

МИНИСТЕРСТВО ТРАНСПОРТА РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ
ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ АВТОНОМНОЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ
УЧРЕЖДЕНИЕ ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ
«РОССИЙСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ ТРАНСПОРТА»
(РУТ (МИИТ))



Рабочая программа дисциплины (модуля),
как компонент образовательной программы
базового высшего образования
по специальности
23.05.04 Эксплуатация железных дорог,
утвержденной первым проректором ФГАОУ ВО
РУТ (МИИТ) Тимониным В.С.

РАБОЧАЯ ПРОГРАММА ДИСЦИПЛИНЫ (МОДУЛЯ)

Математическое моделирование на транспорте

Специальность: 23.05.04 Эксплуатация железных дорог

Специализация: Грузовая и коммерческая работа

Форма обучения: Очная

Рабочая программа дисциплины (модуля) в виде
электронного документа выгружена из единой
корпоративной информационной системы управления
университетом и соответствует оригиналу

Простая электронная подпись, выданная ФГАОУ ВО РУТ
(МИИТ)

ID подписи: 1343395

Подписал: И.о. заведующего кафедрой Тищенко Сергей
Александрович

Дата: 01.09.2026

1. Общие сведения о дисциплине (модуле).

Целями освоения дисциплины являются:

- формирование навыков системного анализа транспортных процессов;
- приобретение компетенций имитационного прогнозирования и оценки рисков;
- разработка обоснованных технико-экономических рекомендаций.

Задачами дисциплины являются:

- научить декомпозировать сложную инфраструктуру железнодорожной станции или полигона (пути, стрелки, локомотивы, бригады) на элементы математической системы массового обслуживания;
- освоить методы проведения вычислительных экспериментов для оценки последствий управленческих решений в условиях неопределенности;
- сформировать умение трансформировать результаты компьютерного моделирования в конкретные управленческие решения и инвестиционные проекты.

2. Планируемые результаты обучения по дисциплине (модулю).

Перечень формируемых результатов освоения образовательной программы (компетенций) в результате обучения по дисциплине (модулю):

ОПК-1 - Способен решать инженерные задачи в профессиональной деятельности, используя методы естественных наук, математического анализа и моделирования на основе фундаментальных знаний физики, математики и общетехнических дисциплин для формализации, расчёта и обоснования решений, направленных на развитие транспортных систем;

ПК-4 - Способен к проведению фундаментальных, прикладных, научных исследований с использованием современных методов и средств по транспортному обслуживанию грузоотправителей и грузополучателей на железнодорожном транспорте.

Обучение по дисциплине (модулю) предполагает, что по его результатам обучающийся будет:

Знать:

- основы теории систем массового обслуживания (СМО) и теорию графов (понимать математический смысл интенсивности входящего потока, времени обслуживания и коэффициента загрузки системы, классификацию СМО, принципы построения графа железнодорожной сети для формализации путевого развития станций);

- принципы дискретно-событийного и агентного имитационного моделирования, механизмы смены состояний системы в моменты наступления событий (прибытие, отправление поезда), законы распределения вероятностей (экспоненциальный, нормальный, треугольный), применяемые для описания транспортных процессов;

- методы планирования эксперимента и оценки адекватности моделей, принципы работы оптимизационных алгоритмов (генетические алгоритмы, метод вариации параметров) и критерии статистической значимости результатов (доверительные интервалы, погрешность измерений).

Уметь:

- формализовать инженерную задачу транспортного узла в виде концептуальной модели: переводить технические требования ОАО «РЖД», например, нормативы простоя вагонов или перерабатывающую способность горки, на язык математики, определять целевую функцию оптимизации, выделять управляемые факторы (количество путей) и ограничения (длина состава, мощность локомотива);

- реализовывать логику движения поездов и управления ресурсами в среде AnyLogic, создавать иерархию классов агентов («Поезд», «Вагон»), строить диаграммы процессов из блоков Enterprise Library (Source, Seize, Delay, Release) и настраивать пространственную разметку GIS-карт или Rail Network для визуализации перемещений;

- проводить вычислительные эксперименты и интерпретировать полученные данные: настраивать пакетные запуски (Batch Run) и параметрическую оптимизацию, собирать статистику через элементы Dataset, анализировать гистограммы задержек и тепловые карты занятости инфраструктуры для поиска узких мест (bottlenecks) станции.

Владеть:

- способностью самостоятельно создать работающую имитационную модель сортировочной станции или участка железной дороги «с нуля», включая калибровку модели по историческим данным натурных листов и подгонку распределений вероятностей под реальные эксплуатационные условия;

- опытом проведения сценарного анализа вариантов «Как есть» (As-Is) и «Как будет» (To-Be), умением рассчитать экономический эффект от предлагаемых мероприятий (сокращение потребного парка локомотивов, увеличение пропускной способности) и подготовить технико-экономическое обоснование проекта для защиты перед экспертной комиссией;

- навыком создания интерактивных панелей управления (Dashboard View) для наглядной демонстрации динамики процесса лицам, принимающим решения, а также способностью грамотно экспортировать массивы данных во внешние среды (MS Excel, CSV) для формирования итоговых отчетов согласно требованиям стандартизации научно-исследовательских работ.

3. Объем дисциплины (модуля).

3.1. Общая трудоемкость дисциплины (модуля).

Общая трудоемкость дисциплины (модуля) составляет 5 з.е. (180 академических часа(ов)).

3.2. Объем дисциплины (модуля) в форме контактной работы обучающихся с педагогическими работниками и (или) лицами, привлекаемыми к реализации образовательной программы на иных условиях, при проведении учебных занятий:

Тип учебных занятий	Количество часов		
	Всего	Семестр	
		№3	№4
Контактная работа при проведении учебных занятий (всего):	96	32	64
В том числе:			
Занятия лекционного типа	48	16	32
Занятия семинарского типа	48	16	32

3.3. Объем дисциплины (модуля) в форме самостоятельной работы обучающихся, а также в форме контактной работы обучающихся с педагогическими работниками и (или) лицами, привлекаемыми к реализации образовательной программы на иных условиях, при проведении промежуточной аттестации составляет 84 академических часа (ов).

3.4. При обучении по индивидуальному учебному плану, в том числе при ускоренном обучении, объем дисциплины (модуля) может быть реализован полностью в форме самостоятельной работы обучающихся, а также в форме контактной работы обучающихся с педагогическими работниками и (или) лицами, привлекаемыми к реализации образовательной программы на иных условиях, при проведении промежуточной аттестации.

4. Содержание дисциплины (модуля).

4.1. Занятия лекционного типа.

№ п/п	Тематика лекционных занятий / краткое содержание
1	Введение в математическое моделирование транспортных систем. Рассматриваемые вопросы: - роль имитационного моделирования в управлении железнодорожным транспортом; - классификация моделей: детерминированные, стохастические, аналитические и имитационные; - жизненный цикл модели: от постановки задачи до анализа результатов, критерии адекватности транспортной модели реальным процессам; - обзор среды разработки AnyLogic: интерфейс, палитры элементов, работа с Java-кодом внутри визуальной среды.
2	Теория очередей и системы массового обслуживания (СМО). Рассматриваемые вопросы: - основные компоненты СМО: входящий поток заявок, очередь, каналы обслуживания, дисциплина очереди; - показатели эффективности СМО: среднее время ожидания, длина очереди, коэффициент загрузки персонала и технических средств станции. - простейшие потоки событий (Пуассоновский поток) и экспоненциальное распределение времени обслуживания применительно к прибытию поездов.
3	Дискретно-событийное моделирование (Process-centric modeling). Рассматриваемые вопросы: - концепция диаграммы процессов (flowchart) в AnyLogic, переходы между состояниями объектов подвижного состава; - базовые блоки библиотеки Enterprise Library: Source (генерация составов), Queue (накопительные пути), Seize/Release (занятие стрелок и платформ), Delay (время стоянки); - логика маршрутизации вагонов по путям необщего пользования при помощи блока SelectOutput.
4	Моделирование прибытия и отправления поездов. Рассматриваемые вопросы: - настройка генераторов входящих потоков для разных категорий поездов (пассажирские, грузовые, пригородные), использование таблиц расписаний; - распределение интервалов между поездами, учет технологических окон в графике движения; - сбор статистики о задержках поездов перед входными сигналами станций.
5	Ресурсная логика и конфликты на инфраструктуре. Рассматриваемые вопросы: - понятие ресурса в AnyLogic (ResourcePool): станционные пути, маневровые локомотивы, бригады ПТО; - механизмы захвата и освобождения ресурсов, приоритизация заявок (например, пропуск пассажирского поезда перед грузовым); - моделирование враждебных маршрутов на горловинах станций и блокировка секций.
6	Параметрический анализ и планирование эксперимента. Рассматриваемые вопросы: - определение управляемых факторов (количество путей, число бригад) и выходных переменных (пропускная способность); - метод сценариев: сравнение вариантов развития инфраструктуры («как есть» vs «как будет»); - подготовка модели к прогону нескольких репликаций для исключения случайной ошибки измерений.
7	Анализ результатов моделирования. Рассматриваемые вопросы: - инструменты сбора данных в AnyLogic: наборы данных (Data Set), временные графики,

№ п/п	Тематика лекционных занятий / краткое содержание
	гистограммы распределения задержек; - расчет доверительных интервалов для средних значений показателей работы транспортного узла; - визуализация узких мест (bottlenecks) железнодорожной станции через тепловые карты занятости путей.
8	Экспорт результатов и интеграция моделей. Рассматриваемые вопросы: - способы выгрузки статистических отчетов в форматы Excel и CSV для дальнейшей обработки; - создание интерактивных элементов управления (бегунки, кнопки) для изменения параметров модели во время выполнения; - основы подключения внешних Java-библиотек для реализации сложных алгоритмов диспетчеризации.
9	Агентное моделирование (Agent-based approach). Рассматриваемые вопросы: - отличие агентного подхода от дискретно-событийного, вагоны, поезда и локомотивы как автономные агенты со своим состоянием; - диаграмма состояний агента (Statechart): состояния «Ожидание», «Движение», «Ремонт», «Маневровая работа»; - организация взаимодействия агентов через посылку сообщений и функции синхронизации.
10	Интеграция с геоинформационными системами (GIS). Рассматриваемые вопросы: - железнодорожная сеть как граф, загрузка карт OpenStreetMap и Shape-файлов железных дорог в AnyLogic; - привязка координат модели к географическим координатам, прокладка маршрутов по существующей ж/д сети РФ; - визуализация движущихся поездов на масштабируемой карте страны или региона.
11	Физическая динамика и кинематика движения. Рассматриваемые вопросы: - библиотека Rail Library: элементы пути (Track), точки сочленения (Junction), тупики; - задание тяговых характеристик локомотивов, расчет кривых скорости и замедления на перегонах с учетом профиля пути; - соблюдение сигналов светофоров (блок-участков) и скоростных ограничений.
12	График движения поездов (ГДП). Рассматриваемые вопросы: - математическая постановка задачи построения ГДП, твердые нитки графика; - алгоритмы разрешения конфликтов встречного и попутного следования поездов на однопутных линиях (скрещения и обгоны); - оценка влияния опоздания одного поезда на весь участок железной дороги (эффект домино).
13	Контейнерные терминалы и порты. Рассматриваемые вопросы: - специфика моделирования мультимодальных перевозок, взаимодействие железной дороги с морским портом; - логика работы козловых кранов (STS), ричстакеров и автопогрузчиков в AnyLogic (Material Handling Library — обзорно); - оптимизация размещения контейнеров на тыловом поле терминала (yard management).
14	Рассматриваемые вопросы: Рассматриваемые вопросы: - решения линейного дифференциального уравнения второго порядка с постоянными коэффициентами с краевыми условиями 1-го рода сведением задачи методом конечных разностей к СЛАУ;

№ п/п	Тематика лекционных занятий / краткое содержание
	- решение СЛАУ методами простой итерации и Зейделя; - решение задачи в программной среде Smath Studio, включая встроенные функции ПО.
15	Надежность технических средств и ремонты. Рассматриваемые вопросы: - внедрение отказов в модель: интенсивность отказов стрелочных переводов, устройств АЛС, контактной сети; - стратегии технического обслуживания и ремонта (ТОР): планово-предупредительный ремонт против ремонта по состоянию; - оценка влияния закрытого пути на пропускную способность участка (коэффициент надежности).
16	Линейное программирование в задачах транспорта. Рассматриваемые вопросы: - транспортная задача: оптимальное закрепление вагонопотоков за опорными станциями, постановка задачи линейного программирования (ЛП); - целевая функция (минимум тонно-километров брутто) и ограничения (наличие порожних вагонов, перерабатывающая способность станций); - вызов встроенного оптимизатора AnyLogic изнутри запущенной имитационной модели.
17	Нелинейная оптимизация и генетические алгоритмы. Рассматриваемые вопросы: - поиск глобального максимума прибыли перевозчика при нелинейном спросе на перевозки; - принцип работы генетического алгоритма (ГА) в OptQuest for AnyLogic. Кодирование параметров (мутации, скрещивание решений); - применение ГА для поиска идеального интервала попутного следования поездов.
18	Двухсторонняя связь: Оптимизация + Имитация. Рассматриваемые вопросы: - использование имитационной модели как «черного ящика» для оптимизатора; - калибровка параметров модели по историческим данным ОАО «РЖД»; - автоматический подбор кратчайших путей для тысяч отправок грузов одновременно.
19	Масштабируемость и высокопроизводительные вычисления. Рассматриваемые вопросы: - методы ускорения прогонов модели: отключение 3D-анимации, использование параллельных потоков CPU; - проведение облачных экспериментов на кластере для оценки рисков крупных инвестиционных проектов строительства ВСМ.
20	Безопасность движения и человеческий фактор. Рассматриваемые вопросы: - стохастическое моделирование ошибок диспетчера или машиниста; - вероятностные задержки при принятии решений; - проверка устойчивости системы управления движением к критическим сбоям (stress-testing).
21	Экономика и КРІ транспортного моделирования. Рассматриваемые вопросы: - перевод технической статистики в финансовые показатели: стоимость часа простоя вагона, расход топлива, амортизация инфраструктуры; - расчет чистого дисконтированного дохода (NPV) от внедрения новой системы диспетчеризации.
22	Стандартизация и документирование моделей. Рассматриваемые вопросы: - требования к оформлению рабочей документации имитационной модели согласно отраслевым стандартам; - версионирование моделей и совместная разработка проекта несколькими студентами.

№ п/п	Тематика лекционных занятий / краткое содержание
23	Предобработка больших данных (Big Data) для моделей. Рассматриваемые вопросы: - загрузка исторических массивов исполненного графика движения (ГИД «Урал-ВНИИЖТ») в модель; - очистка данных от выбросов перед калибровкой распределений вероятностей.
24	Итоговое занятие. Тенденции цифровизации РЖД. Рассматриваемые вопросы: - цифровые двойники станций; - использование моделей для обучения оперативного персонала в режиме реального времени; - обзор перспектив применения цифровых технологий на транспорте.

4.2. Занятия семинарского типа.

Лабораторные работы

№ п/п	Наименование лабораторных работ / краткое содержание
1	Знакомство со средой AnyLogic. В результате лабораторного занятия студент научится устанавливать учебную версию AnyLogic, создавать новый проект, ориентироваться в рабочем пространстве и настраивать единицы измерения времени (масштаб модельного времени под график движения поездов).
2	Построение простейшей одноканальной СМО. В результате лабораторного занятия студент научится использовать блоки Source, Queue, Delay, Sink из Enterprise Library для моделирования процесса прохождения одного поезда через однопутный перегон или пост ЭЦ.
3	Многоканальное обслуживание и накопление. В результате лабораторного занятия студент научится настраивать многоканальные узлы (несколько приёмо - отправочных путей), задавать разные типы заявок (поездов) и собирать статистику длины очереди на входе в парк приема.
4	Работа с ресурсами (маневровые средства). В результате лабораторного занятия студент научится создавать пул ресурсов (локомотивов), назначать их заявкам на этапе перестановки вагонов и отслеживать простой техники с помощью графиков утилизации.
5	Моделирование приоритетов. В результате лабораторного занятия студент научится внедрять логику приоритизации (используя параметры задержки в очереди), позволяющую пассажирским поездам проходить без ожидания, пока заняты пути грузовыми составами.
6	Сложная топология станции. В результате лабораторного занятия студент научится строить схему разветвленной сети путей с использованием блоков Enter и Exit, имитируя движение поездов по изолированным участкам реальной станции.
7	Планирование экспериментов (Эксперименты варьирования). В результате лабораторного занятия студент научится запускать параметрический эксперимент (Parameter Variation), автоматически меняя количество приёмо - отправочных путей и собирая таблицу зависимости среднего времени простоя от емкости парка.
8	Формирование итогового отчета В результате лабораторного занятия студент научится конструировать панель управления моделью, экспортировать данные о загруженности инфраструктуры в MS Excel и оформлять выводы об оптимальной структуре исследуемого узла.

№ п/п	Наименование лабораторных работ / краткое содержание
9	Создание первого агента «Вагон». В результате лабораторного занятия студент научится создавать собственный тип агента, рисовать его диаграмму состояний (свойства груза, статус чистоты, техническое состояние) и переключать эти состояния по таймеру.
10	Построение GIS-модели полигона. В результате лабораторного занятия студент научится импортировать карту реальных железных дорог, расставлять объекты инфраструктуры (станции, развязки) по GPS-координатам и прокладывать маршруты между ними.
11	Работа с Rail Library: путь и сигналы. В результате лабораторного занятия студент научится строить точную геометрическую модель участка пути, размещать светофоры и писать код остановки поезда при запрещающем показании.
12	Тяговые расчеты в динамике. В результате лабораторного занятия студент научится задавать силу тяги и тормозные характеристики электровоза, наблюдая за изменением кинетической энергии поезда на подъемах и спусках.
13	Встречные скрещения на однопутной линии. В результате лабораторного занятия студент научится программировать логику дежурных по станции: автоматическое принятие решения о приеме поезда на боковой путь для пропуска встречного (конфликт-менеджмент).
14	Модель сортировочной горки. В результате лабораторного занятия студент научится моделировать процесс роспуска состава: ускорение вагонов на уклоне, автоматическое направление отцепов на пути накопления через SelectOutput по заданному плану формирования.
15	Погрузка и разгрузка у клиента. В результате лабораторного занятия студент научится связывать события в модели железной дороги с производственным циклом предприятия (начало погрузки только после фиксации отцепки вагона).
16	Оптимизация порожнего рейса. В результате лабораторного занятия студент научится формулировать задачу ЛП внутри AnyLogic для минимизации пробега порожних вагонов и находить решение встроенным солвером.
17	Генетический алгоритм для настройки тарифа. В результате лабораторного занятия студент научится настраивать эксперимент оптимизации, где целевой функцией является максимальная прибыль компании, зависящая от эластичного спроса клиентов на перевозки.
18	ММО-модель (Multi-input-multi-output). В результате лабораторного занятия студент научится управлять сложной системой с множеством взаимосвязанных выходов (например, одновременная оптимизация срока доставки и затрат на электроэнергию).
19	Отказоустойчивость инфраструктуры. В результате лабораторного занятия студент научится внедрять блоки генерации случайных поломок и оценивать падение пропускной способности участка при разной периодичности техобслуживания.
20	Интерфейс пользователя (Main View). В результате лабораторного занятия студент научится создавать профессиональный пользовательский интерфейс: вкладки, таблицы текущих операций, анимированные индикаторы занятости парков.
21	Пакетный запуск сценариев (Batch Run). В результате лабораторного занятия студент научится настраивать автоматический прогон десятков

№ п/п	Наименование лабораторных работ / краткое содержание
	комбинаций исходных данных (разные объемы погрузки, разное количество локомотивов) без ручного вмешательства.
22	Импорт исторических данных. В результате лабораторного занятия студент научится подключаться к внешним источникам данных (Excel/CSV) для инициализации модели текущими остатками вагонов на сети.
23	Калибровка модели. В результате лабораторного занятия студент научится подбирать коэффициенты неизвестных параметров модели так, чтобы выходные данные совпадали с фактической статистикой работы железной дороги за прошлый месяц.
24	Защита курсового проекта. В результате лабораторного занятия студент научится проводить презентацию разработанной модели, аргументированно защищать выбранные допущения и демонстрировать экономический эффект от предлагаемых управленческих решений.

4.3. Самостоятельная работа обучающихся.

№ п/п	Вид самостоятельной работы
1	Работа с лекционным материалом.
2	Работа с учебной литературой.
3	Текущая подготовка к занятиям.
4	Подготовка к промежуточной аттестации.
5	Подготовка к текущему контролю.

5. Перечень изданий, которые рекомендуется использовать при освоении дисциплины (модуля).

№ п/п	Библиографическое описание	Место доступа
1	Горев, А. Э. Теория транспортных процессов и систем : учебник для среднего профессионального образования / А. Э. Горев. — 3-е изд., испр. и доп. — Москва : Издательство Юрайт, 2025. — 193 с. — (Профессиональное образование). — ISBN 978-5-534-13578-7. 2025	https://urait.ru/bcode/562014
2	Кудрявцев, В. Б. Теория автоматов : учебник для вузов / В. Б. Кудрявцев, Э. Э. Гасанов, А. С. Подколзин. — 2-е изд. — Москва : Издательство Юрайт, 2025. — 199 с. — (Высшее образование). — ISBN 978-5-534-15339-2. 2025	: https://urait.ru/bcode/569495
3	Гужин, И. Н. Моделирование транспортных процессов : методические указания / И. Н. Гужин. — Самара : СамГАУ, 2024. — 26 с. — Текст :	https://e.lanbook.com/book/421802

	электронный // Лань : электронно-библиотечная система. 2024	
4	Ланских, Ю. В. Киберфизические системы : учебное пособие / Ю. В. Ланских, В. Г. Ланских. — Киров : ВятГУ, 2022. — 196 с. — Текст : электронный // Лань : электронно-библиотечная система 2022	https://e.lanbook.com/book/408545

6. Перечень современных профессиональных баз данных и информационных справочных систем, которые могут использоваться при освоении дисциплины (модуля).

- Научно-техническая библиотека РУТ (МИИТ) (<http://library.miit.ru>).
- Образовательная платформа «Юрайт» (<https://urait.ru/>).
- Электронно-библиотечная система издательства «Лань» (<https://e.lanbook.com/>).
- Поисковые системы: <http://www.google.ru/>; <http://www.yandex.ru>.

7. Перечень лицензионного и свободно распространяемого программного обеспечения, в том числе отечественного производства, необходимого для освоения дисциплины (модуля).

- Microsoft Edge (или другой браузер).
- Операционная система Microsoft Windows.
- Microsoft Office.
- Программная среда Smath Studio (Облачная версия: <https://smath.com/ru-RU/cloud>)
- Программная среда AnyLogic (учебной версии (University Edition)) <https://prd.anylogic.fr/downloads/>

8. Описание материально-технической базы, необходимой для осуществления образовательного процесса по дисциплине (модулю).

Лекционная аудитория, оснащённая компьютерной техникой и наборами демонстрационного оборудования.

Аудитория для проведения лабораторных работ, оснащенная персональными компьютерами.

9. Форма промежуточной аттестации:

Зачет в 3, 4 семестрах.

10. Оценочные материалы.

Оценочные материалы, применяемые при проведении промежуточной аттестации, разрабатываются в соответствии с локальным нормативным актом РУТ (МИИТ).

Авторы:

доцент, доцент, к.н. кафедры
«Математическое моделирование
сложных систем» Института
железнодорожного транспорта

Е.В. Родина

Согласовано:

и.о. заведующего кафедрой ЛТСТ

А.С. Сеницына

и.о. заведующего кафедрой ММСС

С.А. Тищенко

Председатель учебно-методической
комиссии

Н.А. Андриянова