

МИНИСТЕРСТВО ПРОСВЕЩЕНИЯ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

Министерство образования и молодежной политики

Свердловской области

Управление образования Администрации

муниципального округа Сухой Лог

МАОУ СОШ № 7

РАССМОТРЕНО
Руководитель
методического
объединения



Е.М.Гаврилова
Протокол № 5
от «11» июня 2026 г.

СОГЛАСОВАНО
Заместитель директора
по УВР



И.И. Пивоварова
«11» июня 2026 г.

УТВЕРЖДЕНО
И.о. директора
МАОУ СОШ № 7



Е.А. Викулова
Приказ № 99
от «15» июня 2026 г.

РАБОЧАЯ ПРОГРАММА

внеурочной деятельности

«МАТЕМАТИЧЕСКИЕ МОДЕЛИ В МЕТАЛЛУРГИИ»

для обучающихся 10-11 классов

Сухой Лог
2026

1. ПОЯСНИТЕЛЬНАЯ ЗАПИСКА

1.1. Нормативно-правовая основа

Программа разработана на основе следующих нормативных документов:

- Федеральный закон от 29.12.2012 № 273-ФЗ «Об образовании в Российской Федерации»;
- Федеральный государственный образовательный стандарт среднего общего образования (ФГОС СОО);
- Федеральная образовательная программа среднего общего образования (ФОП СОО), утверждённая приказом Министерства просвещения Российской Федерации от 18.05.2023 № 371 (с изменениями);
- Образовательный стандарт Свердловской области **«Инженерный класс.66»**, утверждённый решением регионального учебно-методического объединения от 29 августа 2025 года по приоритетным региональным инженерно-техническим отраслям: **машиностроение и металлообработка, чёрная и цветная металлургия**. В перспективе программа может быть расширена для охвата смежных направлений — химической промышленности и информационных технологий;
- Концепция развития математического образования в Российской Федерации;
- Стратегия развития воспитания в Российской Федерации на период до 2025 года;
- Региональный проект **«Уральская инженерная школа 2.0»** (2025–2030 годы);
- Методические рекомендации Института развития образования Свердловской области по организации инженерных классов.

1.2. Актуальность программы

Свердловская область — один из ведущих промышленных регионов Российской Федерации, где сосредоточены мощные предприятия **чёрной и цветной металлургии, машиностроения и металлообработки**. Подготовка инженерных кадров для этих отраслей является стратегической задачей регионального проекта **«Уральская инженерная школа 2.0»**, который предполагает формирование Уральского образовательного инженерного кластера за счёт интеграции ресурсов системы образования и промышленного сектора.

Стандарт **«Инженерный класс.66»** задаёт единые требования к содержанию, результатам и формам инженерного образования в школах Свердловской области. Ключевая роль в его реализации отводится **ресурсным**

школам, которые осуществляют методическое сопровождение школ-спутников. В 2026 году определён состав 18 школ-спутников, закреплённых за ресурсными школами, разработаны дорожные карты сетевого взаимодействия, включающие совместные лабораторные практикумы, воспитательные мероприятия инженерной направленности и стажировки педагогов.

Современная металлургия — это высокотехнологичная отрасль, где математическое моделирование становится неотъемлемой частью технологических процессов: от оптимизации доменной плавки до прогнозирования свойств новых сплавов. Цифровизация промышленности требует специалистов, владеющих методами математического моделирования, численными методами, навыками работы с большими данными и языками программирования. Внеурочный курс **«Математические модели в металлургии»** является частью этой системы и обеспечивает:

- формирование у обучающихся представления о роли математического моделирования в современной промышленности;
- развитие практических навыков построения и исследования математических моделей технологических процессов;
- интеграцию знаний из математики, физики, химии и информатики для решения прикладных инженерных задач;
- подготовку к осознанному выбору инженерных профессий в металлургической, машиностроительной и смежных отраслях.

1.3. Цели и задачи программы

Цель программы: формирование у обучающихся целостного представления о математическом моделировании как инструменте исследования и оптимизации технологических процессов в металлургии, развитие навыков построения, анализа и применения математических моделей для решения прикладных инженерных задач, а также профессиональная ориентация в инженерно-технических направлениях, приоритетных для Свердловской области — **чёрная и цветная металлургия, машиностроение и металлообработка.**

Задачи программы:

1. Образовательные:

- познакомить с основами математического моделирования, классификацией моделей и этапами их построения;
- сформировать понимание физико-химических основ металлургических процессов как объектов моделирования;
- освоить основные методы построения математических моделей (аналитические, эмпирические, численные);

- сформировать навыки работы с программными средствами для математического моделирования (электронные таблицы, языки программирования, специализированное ПО);
- познакомить с примерами применения математических моделей на предприятиях металлургического комплекса Свердловской области;
- сформировать представление о цифровых двойниках технологических процессов и их роли в современной промышленности.

2. Развивающие:

- развивать инженерное и системное мышление;
- формировать исследовательские и проектные компетенции;
- развивать умение анализировать, интерпретировать и представлять результаты моделирования;
- формировать навыки работы с большими объёмами данных и их статистической обработки.

3. Воспитательные и профориентационные:

- формировать естественно-научное мировоззрение и понимание роли математики в современной промышленности;
- содействовать профессиональному самоопределению в инженерно-технической сфере;
- знакомить с предприятиями металлургического комплекса Свердловской области через решение прикладных кейс-задач, экскурсии и встречи со специалистами;
- воспитывать ответственное отношение к безопасности труда и охране окружающей среды.

1.4. Планируемые результаты освоения курса

В соответствии со стандартом «**Инженерный класс.66**», выпускник инженерного класса должен демонстрировать:

Личностные результаты:

- готовность к осознанному выбору профессии в инженерно-технической сфере, прежде всего в отраслях металлургии, машиностроения и смежных областях;
- сформированность ответственного отношения к учению, способность к саморазвитию и самообразованию;
- осознание ценности науки и технологий для развития региона и страны;
- сформированность экологического мышления и понимания социальной значимости промышленной безопасности.

Метапредметные результаты:

- умение самостоятельно ставить цели и задачи исследования, планировать этапы построения математической модели;
- владение навыками работы с научной литературой, справочными материалами и цифровыми ресурсами;
- способность оформлять результаты моделирования в виде отчётов, презентаций, проектов с использованием информационных технологий;
- умение обрабатывать экспериментальные данные с применением электронных таблиц, языков программирования и специализированного программного обеспечения;
- владение навыками межпредметного переноса знаний из области математики, физики, химии и информатики для решения прикладных инженерных задач.

Предметные результаты:

- знание основных понятий и методов математического моделирования;
- умение строить математические модели простейших металлургических процессов;
- владение навыками работы с программными средствами для моделирования (электронные таблицы, Python, специализированные симуляторы);
- способность анализировать результаты моделирования, проверять их адекватность и делать обоснованные выводы;
- понимание физико-химических основ технологических процессов, применяемых на предприятиях металлургического комплекса Свердловской области;
- знание основных принципов построения цифровых двойников технологических процессов.

2. СОДЕРЖАНИЕ КУРСА

2.1. 10 класс (34 часа) — «Основы математического моделирования.

Модели тепловых и механических процессов»

Раздел 1. Введение в математическое моделирование (4 часа)

- Понятие модели и моделирования. Классификация моделей (физические, математические, компьютерные, цифровые двойники).
- Основные этапы математического моделирования: постановка задачи, построение модели, исследование модели, интерпретация результатов, верификация модели.

- Роль математического моделирования в современной металлургии и машиностроении. Цифровая трансформация промышленности.
- Обзор предприятий металлургического комплекса Свердловской области (Уральская горно-металлургическая компания, Северский трубный завод, Первоуральский новотрубный завод, Уральский алюминиевый завод).
- *Межпредметные связи*: математика (функции, уравнения), информатика (алгоритмизация, структуры данных), физика (физические основы технологических процессов).

Раздел 2. Математический аппарат моделирования (6 часов)

- Функции и их свойства. Линейные, степенные, показательные, логарифмические функции в моделях технологических процессов.
- Дифференциальное и интегральное исчисление в моделировании. Производная как скорость изменения процесса. Интеграл как накопленная величина.
- Системы линейных и нелинейных уравнений. Методы их решения (метод Гаусса, итерационные методы).
- Элементы теории вероятностей и математической статистики. Обработка экспериментальных данных. Оценка погрешностей.
- Приближённые вычисления. Погрешности измерений и моделирования.
- *Межпредметные связи*: математика (алгебра, математический анализ, теория вероятностей), физика (измерения, погрешности), информатика (численные методы).

Раздел 3. Модели тепловых процессов в металлургии (8 часов)

- Физические основы теплопередачи: теплопроводность (закон Фурье), конвекция, излучение (закон Стефана-Больцмана).
- Уравнение теплового баланса. Моделирование нагрева и охлаждения металлических заготовок.
- Моделирование процессов в нагревательных печах. Расчёт КПД печи.
- Моделирование термической обработки металлов (закалка, отпуск, отжиг). Диффузионные процессы.
- *Практическое занятие*: построение модели нагрева стальной заготовки в методической печи с использованием электронных таблиц (решение уравнения теплопроводности методом конечных разностей).
- *Кейс-задача*: расчёт тепловых потерь в доменной печи (на примере предприятий Свердловской области).
- *Межпредметные связи*: физика (термодинамика, теплопередача), химия (фазовые переходы, тепловые эффекты реакций), информатика (электронные таблицы, численные методы).

Раздел 4. Модели механических процессов (8 часов)

- Основы механики деформируемого твёрдого тела. Напряжения и деформации. Закон Гука. Диаграмма деформирования.
- Моделирование процессов обработки металлов давлением (прокатка, ковка, штамповка). Уравнения теории пластичности.
- Моделирование процессов резания металлов. Расчёт сил резания, температуры в зоне резания.
- Моделирование вибрационных процессов в металлообрабатывающем оборудовании. Динамические нагрузки.
- *Практическое занятие*: построение модели процесса прокатки с использованием электронных таблиц (расчёт усилия прокатки по формуле Э. Зибеля).
- *Кейс-задача*: расчёт усилия прокатки для условий Северского трубного завода.
- *Межпредметные связи*: физика (механика, сопротивление материалов), математика (дифференциальные уравнения, тензорный анализ), информатика (численные методы).

Раздел 5. Статистические модели и обработка данных (6 часов)

- Экспериментально-статистические модели. Планирование эксперимента. Активный и пассивный эксперимент.
- Регрессионный анализ. Построение эмпирических зависимостей. Метод наименьших квадратов.
- Обработка результатов технологических измерений. Оценка точности и достоверности. Проверка статистических гипотез.
- Работа с большими данными в металлургии. Сбор, хранение и обработка технологической информации.
- *Практическое занятие*: построение регрессионной модели зависимости прочности стали от химического состава с использованием электронных таблиц.
- *Кейс-задача*: анализ статистических данных с предприятий металлургического комплекса (содержание углерода, марганца, кремния и механические свойства стали).
- *Межпредметные связи*: математика (статистика, теория вероятностей), информатика (обработка данных, базы данных), химия (химический состав сталей).

Раздел 6. Итоговое занятие (2 часа)

- Обобщение и систематизация знаний за курс 10 класса.
- Защита индивидуальных или групповых проектов по теме «Математическая модель технологического процесса».
- Подготовка к итоговому зачёту.

2.2. 11 класс (34 часа) — «Модели технологических процессов. Компьютерное моделирование и цифровые двойники»

Раздел 1. Модели гидродинамических и газодинамических процессов (6 часов)

- Основы гидродинамики. Уравнение неразрывности. Уравнение Бернулли. Течение жидкостей и газов в трубах и каналах.
- Моделирование движения газов в доменной печи. Аэродинамическое сопротивление слоя шихты. Уравнение Эргана.
- Моделирование газодинамических процессов в конвертерах и электропечах. Движение газовых пузырей в жидкой ванне.
- *Практическое занятие*: построение модели движения газа в шахтной печи с использованием электронных таблиц.
- *Кейс-задача*: расчёт аэродинамического сопротивления слоя шихты в доменной печи.
- *Межпредметные связи*: физика (гидродинамика, аэродинамика), математика (дифференциальные уравнения в частных производных), информатика (численное моделирование).

Раздел 2. Модели физико-химических процессов (8 часов)

- Физико-химические основы металлургических процессов: химическая термодинамика, химическая кинетика, фазовые равновесия.
- Моделирование химических реакций в металлургических агрегатах. Расчёт констант равновесия, скоростей реакций.
- Моделирование процессов окисления, восстановления, рафинирования. Диффузионная и кинетическая области протекания реакций.
- Моделирование процессов кристаллизации и структурообразования. Диаграммы состояния сплавов.
- *Практическое занятие*: построение термодинамической модели реакции восстановления железа (расчёт изменения энергии Гиббса и константы равновесия).
- *Кейс-задача*: расчёт термодинамических параметров доменного процесса.
- *Межпредметные связи*: химия (физическая химия, химическая термодинамика, кинетика), физика (молекулярная физика, фазовые переходы), математика (дифференциальные уравнения, расчётные методы).

Раздел 3. Модели оптимизации технологических процессов (6 часов)

- Понятие оптимизации. Критерии оптимальности в металлургии (экономические — себестоимость, производительность; технологические — качество продукта; экологические — выбросы, энергопотребление).

- Методы одномерной и многомерной оптимизации. Метод дихотомии, метод золотого сечения, градиентные методы.
- Линейное и нелинейное программирование в задачах металлургии. Симплекс-метод.
- *Практическое занятие:* оптимизация состава шихты для доменной плавки с использованием электронных таблиц (надстройка «Поиск решения»).
- *Кейс-задача:* оптимизация режима термической обработки для достижения заданных свойств металла.
- *Межпредметные связи:* математика (методы оптимизации, линейное программирование), экономика (экономическая эффективность, себестоимость), информатика (алгоритмы оптимизации).

Раздел 4. Компьютерное моделирование металлургических процессов (6 часов)

- Обзор программных средств для математического моделирования (электронные таблицы, Python с библиотеками NumPy/SciPy/Matplotlib, специализированные CAE-системы).
- Численные методы решения дифференциальных уравнений. Метод Эйлера, метод Рунге-Кутты, метод конечных разностей.
- Моделирование тепловых и механических процессов с использованием Python. Реализация численных алгоритмов.
- Визуализация результатов моделирования (2D и 3D графики, анимация процессов).
- Введение в цифровые двойники: понятие, архитектура, применение в металлургии.
- *Практическое занятие:* разработка программы для моделирования нагрева металла на языке Python с визуализацией температурного поля.
- *Межпредметные связи:* информатика (программирование, численные методы, визуализация данных), математика (дифференциальные уравнения, численный анализ).

Раздел 5. Моделирование на предприятиях Свердловской области (региональный компонент) (6 часов)

- Применение математического моделирования на Уральской горно-металлургической компании (УГМК): модели доменного и конвертерного процессов, оптимизация шихтовки.
- Опыт использования моделей на Северском трубном заводе: модели прокатки, термической обработки, контроля качества.
- Моделирование процессов на Уральском алюминиевом заводе: модели электролиза, тепловые модели.
- Цифровые двойники на предприятиях региона. Практика внедрения и использования.

- Экскурсия (реальная или виртуальная) на предприятие металлургического комплекса с демонстрацией систем математического моделирования.
- Встреча со специалистами по математическому моделированию, автоматизации и цифровизации производства.
- *Проектное задание*: разработка модели технологического процесса для конкретного предприятия региона с учётом реальных данных.
- *Межпредметные связи*: все предметы естественно-научного и инженерного циклов.

Раздел 6. Итоговый проект (2 часа)

- Разработка и защита индивидуального или группового проекта по математическому моделированию металлургического процесса (или созданию цифрового двойника отдельного узла).
- Оформление проектной работы в соответствии с требованиями (пояснительная записка, математическая модель, программная реализация, анализ результатов).
- Публичная защита с использованием мультимедийной презентации и демонстрацией программного кода и результатов моделирования.
- Верификация модели — сравнение с литературными или экспериментальными данными.

3. ТЕМАТИЧЕСКОЕ ПЛАНИРОВАНИЕ

10 класс (34 часа)

№ п/п	Тема раздела/занятия	Количество часов	Форма проведения
1	Введение в математическое моделирование. Классификация моделей. Цифровые двойники	2	Лекция-беседа
2	Этапы математического моделирования. Обзор предприятий металлургии Свердловской области	2	Лекция, презентация
3–4	Функции и уравнения в математическом моделировании. Системы уравнений	4	Практикум решения задач
5–6	Дифференциальное и интегральное исчисление в моделях технологических процессов	4	Практикум решения задач
7–8	Физические основы теплопередачи. Уравнение теплового баланса	4	Лекция, практикум
9–	Моделирование нагрева и охлаждения	4	Практикум

№ п/п	Тема раздела/занятия	Количество часов	Форма проведения
10	металлических заготовок		моделирования (электронные таблицы)
11– 12	Моделирование термической обработки металлов	4	Практикум моделирования (электронные таблицы)
13– 14	Основы механики деформируемого твёрдого тела. Напряжения и деформации	4	Лекция, практикум
15– 16	Моделирование процессов обработки металлов давлением (прокатка, ковка, штамповка)	4	Практикум моделирования (электронные таблицы)
17– 18	Экспериментально-статистические модели. Метод наименьших квадратов. Регрессионный анализ	4	Практикум моделирования (электронные таблицы)
19– 20	Обработка экспериментальных данных. Построение эмпирических зависимостей	4	Практикум моделирования (электронные таблицы)
21– 22	Комплексные задачи по моделированию тепловых процессов (нагрев, охлаждение, термообработка)	4	Семинар-практикум
23– 24	Комплексные задачи по моделированию механических процессов (прокатка, резание, вибрации)	4	Семинар-практикум
25– 26	Построение регрессионных моделей технологических процессов (зависимость свойств от состава)	4	Практикум моделирования (электронные таблицы)
27– 28	Решение кейс-задач от предприятий металлургического комплекса Свердловской области	4	Кейс-сессия
29– 30	Разработка проекта «Математическая модель технологического процесса» (выбор темы, сбор данных)	4	Проектная работа
31– 32	Работа над проектами. Построение моделей. Консультации	4	Проектная работа
33– 34	Итоговое занятие. Защита проектов. Зачёт	2	Защита проектов, зачёт

11 класс (34 часа)

№ п/п	Тема раздела/занятия	Количество часов	Форма проведения
1–2	Основы гидродинамики и газодинамики. Уравнение Бернулли. Уравнение	4	Лекция, практикум

№ п/п	Тема раздела/занятия	Количество часов	Форма проведения
	неразрывности		
3–4	Моделирование движения газов в доменной печи. Уравнение Эргана	4	Практикум моделирования (электронные таблицы)
5–6	Физико-химические основы металлургических процессов. Термодинамика, кинетика, фазовые равновесия	4	Лекция, практикум
7–8	Моделирование химических реакций в металлургических агрегатах (окисление, восстановление, рафинирование)	4	Практикум моделирования (электронные таблицы, расчёты)
9–10	Моделирование процессов кристаллизации и структурообразования. Диаграммы состояния сплавов	4	Практикум моделирования (электронные таблицы)
11–12	Понятие оптимизации. Критерии оптимальности в металлургии. Методы оптимизации	4	Лекция, практикум
13–14	Линейное и нелинейное программирование в задачах металлургии. Симплекс-метод	4	Практикум моделирования (электронные таблицы, «Поиск решения»)
15–16	Обзор программных средств для моделирования. Численные методы решения дифференциальных уравнений	4	Лекция, компьютерный практикум (Python)
17–18	Моделирование тепловых процессов с использованием Python. Метод конечных разностей	4	Компьютерный практикум (Python)
19–20	Моделирование механических процессов с использованием Python. Визуализация результатов	4	Компьютерный практикум (Python)
21–22	Применение математического моделирования на предприятиях УГМК. Цифровые двойники	4	Лекция, экскурсия (реальная или виртуальная)
23–24	Моделирование на Северском трубном заводе и Уральском алюминиевом заводе. Встреча со специалистами	4	Лекция, кейс-задача, встреча
25–26	Разработка модели технологического процесса для предприятия региона (выбор темы, сбор данных)	4	Проектная работа
27–28	Работа над проектами. Построение моделей. Программная реализация. Консультации	4	Проектная работа
29–30	Визуализация и анализ результатов моделирования. Верификация моделей	4	Компьютерный практикум
31–32	Подготовка к защите проектов. Оформление отчётов и презентаций	4	Проектная работа

№ п/п	Тема раздела/занятия	Количество часов	Форма проведения
33–34	Итоговое занятие. Защита проектов. Зачёт	2	Защита проектов, зачёт

4. ФОРМЫ И МЕТОДЫ РЕАЛИЗАЦИИ ПРОГРАММЫ

Формы организации занятий:

- лекции-беседы с использованием мультимедийных презентаций и демонстрацией примеров моделей;
- практикумы решения математических задач (расчётные работы);
- практикумы построения математических моделей с использованием электронных таблиц (MS Excel, LibreOffice Calc);
- компьютерные практикумы по численному моделированию с использованием языка Python (библиотеки NumPy, SciPy, Matplotlib);
- проектная и исследовательская деятельность (индивидуальная и групповая);
- кейс-сессии с решением прикладных инженерных задач от предприятий-партнёров;
- экскурсии на промышленные предприятия региона (реальные или виртуальные с использованием видео- и фото-материалов);
- встречи с инженерами-технологами, специалистами по математическому моделированию и цифровизации производства.

Методы и технологии:

- проблемное обучение (постановка проблемы, поиск решения, анализ результатов);
- кейс-метод (решение прикладных инженерных задач на основе реальных данных);
- исследовательский метод (постановка гипотезы, построение модели, проверка адекватности, анализ результатов);
- проектный метод (разработка и защита учебных проектов);
- информационно-коммуникационные технологии (электронные таблицы, языки программирования, специализированное ПО для моделирования, визуализация данных);
- дифференцированное обучение (учёт индивидуальных особенностей и уровня подготовки обучающихся);
- междисциплинарная интеграция (связь с математикой, физикой, химией, информатикой).

5. УСЛОВИЯ РЕАЛИЗАЦИИ ПРОГРАММЫ

5.1. Материально-техническое обеспечение

Для реализации программы необходимо оборудование, предусмотренное стандартом **«Инженерный класс.66»** и проектом **«Уральская инженерная школа 2.0»**:

- кабинет математики или информатики, оснащённый современными компьютерами;
- компьютерный класс или ноутбуки с доступом к сети Интернет, пакетом офисных программ (с поддержкой электронных таблиц и надстройки «Поиск решения»), средой программирования Python с библиотеками NumPy, SciPy, Matplotlib, Jupyter Notebook;
- мультимедийное оборудование (интерактивная доска, проектор, компьютер);
- учебно-методические комплекты, справочная литература, электронные образовательные ресурсы;
- демонстрационное оборудование для физического и химического эксперимента (при необходимости);
- оборудование для робототехники и 3D-моделирования (при наличии).

5.2. Кадровое обеспечение

Реализацию программы осуществляет учитель математики или информатики, имеющий соответствующую квалификацию (первая или высшая категория) и прошедший курсы повышения квалификации по профилю **«Инженерный класс.66»** и **«Уральская инженерная школа 2.0»**. Учитель должен владеть навыками работы с электронными таблицами (включая надстройки для оптимизации), языком программирования Python (библиотеки для научных вычислений и визуализации) и основами численных методов.

К реализации программы могут привлекаться:

- преподаватели вузов-партнёров (УрФУ, УрГПУ и др.) — для проведения лекций и консультаций по сложным разделам;
- инженеры-технологи и специалисты по математическому моделированию предприятий-партнёров — для проведения кейс-сессий и экскурсий;
- методисты ресурсных инженерных школ — для методического сопровождения и обмена опытом.

5.3. Сетевое взаимодействие и партнёрство

Программа предполагает активное сетевое взаимодействие в соответствии с моделью стандарта **«Инженерный класс.66»**:

- **Ресурсные школы:** методическое сопровождение и обмен опытом с ресурсными школами Свердловской области, реализующими стандарт «Инженерный класс.66» по отраслям «Машиностроение и металлообработка» и «Чёрная и цветная металлургия». Координатором по реализации стандарта выступает Губернаторский лицей Свердловской области. Для каждой школы-спутника определена ресурсная школа, с которой заключено соглашение о сотрудничестве и разработана дорожная карта сетевого взаимодействия;
- **Школы-спутники:** участие в совместных мероприятиях, конференциях, конкурсах проектов, лабораторных практикумах на базе ресурсных школ, стажировках педагогов и обучающихся;
- **Высшие учебные заведения:** заключение договоров о сотрудничестве с Уральским федеральным университетом имени первого Президента России Б.Н. Ельцина (УрФУ) — Институт металлургии и машиностроения, Институт естественных наук и математики; Уральским государственным педагогическим университетом (УрГПУ) и другими вузами региона для проведения совместных занятий, консультаций, использования лабораторной базы и привлечения преподавателей;
- **Промышленные предприятия:** заключение договоров о сотрудничестве с предприятиями металлургического и машиностроительного комплекса Свердловской области, такими как:
 - ПАО «Уральская горно-металлургическая компания» (УГМК) — головное предприятие, а также входящие в холдинг предприятия;
 - ПАО «Северский трубный завод» (входит в Группу ТМК) — одно из ведущих предприятий по производству труб;
 - ПАО «Первоуральский новотрубный завод» (входит в Группу ТМК);
 - Уральский алюминиевый завод (филиал РУСАЛа);
 - предприятия машиностроения (Уралмашзавод, Уральский завод тяжёлого машиностроения и др.);
- **Институт развития образования Свердловской области (ИРО):** участие в методических семинарах, вебинарах, курсах повышения квалификации, диссеминация лучших практик.

Конкретные формы сетевого взаимодействия в рамках программы:

- проведение экскурсий на предприятия с демонстрацией систем математического моделирования и цифровых двойников;
- выполнение кейс-задач, предложенных предприятиями (на основе реальных технологических данных);
- участие в совместных проектных и исследовательских работах с привлечением специалистов предприятий и вузов;

- проведение мастер-классов и лекций специалистами предприятий и вузов;
- стажировки и практики для наиболее мотивированных обучающихся на предприятиях и в вузах;
- участие в региональных конкурсах, олимпиадах, хакатонах и конференциях в рамках проекта «Уральская инженерная школа 2.0»;
- совместные методические семинары педагогов школ-спутников и ресурсных школ.

5.4. Организационные условия

Для проведения сложных компьютерных практикумов, проектных работ и моделирования, требующих значительного времени (особенно при работе с Python и численными методами), предусматривается возможность организации **сдвоенных занятий** (2 часа подряд) в соответствии с расписанием и при наличии соответствующего материально-технического обеспечения.

Занятия проводятся в группах не более 15 человек для обеспечения эффективности индивидуальной работы с компьютерами и программным обеспечением. Для работы с Python и специализированным ПО рекомендуется наличие не менее одного компьютера на каждого обучающегося или работа в парах с возможностью индивидуального выполнения заданий.

6. СИСТЕМА ОЦЕНКИ ДОСТИЖЕНИЙ ОБУЧАЮЩИХСЯ

В соответствии со стандартом «**Инженерный класс.66**», оценка достижений осуществляется в следующих формах:

6.1. Формы контроля

- **Текущий контроль:** выполнение практических заданий по моделированию, ведение рабочей тетради, участие в обсуждениях и семинарах, выполнение расчётных работ;
- **Промежуточный контроль:** проверочные работы по разделам курса (теория моделирования, методы решения), выполнение кейс-заданий, защита практических работ, выполнение заданий по компьютерному моделированию (электронные таблицы, Python);
- **Итоговый контроль:** итоговый зачёт в конце 10 класса (теория + практическое задание), защита индивидуального или группового проекта в 11 классе;
- **Портфолио достижений:** накопление разработанных моделей, отчётов по проектным работам, сертификатов, грамот, дипломов за участие в конференциях, конкурсах, хакатонах и олимпиадах.

6.2. Критерии оценки

Оценка практических заданий по моделированию:

Критерий	Показатели	Максимальный балл
Постановка задачи	Правильное определение объекта моделирования, целей, граничных условий и исходных данных	2
Построение модели	Корректность выбора математического аппарата, обоснованность упрощений и допущений, правильность записи уравнений	3
Реализация модели	Корректность вычислений, программного кода или настроек симуляции, работоспособность модели	3
Анализ результатов	Интерпретация полученных данных, проверка адекватности модели (верификация), оценка погрешностей, формулировка выводов	2

Оценка качества математической модели (дополнительные критерии):

Критерий	Показатели	Максимальный балл
Адекватность модели	Соответствие результатов моделирования реальным данным (сравнение с экспериментом или литературными данными)	3
Точность прогноза	Относительная погрешность расчётных данных по сравнению с эталонными (не более 10–15% — удовлетворительно, 5–10% — хорошо, менее 5% — отлично)	3
Вычислительная эффективность	Разумное время расчёта, стабильность алгоритма, отсутствие вычислительных ошибок	2

Оценка итогового проекта:

Критерий	Показатели	Максимальный балл
Актуальность и новизна	Соответствие приоритетным направлениям Свердловской области, практическая значимость, новизна подхода	3
Теоретическая подготовка	Глубина проработки темы, знание физико-химических основ процесса, понимание теоретических основ моделирования	3
Практическая часть	Качество модели, корректность методов, обработка и анализ данных, верификация модели, достоверность результатов	4

Критерий	Показатели	Максимальный балл
Оформление	Структура, грамотность, наглядность, использование ИКТ (графики, таблицы, презентация), качество кода (для программных реализаций)	2
Защита	Убедительность, владение материалом, ответы на вопросы, аргументированность	3

Итоговая оценка выставляется на основе суммы баллов по всем видам работ в течение двух лет обучения с учётом динамики индивидуальных достижений. При оценке моделей особое внимание уделяется их **верификации** — сравнению с реальными данными (или литературными источниками), что является обязательным требованием для качественного моделирования.

6.3. Механизм фиксации достижений

- Электронный журнал с фиксацией результатов всех практических и проверочных работ;
- Индивидуальные портфолио обучающихся (в бумажном и/или электронном виде) с включением разработанных моделей, кода, отчётов;
- Сертификаты и дипломы за участие в конференциях, конкурсах, хакатонах и олимпиадах;
- Рекомендательные письма для поступления в профильные вузы (при высоких достижениях).

7. ПРИМЕРНАЯ ТЕМАТИКА ПРОЕКТНЫХ РАБОТ (С УЧЁТОМ СПЕЦИФИКИ СВЕРДЛОВСКОЙ ОБЛАСТИ)

По направлению «Чёрная и цветная металлургия»:

1. Математическая модель нагрева стальной заготовки в методической печи (с учётом теплопроводности и теплоотдачи).
2. Моделирование тепловых потерь в доменной печи (расчёт теплового баланса).
3. Термодинамическая модель реакции восстановления железа (расчёт энергии Гиббса, константы равновесия, температурной зависимости).
4. Моделирование процесса кристаллизации стали (диаграмма состояния, распределение примесей).
5. Расчёт оптимального состава шихты для доменной плавки (оптимизационная задача с экономическими критериями).

6. Модель процесса прокатки на стане (расчёт усилия, момента прокатки) — на примере Северского трубного завода.

7. Моделирование электролитического получения алюминия (законы Фарадея, тепловые эффекты) — на примере Уральского алюминиевого завода.

8. Оптимизация режима термической обработки металлов (закалка, отпуск) для достижения заданных механических свойств.

9. Моделирование процессов окисления металлов при нагреве (образование окарины).

10. Моделирование газодинамических процессов в шахтной печи (распределение давлений, скоростей).

По направлению «Машиностроение и металлообработка»:

11. Моделирование процесса резания металлов (расчёт сил резания, температуры в зоне резания).

12. Расчёт усилий и напряжений при штамповке (метод конечных элементов — упрощённая модель).

13. Моделирование вибрационных процессов в металлообрабатывающем оборудовании (динамика резания).

14. Оптимизация режимов механической обработки (скорость, подача, глубина резания) по критерию производительности.

15. Моделирование процессаковки (распределение напряжений и деформаций).

По направлению «Информационные технологии и цифровые двойники»:

16. Разработка программы для моделирования теплового процесса на языке Python (с визуализацией).

17. Создание интерактивной модели металлургического процесса в Jupyter Notebook.

18. Разработка системы визуализации результатов моделирования (2D/3D графики, анимация).

19. Автоматизация обработки экспериментальных данных с использованием Python (регрессионный анализ, статистическая обработка).

20. Разработка цифрового двойника отдельного узла металлургического агрегата (упрощённая модель).

Комплексные проекты (интегративные):

21. Компьютерная модель доменной печи с учётом тепловых, гидродинамических и химических процессов (многофакторная модель).

22. Разработка цифрового двойника технологического процесса (на примере предприятия региона).

23. Моделирование влияния химического состава стали на её механические свойства (регрессионная модель).

24. Экономико-математическая модель оптимизации производства на металлургическом предприятии (себестоимость, прибыль, ограничения по ресурсам).

25. Сравнительный анализ различных методов моделирования (аналитических, численных, статистических) на примере конкретного процесса.

8. ЛИТЕРАТУРА И ИНТЕРНЕТ-РЕСУРСЫ

8.1. Нормативные документы и официальные источники

1. Образовательный стандарт «Инженерный класс.66» (ИРО Свердловской области, 2025) — по приоритетным отраслям «Машиностроение и металлообработка», «Чёрная и цветная металлургия».

2. Программа «Уральская инженерная школа 2.0» (Правительство Свердловской области, 2025–2030).

3. Федеральная образовательная программа среднего общего образования (ФОП СОО), утверждённая приказом Министерства просвещения РФ от 18.05.2023 № 371.

4. Концепция развития математического образования в Российской Федерации.

5. Методические рекомендации по организации инженерных классов (ИРО Свердловской области).

6. Стратегия цифровой трансформации обрабатывающей промышленности Российской Федерации до 2030 года.

8.2. Учебно-методическая литература

1. Математика. Углублённый уровень. 10–11 классы: учебники (в соответствии с Федеральным перечнем) — для повторения и углубления математического аппарата.

2. Основы математического моделирования: учебное пособие для школ с углублённым изучением математики.

3. Цымбал В.П. «Математическое моделирование металлургических процессов» — базовое пособие по теме.

4. Болобанова Н.Л. «Построение математических моделей процессов обработки металлов давлением».

5. Сборники задач по прикладной математике и математическому моделированию для инженерных классов.

6. Методические рекомендации по работе с языком Python для математического моделирования и научных вычислений (библиотеки NumPy, SciPy, Matplotlib).

7. Кудрин В.А. «Теория и технология производства стали» — для знакомства с физико-химическими основами.

8. Воскобойников В.Г., Кудрин В.А., Якушев А.М. «Общая металлургия» — для понимания технологических процессов.

9. Справочник металлурга (под ред. Зуева М.В.) — для получения исходных данных для моделирования.

8.3. Интернет-ресурсы

- Институт развития образования Свердловской области: irro.ru — методические материалы по стандарту «Инженерный класс.66».
- Портал «Уральская инженерная школа»: ntf-uish.ru — актуальная информация о проекте.
- Министерство образования и молодёжной политики Свердловской области: minobraz.midural.ru — нормативные документы.
- Региональная сетевая методическая служба «Педсовет 66» — обмен опытом.
- Российская электронная школа: resh.edu.ru — электронные образовательные ресурсы.
- Единая коллекция цифровых образовательных ресурсов: school-collection.edu.ru — материалы по математике и моделированию.
- Официальные сайты предприятий-партнёров (УГМК, Северский трубный завод, Уральский алюминиевый завод) — для получения актуальной информации.
- Stepik.org — курсы по Python, численным методам и математическому моделированию.
- Habr.com — статьи по применению математического моделирования в промышленности.

9. ПРИЛОЖЕНИЯ

Приложение 1.

Оценочный лист итогового проекта

ФИО обучающегося			
Тема проекта			
Класс			
Дата защиты			
Критерий	Показатели	Баллы (0–5)	Комментарий
Актуальность и новизна	Соответствие приоритетным направлениям Свердловской области, практическая значимость, новизна подхода		
Теоретическая подготовка	Глубина проработки темы, знание физико-химических основ процесса, понимание теоретических основ моделирования		
Практическая часть — качество модели	Корректность выбора методов, адекватность модели, точность прогноза, вычислительная эффективность		
Практическая часть — обработка и анализ данных	Качество расчётов, верификация модели, достоверность результатов, анализ погрешностей		
Оформление	Структура, грамотность, наглядность, использование ИКТ (графики, таблицы, презентация), качество кода		
Защита	Убедительность, владение материалом, ответы на вопросы, аргументированность		
Итого		/30	

Оценка: _____

Подпись эксперта: _____

Структура отчёта по математическому моделированию

1. **Название работы** (моделируемый процесс или объект)
2. **Цель моделирования** (что требуется исследовать или оптимизировать)
3. **Описание объекта моделирования** (краткая характеристика технологического процесса, его физико-химическая сущность)
4. **Математическая постановка задачи** (физические законы, дифференциальные/алгебраические уравнения, граничные и начальные условия, система допущений)
5. **Метод решения** (аналитический, численный — с обоснованием выбора, программные средства)
6. **Реализация модели** (описание алгоритма, программного кода, настроек, исходные данные)
7. **Результаты моделирования** (таблицы, графики, диаграммы, анимация)
8. **Анализ результатов и верификация модели** (интерпретация, сравнение с реальными данными или литературными источниками, оценка погрешностей, проверка адекватности)
9. **Выводы** (соответствие цели, практическая значимость, рекомендации по применению, направления дальнейших исследований)
10. **Список литературы и источников данных**

Приложение 3. Примеры задач с региональным компонентом для практических занятий

Задача 1 (тепловое моделирование). На металлургическом комбинате стальная заготовка массой 500 кг нагревается от 20 °С до 1200 °С в методической печи. Удельная теплоёмкость стали 460 Дж/(кг·°С). Постройте математическую модель нагрева заготовки, учитывая, что температура в печи поддерживается на уровне 1300 °С, а коэффициент теплоотдачи от газов к металлу составляет 100 Вт/(м²·°С). Определите время нагрева и постройте график изменения температуры заготовки. Сравните с реальными данными (литературными).

Задача 2 (механическое моделирование). На стане холодной прокатки Северского трубного завода производится прокатка стальной полосы толщиной 4 мм до толщины 2,5 мм. Ширина полосы 1000 мм, предел текучести стали 300 МПа. Используя модель процесса прокатки (формула Э. Зибеля), определите

усилие прокатки и мощность, необходимую для привода валков. Коэффициент трения 0,08, радиус валков 300 мм.

Задача 3 (физико-химическое моделирование). Постройте термодинамическую модель реакции восстановления железа оксидом углерода: $\text{Fe}_2\text{O}_3 + 3\text{CO} \rightarrow 2\text{Fe} + 3\text{CO}_2$. Используя термодинамические данные (энтальпия, энтропия, теплоёмкости), определите температурную зависимость константы равновесия и температуру, при которой реакция становится термодинамически возможной ($\Delta G < 0$). Сравните с данными для реального доменного процесса.

Задача 4 (статистическое моделирование). На основе экспериментальных данных о химическом составе (содержание углерода, марганца, кремния) и механических свойствах (предел прочности, предел текучести) сталей, производимых на предприятиях Свердловской области, постройте регрессионную модель (множественную линейную регрессию), позволяющую прогнозировать свойства стали по её составу. Оцените адекватность модели (коэффициент детерминации R^2 , проверка значимости коэффициентов).

Задача 5 (оптимизационная задача). Оптимизируйте состав шихты для доменной печи с целью минимизации себестоимости чугуна при заданных требованиях к качеству (содержание кремния не менее 0,5%, серы не более 0,03%, фосфора не более 0,05%). Используйте данные о стоимости и составе компонентов шихты (агломерат, окатыши, кокс, известняк), характерные для предприятий Уральской горно-металлургической компании. Решите задачу с использованием надстройки «Поиск решения» в электронных таблицах.

Задача 6 (компьютерное моделирование на Python). Разработайте программу на языке Python для моделирования процесса нагрева стальной заготовки в печи с учётом теплоотдачи излучением и конвекцией. Реализуйте численное решение уравнения теплопроводности методом конечных разностей (явная схема). Постройте графики распределения температуры по сечению заготовки в различные моменты времени. Проведите верификацию модели — сравните с аналитическим решением для частного случая ($B_i \rightarrow 0$, регулярный режим).

Задача 7 (цифровой двойник). Разработайте упрощённую модель цифрового двойника нагревательной печи: соберите данные о температуре в печи, расходе топлива, температуре заготовки на входе и выходе (можно использовать литературные или смоделированные данные). Постройте статистическую модель (регрессию) для прогнозирования температуры заготовки на выходе в зависимости от параметров процесса. Оцените качество прогноза.