, учитывая ограничения по пространству и производительности;

– NVIDIA Metropolis использует искусственный интеллект для анализа видео с камер и выявления дефектов продукции в реальном времени.

4. Интеграция интернета вещей (IoT) и облачных вычислений

Интернет вещей (IoT) позволяет собирать данные с оборудования в режиме реального времени, а облачные платформы (AWS, Microsoft Azure, Google Cloud) обеспечивают их обработку.

Цифровые технологии, искусственный интеллект и имитационное моделирование кардинально меняют подход к проектированию производственных линий. Они позволяют сократить издержки, повысить гибкость и минимизировать риски. Дальнейшее развитие этих методов, включая квантовые вычисления и автономных роботов, откроет новые возможности для Industry 4.0.

Имитационное моделирование является современным инструментом для решения задач планирования и управления работой производственной системы. Имитационная модель может служить методологической основой для решения задач ресурсной оптимизации, анализа производственных процессов и экономического планирования деятельности предприятий. Специалисты по технической подготовке производства должны обладать компетенциями в области прикладной математики и методов исследования операций (Веремчук, 2023).

Инструмент имитационного моделирования представляет собой научно обоснованный фундамент для проведения комплексных исследований, включающих оптимизацию использования ресурсов, анализ производственных характеристик и экономическое прогнозирование технологических циклов (Веремчук, Привалова, Воробьева, 2024). Для поддержки принятия решений по этим вопросам существует множество программных продуктов, реализующих методы имитационного моделирования, например, отечественная программная система AnyLogic (Боев, 2021). В условиях импортозамещения этот российский программный продукт, представляющий собой

альтернативу зарубежным аналогам в сфере реализации методов имитационного моделирования, приобретает особую актуальность.

Результатом данного исследования стала разработка имитационной модели, воспроизводящей систему из параллельных производственных линий с виадукным соединением. Для реализации модели использован программный продукт AnyLogic и библиотека FluidLibrary для моделирования потоков. Функциональные возможности модели включают анализ поведения системы при вариации производственных параметров и оптимизацию потоков материальных ресурсов на промышленном объекте.

Методологическая основа исследования объединила принципы агентного и дискретно-событийного моделирования. Ключевыми задачами работы выступали: (1) создание имитационного инструментария для многовариантного экономического анализа, (2) разработка оптимизационных рекомендаций по повышению производительности. Полученные результаты демонстрируют потенциал имитационных методов в анализе и прогнозировании динамики сложных производственных систем.

Методы

В рамках решения задач экономического планирования осуществляется построение имитационной модели производственных линий с виадукным компонентом. Модель представляет собой программную реализацию, формализующую структурно-функциональные характеристики моделируемой системы и воспроизводящую ее поведенческую динамику во временной перспективе. Аналитические возможности модели позволяют получать детализированные статистические данные о различных аспектах функционирования системы при вариации управляющих параметров.

Технологической основой разработки выступает библиотека FluidLibrary среды AnyLogic (Боев, 2021), обеспечивающая моделирование:

- процессов складирования;
- транспортных операций;
- потоковой обработки для следующих категорий материалов: сыпучих веществ, жидкостей, массовых штучных объектов.

Основные области применения включают производственный сектор, горнорудную промышленность и нефтегазовую отрасль. Библиотека FluidLibrary среды AnyLogic представляет собой технологически совершенное решение для имитационного моделирования подобных систем, сочетающее в себе физическую точность и гибкость применения (Боев, 2021).

Архитектурные особенности FluidLibrary

1. Объектно ориентированный подход:

- готовые компоненты трубопроводов;
- модели насосов различного типа;
- элементы управления потоком.

2. Физическая достоверность:

- реализация уравнений гидродинамики;
- учет турбулентности и вязкости;
- моделирование переходных процессов.

Функциональные возможности FluidLibrary

Библиотека предоставляет:

- широкий спектр гидравлических компонентов;
- инструменты визуализации потоков;
- механизмы анализа давления и расхода;
- возможности интеграции с системами автоматизации.

Прикладные преимущества FluidLibrary

1. Для проектировщиков:

- сокращение сроков разработки;
- минимизация ошибок проектирования;
- оптимизация параметров системы.

2. Для исследователей:

- возможность проведения виртуальных экспериментов;
- анализ экстремальных режимов работы;
- исследование динамических характеристик.

Библиотека FluidLibrary среды AnyLogic представляет собой мощный инструментарий:

- для проектирования сложных гидравлических систем;
- проведения комплексных гидродинамических исследований;
- решения практических задач в нефтегазовой и химической отраслях.

Методологическая основа исследования: интеграция агентного и дискретно-событийного моделирования в AnyLogic.

Современные сложные системы, такие как логистические сети, производственные цеха или городская мобильность, требуют гибридных подходов к моделированию. В данном исследовании методологическая основа объединила агентное моделирование (ABM) и дискретно-событийное моделирование (DES) в среде AnyLogic, что позволило учесть как индивидуальное поведение элементов системы, так и процессную динамику.

1. Агентное моделирование (ABM) (Боев, 2021; Макаров и др., 2022; Railsback, Grimm, 2019)

ABM фокусируется на автономных агентах (например, станках, работниках, транспортных средствах), которые взаимодействуют по заданным правилам. Примеры применения:

- моделирование поведения пешеходов в аэропорту (Railsback, Grimm, 2019);
- оптимизация работы склада, где агенты (роботы-погрузчики) адаптируются к изменяющемуся спросу.

2. Дискретно-событийное моделирование (DES) анализирует систему как последовательность операций, инициируемых событиями. Примеры:

- расчет времени обработки заказов на конвейере (Banks et al., 2014);
- моделирование работы call-центра с учетом случайных входящих вызовов.

3. Гибридный подход в AnyLogic поддерживает совмещение ABM и DES, что особенно полезно:

- для логистики: агенты (грузовики) перемещаются между DES-узлами (складами);
- здравоохранения: пациенты (агенты) проходят через DES-процедуры (регистрация, диагностика).

Пример: исследование больничного отделения показало, что гибридная модель сократила время ожидания пациентов на 20 % (Kar, Eldabi, Fakhimi, 2022).

Комбинация ABM и DES в AnyLogic обеспечивает детализированный анализ сложных систем, сочетающая микроподходы. Это открывает новые возможности для оптимизации в промышленности, транспорте и сфере услуг.

Современные требования к экономическому моделированию обуславливают необходимость использования гибких инструментов сценарного анализа. Платформа AnyLogic предоставляет исследователям комплексные возможности для параметрического моделирования экономических процессов, позволяя оценивать динамику системы при различных значениях ключевых переменных.

Методологические особенности AnyLogic

1. Гибкая архитектура моделирования:

- интеграция дискретно-событийного и агентного подходов;
- возможность комбинирования системной динамики;
- поддержка гибридных моделей.

2. Инструменты параметрического анализа:

- встроенный конструктор экспериментов;
- автоматизированный перебор параметров;

- визуализация динамических изменений.

Практическая реализация AnyLogic

В AnyLogic реализованы уникальные возможности:

- создание пользовательских интерфейсов для оперативного изменения параметров;
- параллельный запуск множества сценариев;
- автоматическое сравнение результатов.

Аналитические преимущества AnyLogic

1. Глубина исследования:

- выявление критических точек системы;
- анализ устойчивости экономики;
- оценка временных лагов.

2. Прикладное значение:

- обоснование управлеченческих решений;
- прогнозирование рисков;
- оптимизация стратегий развития.

AnyLogic представляет собой мощный инструмент:

- для многовариантного анализа экономических систем;
- комплексной оценки сценариев развития;
- принятия обоснованных управлеченческих решений.

Моделируемая система представляет собой две технологические линии (Л1 и Л2), соединенные посредством виадука с ограниченной пропускной способностью. На вход системы поступает исходное сырье, которое подвергается последовательной переработке в соответствующих подсистемах. Критическим аспектом функционирования системы являются:

- временные параметры технологических операций;
- производительностные ограничения подсистем;
- обмен полуфабрикатами через виадук.

Эти факторы детерминируют режимы поставки сырья и динамику выпуска готовой продукции.

Выходной поток системы представляет собой конечный продукт заданного качества. Рис. 1 отражает процессную диаграмму разработанной имитационной модели.

Архитектура системы включает:

- три независимых узла подачи сырья;
- две параллельные технологические линии;
- виадукную транспортную систему;
- накопительный терминал.

Данная конфигурация воспроизводит материальные потоки реального производственного комплекса. Источники сырья генерируются блоками FluidSource. Производственные линии реализованы с помощью блока MixTank. Виадук смоделирован блоком BulkConveyor. Склад имитирован блоком ProcessTank. Блок FluidDispose завершает поток.

Элемент FluidSource создает поток. Является стандартным начальным блоком в диаграмме процесса Библиотеки моделирования потоков.

Элемент FluidDispose удаляет поток из системы.

Элемент MixTank создает смесь из веществ, поступающих из разных источников.

Блок ProcessTank накапливает вещество до определенного уровня Вместимости, обрабатывает его некоторое время. Параметр Вместимость является динамическим и рассчитывается в начале каждого цикла, т. е. первый раз в начале моделирования и после этого каждый раз, когда вещество полностью покидает блок.

Блок ProcessTank позволяет задать действия, которые будут выполняться в следующих случаях:

- при наполнении резервуара;
- при окончании задержки (вещество готово покинуть блок);
- при опустошении резервуара.

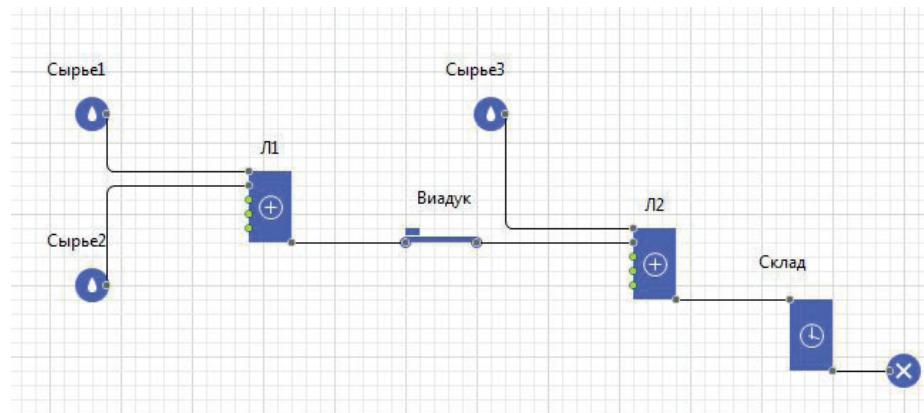


Рис. 1. Диаграмма производственных процессов в модели

Fig. 1. Diagram of production processes in the model

Виадук задается блоком Bulk Conveyor и транспортирует объемные или конденсирующиеся летучие вещества из одной точки в другую. По сравнению с трубой Pipeline, допускает образование зазоров и участков с различной «плотностью». Скорость потока на входе конвейера не обязательно равна скорости потока на его выходе. Конвейер транспортирует вещества с определенной максимальной скоростью.

Можно динамически изменять скорость конвейера, останавливать или перезапускать его. Вы можете получать доступ к содержимому конвейера, используя его функции. Конвейер воспринимает участки с различной плотностью как разные партии, даже если они будут являться партиями одного типа.

В модели можно изменять значения параметров, чтобы моделировать различные экономические сценарии и анализировать их динамику во времени.

Результаты

Результаты имитации

В рамках исследования предусмотрено проведение серии имитационных экспериментов с варьированием входных параметров системы. Программа эксперимента включает три сценария:

- Анализ реакции системы на изменение интенсивности входных сырьевых потоков.
- Исследование влияния пропускных характеристик виадука на системную динамику.
- Экспериментальная оценка воздействия технологических параметров производственных линий на общую производительность.

Каждый сценарий направлен на выявление критических зависимостей в функционировании системы.

Настройки для параметров сырья в модели такие, как на рис. 2.

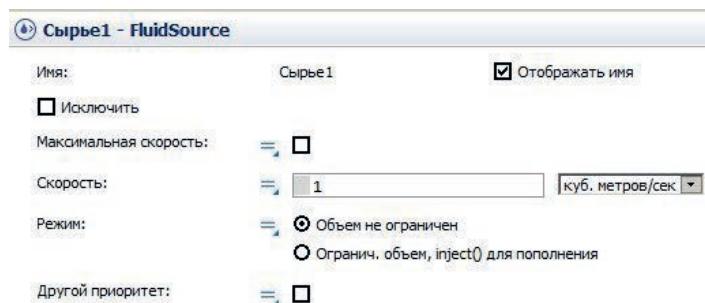


Рис. 2. Настройки блоков сырья

Fig. 2. Settings of raw material blocks

Настройки для параметров линий в модели представлены на рис. 3, 4.

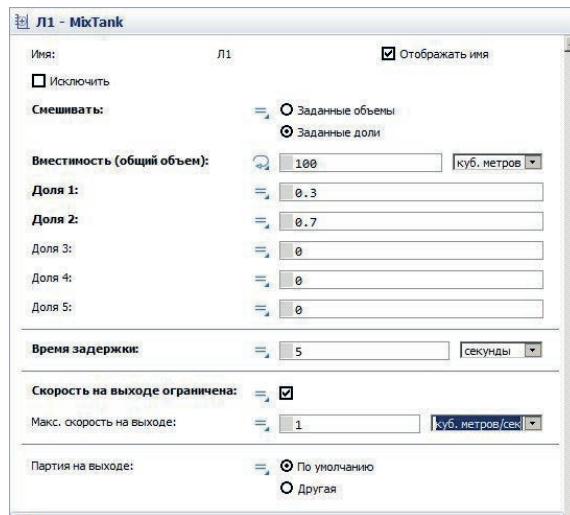


Рис. 3. Настройки линии 1

Fig. 3. Line settings 1

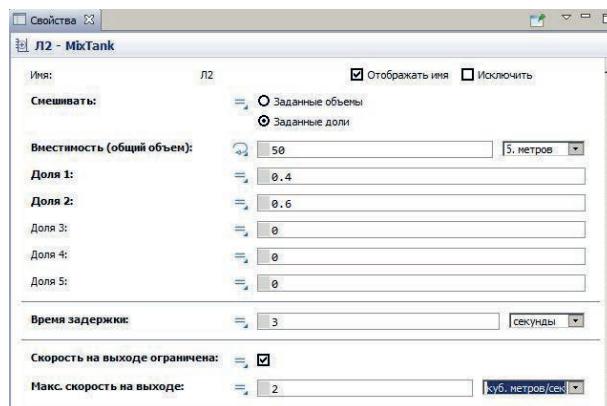


Рис. 4. Настройки линии 2

Fig. 4. Line settings 2

Настройки для параметров виадука и склада в модели представлены на рис. 5, 6.

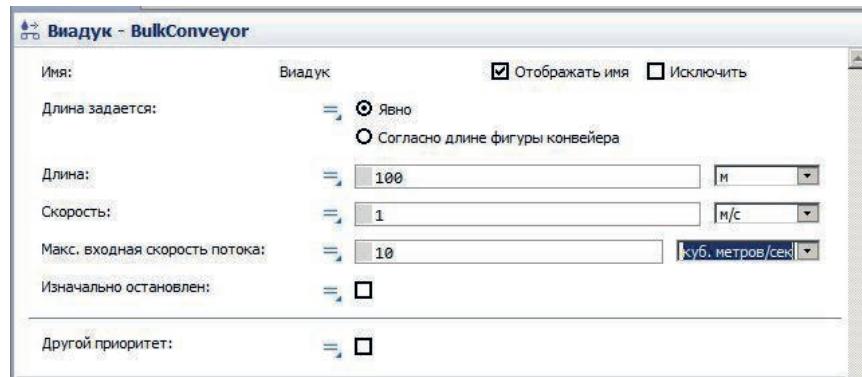


Рис. 5. Настройки виадука

Fig. 5. Viaduct settings

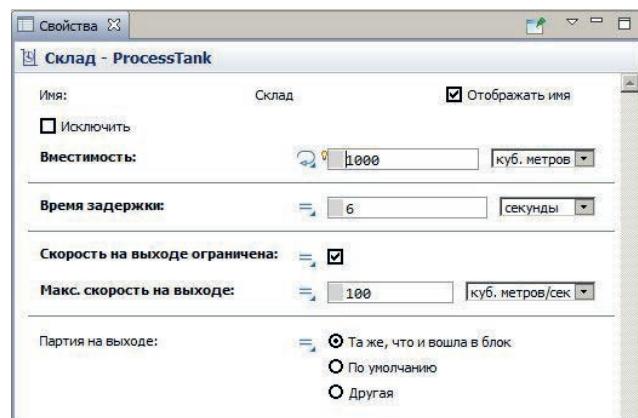


Рис. 6. Настройки склада

Fig. 6. Warehouse settings

По результатам моделирования на формирование партии продукции затрачено 1,570 сек. модельного времени, при этом израсходовано Сырья1 – 233 ед., Сырья2 – 513 ед., Сырья3 – 420 ед. (см. рис. 7).

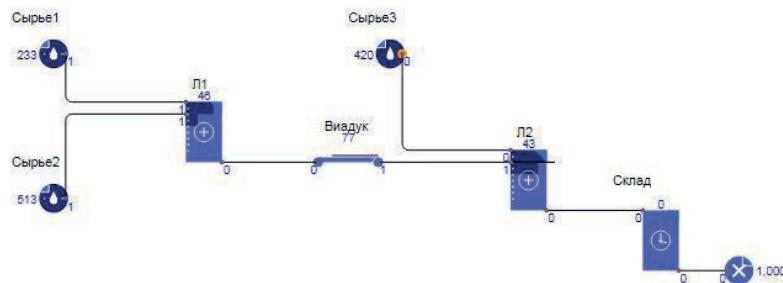


Рис. 7. Результаты имитации

Fig. 7. Simulation results

Далее в модели изменена длина виадука на 150 м. По результатам моделирования на формирование партии продукции затрачено 1,754 сек., что больше на 0,2, чем при длине виадука 100.

Изменив параметры линий, согласно рис. 8, 9, получили в ходе имитации, что повышение емкости производственных линий увеличило время формирования партии продукции на 0,2 ед. модельного времени.

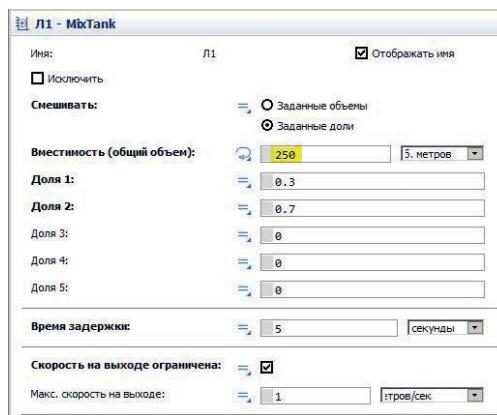


Рис. 8. Параметры линии 1

Fig. 8. Line parameters 1

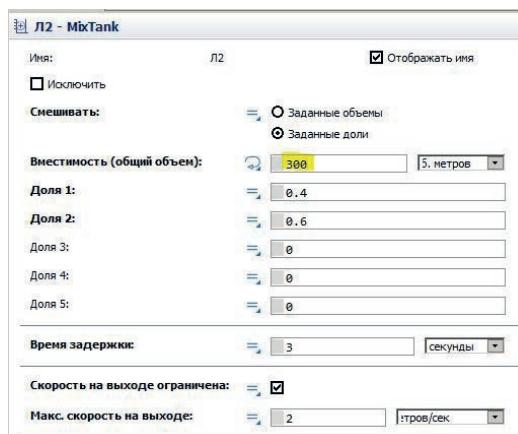


Рис. 9. Параметры линии 2

Fig. 9. Parameters of line 2

Полученные результаты имитационного моделирования обеспечивают возможность:

- Многовариантного анализа экономических режимов функционирования системы.
- Оптимизации ресурсного распределения.
- Прогнозирования объемов выпуска продукции.
- Оценки временных параметров производственного цикла.

Выявленные закономерности формируют доказательную базу для принятия управленческих решений и комплексной оценки эффективности виадукных производственных линий.

Применение имитационного моделирования демонстрирует высокую практическую значимость для задач экономического планирования и анализа производственной эффективности на промышленных предприятиях (Веремчук, Привалова, Боробьева, 2024).

Имитационное моделирование доказало свою эффективность как инструмент поддержки управленческих решений. Его применение позволяет промышленным предприятиям достигать значительного экономического эффекта за счет:

- Минимизации финансовых рисков.
- Повышения обоснованности управленческих решений.
- Оптимизации производственных процессов.

Современные промышленные предприятия могут использовать имитационное моделирование как инструмент поддержки управленческих решений. Данный подход позволяет:

- анализировать производственные процессы в динамике;
- оптимизировать использование ресурсов;
- прогнозировать экономические показатели.

Исследования имитационных моделей позволяют изучать процессы снижения себестоимости продукции, увеличения производительности, сокращения времени переналадки оборудования и многие другие.

Метод особенно эффективен для:

- балансировки производственных линий;
- планирования инвестиций;
- оценки эффективности модернизации.

Выводы

Для эффективного решения задач проектирования производственных линий в статье приводится пример использования методов имитационного моделирования. Рассматривается создание и анализ имитационной модели производственных линий, соединенных виадуком. Основной целью работы является моделирование альтернативных экономических режимов работы про-

изводственных линий виадукного типа с последующей формализацией рекомендаций по совершенствованию их функционирования. Техническая реализация модели выполнена в AnyLogic с применением библиотеки FluidLibrary для моделирования материальных потоков. Ключевые аналитические возможности разработанного инструмента: многовариантный анализ при различной сырьевой базе, продолжительности операций; диагностика узких мест системы; оптимизация производственных показателей.

В исследовании обоснована эффективность имитационных методов при решении задач ресурсной оптимизации в производственном планировании. Имитационная модель может служить методологической основой для решения задач ресурсной оптимизации, анализа производственных процессов и экономического планирования деятельности предприятий. Использование имитационного моделирования при создании производственных линий с виадуком способствует достижению наилучшего экономического результата от реализации проектов. Результаты исследования имеют прикладное значение для управления материальными потоками в производственных системах.

Построенная имитационная модель легко адаптируется и настраивается под различные виды производств.

Источники

- Антипов В. И., Митин Н. А., Пащенко Ф. Ф. (2019) Макроэкономическая имитационная модель развития мировой экономики. Препринты ИПМ им. М. В. Келдыша, № 153, 20 с. DOI: 10.20948/prepr-2019-153.
- Боев В. Д. (2021) Компьютерное моделирование в среде AnyLogic. М., Юрайт, 298 с.
- Бушуева М. А., Масюк Н. Н., Брагина З. В., Илюхина А. С. (2022) Превращение экономики региона в экосистему в парадигме цифрового развития. Азимут научных исследований: экономика и управление, № 11 (3), с. 13–18.
- Веремчук Н. С. (2023) О формировании цифровой грамотности студентов на базе имитационного модельного подхода. Наука о человеке: гуманитарные исследования, т. 17, № 3, с. 179–187. DOI: 10.57015/issn1998-5320.2023.17.3.19.
- Веремчук Н. С. (2024) О математических моделях размещения оборудования при проектировании и реконструкции предприятий. Вестник кибернетики, т. 23, № 4, с. 92–99.
- Веремчук Н. С., Куликова О. М. (2024) Информационные технологии как инструмент экономического планирования и управления городской средой в современных условиях. Актуальные проблемы экономики и менеджмента, № 1 (41), с. 14–22.
- Веремчук Н. С., Привалова Ю. И., Воробьева Е. В. (2024) Использование имитационного моделирования в экономическом планировании при выборе эффективных производственных линий. Наука о человеке: гуманитарные исследования, том 18, № 3, с. 203–211. DOI: 10.57015/issn1998-5320.2024.18.3.19.
- Гейда А. С. (2022) Пример и направления совершенствования моделирования использования информационных технологий для получения результатов функционирования систем. Современные научные технологии, № 12-2, с. 199–210.
- Макаров В. Л., Бахтизин А. Р., Бекларян Г. Л., Акопов А. С., Ровенская Е. А., Стрелковский Н. В. (2022) Агентное моделирование социально-экономических последствий миграции при государственном регулировании занятости. Экономика и математические методы, т. 58, № 1, с. 113–130.
- Масюк Н. Н., Бушуева М. А., Герасимова А. А. (2022) Концепция экосистем в экономике знаний: теоретический базис. Естественно-гуманитарные исследования, № 44 (6), с. 208–212.
- Масюк Н. Н., Герасимова А. А., Бушуева М. А. (2023) Цифровая финансовая грамотность и цифровые финансовые компетенции в управлении знаниями. Креативная экономика, № 17 (5), с. 1637–1654.
- Мельникова Ю. В. (2022) Компьютерное моделирование инвестиционного риска на основе показателя VALUE-AT-RISK. Математическое и компьютерное моделирование в экономике, страховании и управлении рисками, № 7, с. 94–98.
- Banks J. et al. (2014) Discrete-Event System Simulation. Pearson, 568 p.
- Beklaryan L., Khachatryan N., Akopov A. (2019) Model for organization cargo transportation at resource restrictions. International Journal of Applied Mathematics, vol. 32, no. 4, pp. 627–640.
- Jia Q., Jiao L., Lian X., Wang W. (2023) Linking supply-demand balance of ecosystem services to identify ecological security patterns in urban agglomerations. Sustainable Cities and Society, vol. 92, 104497.
- Kar E., Eldabi T., Fakhimi M. (2022) Hybrid simulation in healthcare: a review of the literature. Conference: 2022 Winter Simulation Conference (WSC). DOI: 10.1109/WSC57314.2022.10015418.
- Kritzinger W., Karner M., Traar G., Henjes J. (2018) Digital Twin in Manufacturing: A Categorical Literature Review. IFAC-PapersOnLine. DOI: 10.1016/j.ifacol.2018.08.474.

Lee J., Wu H., Yun H., Kim H. (2019) Predictive maintenance of machine tools using artificial intelligence technical applied to machine condition data. *Procedia CIRP* 80:506-511. DOI: 10.1016/j.procir.2018.12.019.

Railsback S. F., Grimm V. (2019) *Agent-Based and Individual-Based Modeling. A Practical Introduction*, Second Edition, Princeton: Princeton University Press, 340 p.

Tao F., Qi Q., Wang L., Y C Nee A. (2019) Digital Twins and Cyber-Physical Systems toward Smart Manufacturing and Industry 4.0: Correlation and Comparison. *Engineering*, no. 5(4), pp. 653-661.

References

- Antipov V. I., Mitin N. A., Pashchenko F. F. (2019) Makroekonomiceskaya imitatsionnaya model' razvitiya mirovoy ekonomiki [Macroeconomic simulation model of global economic development]. *Preprints of the Keldysh Institute of Applied Mathematics*, no. 153, 20 p. DOI: 10.20948/prepr-2019-153 (In Russian).
- Banks J. et al. (2014) *Discrete-Event System Simulation*. Pearson, 568 p.
- Beklaryan L., Khachatryan N., Akopov A. (2019) Model for organization cargo transportation at resource restrictions. *International Journal of Applied Mathematics*, vol. 32, no. 4, pp. 627-640.
- Boyev V. D. (2021) *Komp'yuternoye modelirovaniye v srede AnyLogic* [Computer modeling in the AnyLogic environment]. Moscow, Yurait Publ., 298 p. (In Russian).
- Bushuyeva M. A., Masyuk N. N., Bragina Z. V., Ilyukhina A. S. (2022) *Prevrashcheniye ekonomiki regiona v ekosistemu v paradigme tsifrovogo razvitiya* [Transformation of a Region's Economy into an Ecosystem in the Digital Development Paradigm]. *Azimuth of Scientific Research: Economics and Administration*, no. 11 (3), pp. 13-18 (In Russian).
- Geida A. S. (2022) *Primer i napravleniya sovershenstvovaniya modelirovaniya ispol'zovaniya informatsionnykh tekhnologiy dlya polucheniya rezul'tatov funktsionirovaniya sistem* [An example and directions for improving the modeling of the use of information technologies to obtain the results of the functioning of systems]. *Modern high technologies*, no. 12-2, pp. 199-210 (In Russian).
- Jia Q., Jiao L., Lian X., Wang W. (2023) Linking supply-demand balance of ecosystem services to identify ecological security patterns in urban agglomerations. *Sustainable Cities and Society*, vol. 92, 104497.
- Kar E., Eldabi T., Fakhimi M. (2022) Hybrid simulation in healthcare: a review of the literature. Conference: 2022 Winter Simulation Conference (WSC). DOI: 10.1109/WSC57314.2022.10015418.
- Kritzinger W., Karner M., Traar G., Henjes J. (2018) Digital Twin in Manufacturing: A Categorical Literature Review. *IFAC-PapersOnLine*. DOI: 10.1016/j.ifacol.2018.08.474.
- Lee J., Wu H., Yun H., Kim H. (2019) Predictive maintenance of machine tools using artificial intelligence technical applied to machine condition data. *Procedia CIRP* 80:506-511. DOI: 10.1016/j.procir.2018.12.019.
- Makarov V. L., Bakhtizin A. R., Beklaryan G. L., Akopov A. S., Rovenskaya Ye. A., Strelkovskiy N. V. (2022) *Agentnoye modelirovaniye sotsial'no-ekonomiceskikh posledstviy migratsii pri gosudarstvennom regulirovaniyu zanyatosti* [Agent-based modeling of socio-economic consequences of migration under state regulation of employment]. *Economics and Mathematical Methods*, vol. 58, no. 1, pp. 113-130 (In Russian).
- Masyuk N. N., Bushuyeva M. A., Gerasimova A. A. (2022) *Kontsepsiya ekosistem v ekonomike znanii: teoretycheskiy bazis* [The concept of ecosystems in the knowledge economy: theoretical basis]. *Natural Humanitarian Studies*, no. 44 (6), pp. 208-212 (In Russian).
- Masyuk N. N., Gerasimova A. A., Bushuyeva M. A. (2023) *Tsifrovaya finansovaya gramotnost' i tsifrovyye finansovyye kompetentsii v upravlenii znaniiami* [Digital financial literacy and digital financial competencies in knowledge management]. *Journal of Creative Economy*, no. 17 (5), pp. 1637-1654 (In Russian).
- Melnikova Yu. V. (2022) *Komp'yuternoye modelirovaniye investitsionnogo riska na osnove pokazatelya VALUE-AT-RISK* [Computer modeling of investment risk based on the VALUE-AT-RISK indicator]. *Matematicheskoye i komp'yuternoye modelirovaniye v ekonomike, strakhovanii i upravlenii riskami* - Mathematical and computer modeling in economics, insurance and risk management, no. 7, pp. 94-98 (In Russian).
- Railsback S. F., Grimm V. (2019) *Agent-Based and Individual-Based Modeling. A Practical Introduction*, Second Edition, Princeton: Princeton University Press, 340 p.
- Tao F., Qi Q., Wang L., Y C Nee A. (2019) Digital Twins and Cyber-Physical Systems toward Smart Manufacturing and Industry 4.0: Correlation and Comparison. *Engineering*, no. 5(4), pp. 653-661.
- Veremchuk N. S. (2023) *O formirovaniyu tsifrovoy gramotnosti studentov na baze imitatsionnogo model'nogo podkhoda* [Development of students' digital literacy skills through the simulation model approach]. *Russian Journal of Social Sciences and Humanities*, vol. 17, no. 3, pp. 179-187. DOI: 10.57015/issn19985320.2023.17.3.19 (In Russian)
- Veremchuk N. S. (2024) *O matematicheskikh modelyakh razmeshcheniya oborudovaniya pri proyektirovaniyu i rekonstruktsii predpriyatiy* [On mathematical models of equipment placement in the design and reconstruction of enterprises]. *Proceedings in Cybernetics*, vol. 23, no. 4, pp. 92-99.
- Veremchuk N. S., Kulikova O. M. (2024) *Informatsionnye tekhnologii kak instrument ekonomicheskogo planirovaniya i upravleniya gorodskoy sredoy v sovremennykh usloviyakh* [Information technologies

as a tool for economic planning and management of the urban environment in modern conditions]. Actual problems of economics and management, no. 1 (41), pp. 14–22 (In Russian).

Veremchuk N. S., Privalova Yu. I., Vorobyova E. V. (2024) The use of simulation modeling in economic planning when choosing efficient production lines. Russian Journal of Social Sciences and Humanities, vol. 18, no. 3, pp. 203–211. DOI: 10.57015/issn1998-5320.2024.18.3.19.

Информация об авторе

Веремчук Наталья Сергеевна

Кандидат физико-математических наук, доцент кафедры цифровых технологий. Сибирский государственный автомобильно-дорожный университет (СибАДИ), г. Омск, РФ.
ORCID ID: oooo-ooo2-2709-9755.
E-mail: n-veremchuk@rambler.ru

Autor's information

Natalya S. Veremchuk

Cand. Sc. (Physics and Mathematics), Associate Professor of Digital Technologies Department. The Siberian State Automobile and Highway University, Omsk, Russian Federation.
ORCID ID: oooo-ooo2-2709-9755.
E-mail: n-veremchuk@rambler.ru