

А.В. Полянский

2024

**Автоматизированное решение
организационно-технологических задач
железнодорожного строительства**

Часть 1

**Учебное пособие для студентов специальности 23.05.06
«Строительство железных дорог, мостов и транспортных тоннелей»**



УДК 625.1
ББК 39.20-06
П 545

Рецензент: Гороховцев Борис Иванович – кандидат технических наук, доцент, доцент кафедры «Проектирование и строительство железных дорог» ФГАОУ ВО «Российский университет транспорта».

Полянский, Алексей Викторович

П 545 Автоматизированное решение организационно-технологических задач железнодорожного строительства. Часть 1. Учебное пособие – М.: Мир науки, 2024. – Режим доступа: <https://izd-mn.com/PDF/47MNNPU24.pdf> – Загл. с экрана.

ISBN 978-5-907891-46-3
DOI: 10.15862/47MNNPU24

В учебном пособии содержатся теоретические и практические материалы, необходимые для автоматизированного решения организационно-технологических задач железнодорожного строительства с применением системы *Mathcad*. Приведены основные приемы работы с системой *Mathcad* в объеме достаточном для решения рассматриваемых задач. Рассмотрены особенности решения задач технологии, организации и планирования железнодорожного строительства, в частности: влияния неблагоприятных природно-климатических явлений на производство работ, моделирования технологических процессов, планирования и распределения ресурсов строительного производства.

Учебное пособие предназначено для студентов специальности 23.05.06 «Строительство железных дорог, мостов и транспортных тоннелей», специализаций «Строительство магистральных железных дорог» и «Управление техническим состоянием железнодорожного пути». Пособие может быть использовано при изучении дисциплин: «Организация, планирование и мониторинг железнодорожного строительства», «Модели и методы инженерных расчетов», «Управление организационно-технологической надежностью строительства» а также может быть полезно аспирантам, научным работникам и специалистам проектных и строительных организаций.

Табл. 11, рис. 48, библиогр. 9 назв.

ISBN 978-5-907891-46-3

© Полянский Алексей Викторович
© ООО Издательство «Мир науки», 2024

Оглавление

Введение	5
Глава 1. Теоретический курс	6
1.1. Сведения о системе компьютерной математики <i>Mathcad</i>	6
1.2. Пользовательский интерфейс <i>Mathcad</i>	7
1.2.1. Особенности пользовательского интерфейса	7
1.2.2. Панели инструментов	8
1.2.3. Окно редактирования	12
1.2.4. Особенности входного языка системы	17
1.3. Программирование в <i>Mathcad</i>	20
1.3.1. Общая характеристика программных модулей.....	21
1.3.2. Операторы программных модулей.....	22
1.4. Построение двумерных графиков в <i>Mathcad</i>	25
1.4.1. Вывод области построения двумерного графика	25
1.4.2. Создание двумерного графика (декартова графика)	26
1.4.3. Форматирование двумерных графиков.....	28
1.4.4. Трассировка графиков (определение координат)	31
1.4.5. Просмотр участков двумерных графиков.....	33
Глава 2. Практический курс	35
2.1. Учет неблагоприятных природно-климатических условий в железнодорожном строительстве	35
2.1.1. Теоретические основы.....	35
2.1.2. Пример решения.....	38
2.2. Определение наиболее вероятной продолжительности теплого сезона	41
2.2.1. Теоретические основы.....	41
2.2.2. Пример решения.....	44
2.3. Определение периодов, дат начала и конца весенней и осенней распутиц	47
2.3.1. Теоретические основы.....	47
2.3.2. Пример решения.....	49
2.4. Определение временных режимов работы строительных машин	52
2.4.1. Теоретические основы.....	52
2.4.2. Пример решения.....	60
2.5. Моделирование технологического процесса возведения насыпи железнодорожного земляного полотна	63
2.5.1. Теоретические основы.....	63
2.5.2. Пример решения.....	68

2.6. Выбор оптимальной стратегии управления технологическим процессом возведения железнодорожного земляного полотна.....	73
2.6.1. Теоретические основы.....	73
2.6.2. Пример решения.....	73
Литература.....	78

Введение

В настоящем учебном пособии рассматриваются методы решения ряда организационно-технологических задач в автоматизированном режиме на основе математических методов и моделей. Рассмотрены особенности решения задач технологии, организации и планирования железнодорожного строительства, в частности: влияния неблагоприятных природно-климатических явлений на производство работ, моделирования технологических процессов, планирования и распределения ресурсов строительного производства.

Автор стремился изложить материал в возможно более доступной форме, избегая излишне сложных математических выкладок, но без ущерба для математической строгости и точности расчетов. Рассмотренные организационно-технологические задачи подкреплены конкретными численными примерами, взятыми из практики.

Современные требования, предъявляемые к инженерам путей сообщения, предполагают знание современных информационных технологий, новейших программных средств, нацеленных на решение конкретных задач железнодорожного строительства, и умение применить эти знания в практической деятельности. Для автоматизации решения организационно-технологических задач железнодорожного строительства выбрана система *Mathcad* фирмы *PTC*. Привлекательность системы для большинства пользователей кроется в том, что в ней описание решения инженерных задач дается с помощью привычных математических формул и знаков. Такой же вид имеют и результаты вычислений. Систему *Mathcad* отличает простой и удобный пользовательский интерфейс, позволяющий организовать интуитивно предсказуемый диалог с системой на общепринятом языке математических формул. Наличие средств графики в *Mathcad* дает возможность представления результатов расчета, в традиционном графическом виде. Этим и многим другим объясняется заслуженная популярность системы *Mathcad* в научных и инженерных исследованиях.

Для удобства пользователей все подготовленные документы-*Mathcad* с решениями задач имеют единую форму представления. Так блоки, реализующие ввод исходных данных, выделены желтым цветом, а блоки с результатами расчетов окрашены голубым цветом и заключены в рамку.

Учебное пособие предназначено для студентов специальности 23.05.06 «Строительство железных дорог, мостов и транспортных тоннелей». При написании работы автор исходил из того, что студентам указанной специальности необходимо дать первичные знания о системе *Mathcad*. Поэтому основное внимание в первой главе уделено описанию пользовательского интерфейса, входного языка системы, особенностям программирования, а также рассмотрены возможности построения и форматирования двумерных графиков.

Глава 1. Теоретический курс

1.1. Сведения о системе компьютерной математики *Mathcad*

В настоящее время, когда наука и технология постоянно развиваются, эффективное решение инженерно-технических задач становится критически важным. Сложные вычисления, моделирование и анализ данных – все это требует мощных инструментов. Одним из таких инструментов является *Mathcad* – популярная система компьютерной математики, которая на протяжении многих позволяет специалистам самых разных областей решать сложные задачи и визуализировать результаты.

Название *Mathcad* сложено из двух частей: *MATHeMatica* (математика) и *CAD* (*Computer Aided Design* – системы автоматизированного проектирования). Эта комбинация отражает ключевые функции программы: возможность проведения как сложных математических вычислений, так и создание наглядных графических моделей. *Mathcad* – это не просто калькулятор; это универсальная платформа для решения математических и инженерных задач, от простых вычислений до построения комплексных моделей.

В отличие от текстовых редакторов или электронных таблиц, *Mathcad* предлагает уникальное сочетание возможностей:

- интуитивный интерфейс: *Mathcad* отличается сравнительной простотой использования. Его интерфейс похож на обычную тетрадь, где математические формулы записываются естественным образом, с использованием привычных математических обозначений. Это позволяет быстро освоить программу даже без глубоких знаний в области программирования.

- мощное математическое вычислительное ядро: *Mathcad* обладает обширной библиотекой встроенных функций и «шаблонов» (предварительно запрограммированных процедур на языке C++), охватывающих широкий спектр математических задач. Решение систем алгебраических и дифференциальных уравнений, работа с неравенствами, реализация циклических и рекуррентных процедур – все это выполняется легко и эффективно.

- визуализация результатов: возможность визуализации результатов в виде 2D и 3D-графиков является неоспоримым преимуществом *Mathcad*. Наглядное представление данных позволяет быстро анализировать результаты вычислений и делать выводы.

- символьные вычисления: *Mathcad* предоставляет мощный арсенал операторов для символьного преобразования математических выражений, что позволяет проводить аналитические вычисления и получать точные решения.

- формирование отчетов: сочетание математических вычислений, графиков и текстовых комментариев в едином документе делает *Mathcad* идеальным инструментом для подготовки отчетов, статей и презентаций. Возможность импорта/экспорта данных в различных форматах расширяет его функциональность.

- математическое моделирование: *Mathcad* позволяет создавать и анализировать математические модели различных процессов, начиная от простых физических явлений и заканчивая сложными экономическими системами. Это делает его незаменимым инструментом для исследовательской работы, проектирования и анализа.

Mathcad – это не просто программное обеспечение, это мощный инструмент для решения самых разнообразных инженерно-технических задач. Его простота использования, мощный функционал и возможности визуализации делают его незаменимым помощником для пользователей, работающих в областях, требующих сложных математических вычислений и моделирования. *Mathcad* позволяет фокусироваться на решении задачи, а не на технических сложностях программного обеспечения [3].

1.2. Пользовательский интерфейс *Mathcad*

1.2.1. Особенности пользовательского интерфейса

Интерфейс системы *Mathcad* внешне весьма близок к интерфейсу известных текстовых редакторов *Word*. Поэтому в дальнейшем пользовательский интерфейс рассматриваемых систем описывается в сокращенном виде. В дальнейшем все то, что изображено на экране компьютера в конкретной системе *Mathcad* будет называться *документом Mathcad*.

После запуска системы или при создании нового документа можно видеть неименованную рабочую область с панелью инструментов, готовую к введению математических выражений и текстовых вставок, графиков, вычислениям или редактированию. Фрагмент окна *Mathcad* представлен на рисунке 1.1; в левой части этого рисунка виден крестик *визира*.

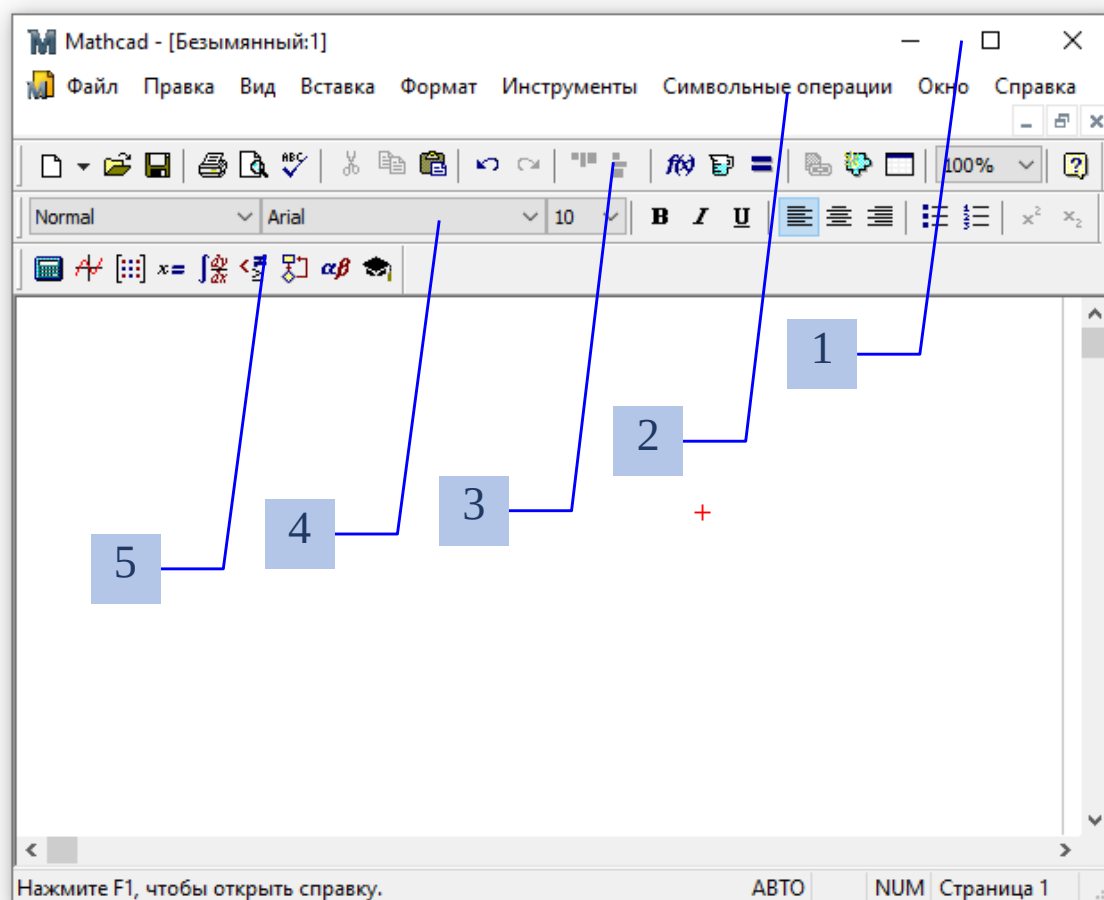


Рисунок 1.1 – Окно системы *Mathcad*

В верхней части экрана (рисунок 1.2) по умолчанию имеются четыре строки, содержащие соответственно:

1. Название документа, кнопки управления окном.
2. Главное меню.
3. Панель выбора масштаба, копирования, вставки, печати, вызова справки и пр. –

Стандартная.

4. Панель форматирования (выбор шрифтов, управления размещением фрагментов документа и пр.) – **Форматирование.**

5. Панель инструментов – **Математические.**

Две нижние строки могут быть скрыты или перемещены на другую позицию. Первая строка не отличается от аналогичной строки для редактора *Word*.

Главное меню систем, помимо стандартных для *Windows* позиций (**Файл, Правка, Вид, Вставка, Формат, Окно, Справка** имеет еще две позиции – **Инструменты** и **Символьные операции**). Далее будут приведены начальные сведения работы в системе *Mathcad*, позволяющие еще неопытному пользователю сделать свои первые шаги и достичь результата [3].

1.2.2. Панели инструментов

Панели инструментов позволяют выполнять наиболее часто используемые команды щелчком левой кнопки мыши по соответствующей кнопке-пиктограмме. Благодаря этому становится ненужным утомительный поиск в меню наиболее часто используемых команд. Панели можно расположить друг под другом сразу под строкой меню, как это показано на рисунке 1.2. Для того чтобы установить панель в нужном месте экрана, достаточно щелкнуть на ее названии и, удерживая левую кнопку мыши, переместить указатель, а вместе с ним и панель, в это место [3].

Панель инструментов Стандартная. Панель инструментов **Стандартная** содержит 20 кнопок и один раскрывающийся список  для выбора масштаба изображения документа *Mathcad* на экране (рисунок 1.2).



Рисунок 1.2 – Панель инструментов **Стандартная**

Далее приведены соответствия кнопок этой панели командам меню:

-  - создание нового документа. Соответствует команде **Создать** меню **Файл** без вызова диалогового окна **Создать**;
-  - загрузка ранее созданного документа в виде файла. Соответствует команде **Открыть** меню **Файл**;
-  - запись текущего документа в файл под текущим именем. Соответствует команде **Сохранить** меню **Файл**;
-  - печать документа на принтере. Соответствует команде **Печать** меню **Файл**;
-  - предварительный просмотр документа перед печатью в том виде, в котором он будет распечатан. Соответствует команде **Предварительный просмотр** меню **Файл**;
-  - проверка орфографии (действует только для англоязычных документов). Соответствует команде **Проверка орфографии** меню **Правка**;
-  - перенос выделенной части документа в буфер обмена с удалением этой части из документа. Соответствует команде **Вырезать** меню **Правка**;
-  - копирование выделенной части документа в буфер обмена с сохранением этой части в документе. Соответствует команде **Копировать** меню **Правка**;
-  - перенос содержимого буфера обмена в окно редактирования на место, в котором находится визир. Соответствует команде **Вставить** меню **Правка**;
-  - отмена предшествующей операции редактирования. Соответствует команде **Отменить** меню **Правка**;
-  - восстановление отмененной операции редактирования. Соответствует команде **Повторить** меню **Правка**;

-  - выравнивание выделенных блоков по горизонтали. Соответствует команде **Выровнять регионы/По верхнему краю** меню **Формат**;
-  - выравнивание выделенных блоков по вертикали. Соответствует команде **Выровнять регионы/По левому краю** меню **Формат**;
-  - вставка функции из списка, появляющегося в диалоговом окне. Соответствует команде **Функция...** меню **Вставка**;
-  - вставка единиц измерения. Соответствует команде **Единица измерения...** меню **Вставка**;
-  - вычисление выделенного выражения. Соответствует команде **Вычислить** меню **Инструменты**;
-  - вставка гиперссылок на файлы. Соответствует команде **Гиперссылка...** меню **Вставка**;
-  - вставка компонентов других систем. Соответствует команде **Компонент...** меню **Вставка**;
-  - вставка электронной таблицы. Соответствует команде **Данные/Таблица** меню **Вставка**;
-  - запуск справочной базы данных.

Панель инструментов **Форматирование**. Панель инструментов **Форматирование** содержит 10 кнопок и 3 раскрывающихся списка (рисунок 1.3):

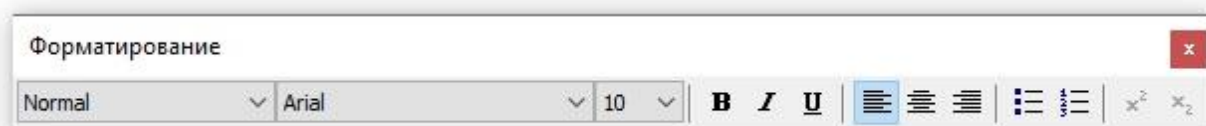
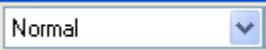
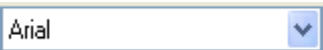


Рисунок 1.3 – Панель инструментов **Форматирование**

-  - раскрывающийся список изменения текущего стиля документа, переменных или констант;
-  - раскрывающийся список шрифтов, используемых при отображении констант, переменных или текста;
-  - раскрывающийся список для отображения и изменения размеров символов в пунктах при отображении констант, переменных или текста;
-  - полужирное начертание символов при отображении констант, переменных и текста;
-  - наклонное начертание символов при отображении констант, переменных и текста;
-  - подчеркнутое начертание символов при отображении констант, переменных и текста;
-  - выравнивание текста по левой границе текстового блока;
-  - выравнивание текста по центру текстового блока;
-  - выравнивание текста по правой границе текстового блока;
-  - создание нумерованного списка в текстовых блоках;
-  - создание нумерованного списка в текстовых блоках;
-  Вставка верхнего индекса в текстовой области
-  Вставка нижнего индекса в текстовой области

Панель инструментов Математические. Панель инструментов **Математические** содержит 9 кнопок для вызова палитр (рисунок 1.4).

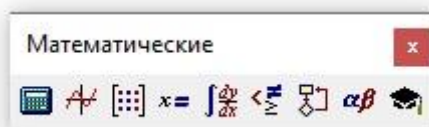


Рисунок 1.4 – Панель инструментов **Математические**

Кнопка  вызывает палитру **Калькулятор** (рисунок 1.5) для ввода арифметических операций и некоторых наиболее часто используемых функций.

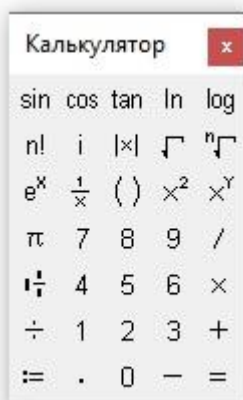


Рисунок 1.5 – Палитра **Калькулятор**

Кнопка  вызывает палитру **График** (рисунок 1.6) для построения двумерных и трехмерных графиков.

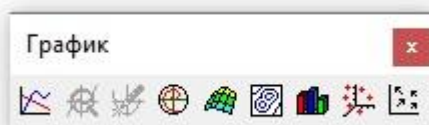


Рисунок 1.6 – Палитра **График**

Кнопка  вызывает палитру **Матрица** (рисунок 1.7) для ввода и обработки матриц и векторов.

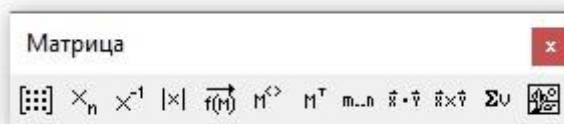


Рисунок 1.7 – Палитра **Матрица**

Кнопка  вызывает палитру **Вычисление** (рисунок 1.8) для ввода знаков присваивания и равенства, а также для задания собственных операторов различных видов.

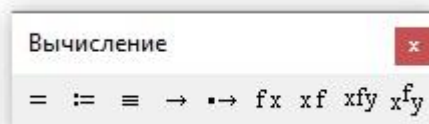


Рисунок 1.8 – Палитра **Вычисление**

Кнопка  вызывает палитру **Математический анализ** (рисунок 1.9) для вычисления производных, интегралов, сумм, произведений и пределов.

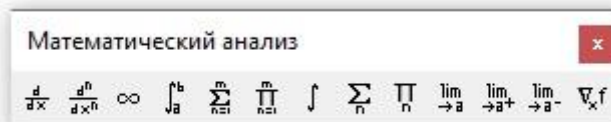


Рисунок 1.9 – Палитра **Математический анализ**

Кнопка  вызывает палитру **Булева алгебра** (рисунок 1.10) для ввода логических операторов булевой алгебры.

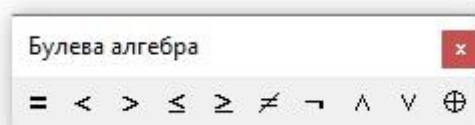


Рисунок 1.10 – Палитра **Булева алгебра**

Кнопка  вызывает палитру **Программирование** (рисунок 1.11) для ввода операторов программирования.

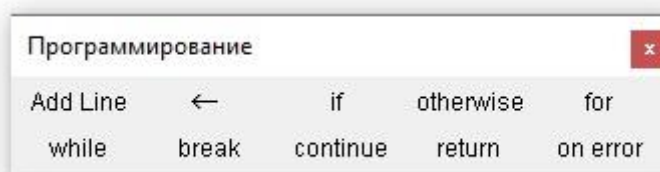


Рисунок 1.11 – Палитра **Программирование**

Кнопка  вызывает палитру **Греческий** (рисунок 1.12) для ввода греческих букв.

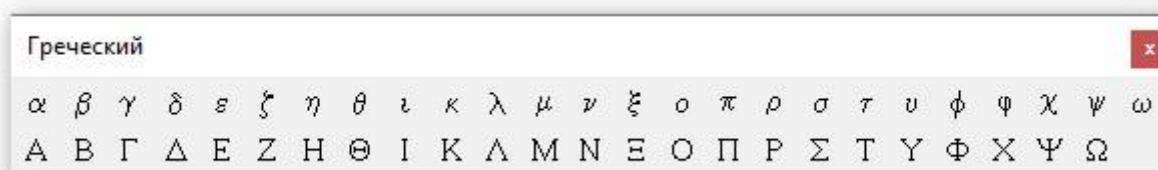


Рисунок 1.12 – Палитра **Греческий**

Кнопка  вызывает палитру **Символьные** (рисунок 1.13) для символьных вычислений.

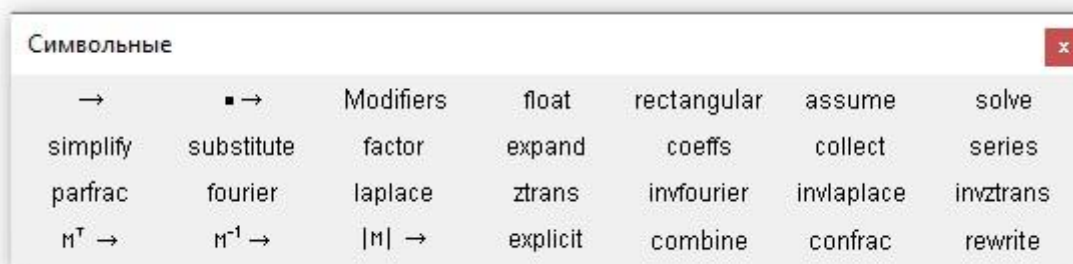


Рисунок 1.13 – Палитра **Символьные**

1.2.3. Окно редактирования

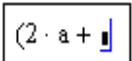
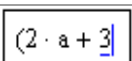
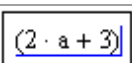
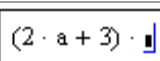
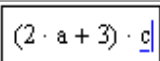
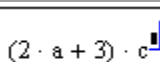
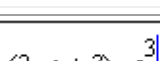
Ввод данных и работа с интерфейсом в *Mathcad* – это фундаментальный аспект эффективного использования данной системы. Работа начинается с документа, на котором пользователь видит обычный курсор мыши – привычный инструмент навигации по документу, позволяющий точно позиционировать ввод информации. Однако, в *Mathcad* работа с курсором выходит за рамки простой навигации, тесно взаимодействуя с различными режимами ввода и редактирования.

Ключевым элементом интерфейса *Mathcad* является **визир** – крестообразный курсор, определяющий место ввода математических выражений, графиков или текстовых блоков. В отличие от обычного курсора мыши, визир не просто указывает позицию, а задает контекст последующего ввода. По умолчанию, при запуске *Mathcad* или создании нового документа, визир располагается в левом верхнем углу рабочей области. Его перемещение осуществляется двумя способами: с помощью стрелок на клавиатуре, обеспечивая точный, пиксельный контроль позиции, или быстрым щелчком левой кнопки мыши в нужной точке документа. Этот второй метод более удобен для быстрого позиционирования, особенно на больших документах.

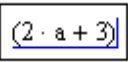
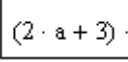
После размещения визира, щелчок левой кнопки мыши активирует режим ввода. Система по умолчанию находится в «математической области», что означает, что введенные символы (цифры, латинские буквы, специальные математические символы) интерпретируются как элементы математических выражений. Это ключевое отличие от текстового режима. В математической области *Mathcad* позволяет создавать сложные формулы, использовать встроенные функции, определять переменные и константы, а также выполнять как численные, так и символьные вычисления. Система автоматически распознает вводимые математические операторы (+, -, *, /, =, и т.д.) и форматирует выражение согласно правилам математической нотации.

В дополнение к визиру и стандартному курсору мыши, *Mathcad* использует **уголковый курсор** при редактировании математических выражений. Он появляется при выделении фрагмента формулы, позволяя вставлять новые элементы, удалять существующие или изменять порядок операций. Этот курсор отличается от обычного своей формой, напоминая два пересекающихся уголка, и ограничивает область редактирования рамками выделенного математического выражения. В качестве примера рассмотрена последовательность действий при вводе простого выражения $(2a+3)c^3$. Последовательность нажатий клавиш и результаты каждого нажатия приведены в таблице 1.1.

Таблица 1.1 - Последовательность нажатий клавиш и результаты нажатия

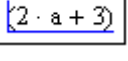
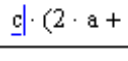
Клавиши	Получаемый результат	Примечание
(		Появление маркера ввода и уголкового курсора (УК)
2		УК устанавливается в позицию для развития выражения вправо
*		Система предлагает ввести сомножитель
a		
+		Система предлагает ввести слагаемое
3		
)		Уголкового курсор «охватывает» всю скобку, рассматривая ее как единый элемент математического выражения
*		Система предлагает ввести сомножитель
c		
^		Система предлагает ввести степень
3		

Важную роль играет положение горизонтальной линии уголкового курсора - правое или левое. При левом положении, когда уголкового курсор имеет форму , набор выражения может быть осуществлен вправо от вертикальной линии курсора. Ниже приведены копии двух последовательных этапов набора математического выражения.

Этап 1: ; этап 2: .

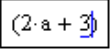
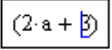
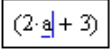
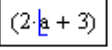
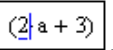
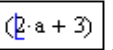
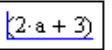
На первом этапе уголкового курсор имеет левостороннее положение и охватывает всю скобку. Это позволяет умножить эту скобку на множитель справа.

В том случае, когда уголкового курсор имеет форму , дальнейшее развитие выражения возможно только влево от вертикальной линии курсора:

Этап 1: ; этап 2: .

В этих простых примерах зафиксировано конечное положение уголкового курсора, соответствующее вводу последнего элемента выражения.

Изменение положения уголкового курсора возможно: стрелками клавиатуры, щелчком мыши в нужной точке выражения, клавишей «Пробел», сочетаниями перечисленных способов. Эти способы сильно отличаются удобством практического использования. Например, для перевода положения курсора из левостороннего, охватывающего все выражение $(2a+3)$, в соответствующее правостороннее (также с полным охватом скобки), потребуется семь раз нажать на стрелку $\leftarrow$. Приведем положения курсора при таких последовательных нажатиях стрелки $\leftarrow$, начиная с первого, в копиях из документов *Mathcad*:

, , , , , , 

Приведенный пример показывает, что действия одними стрелками крайне нерациональны для достижения требуемого положения уголкового курсора. В то же время в более сложных выражениях, включающих дроби, показатели степеней и пр., этот путь вообще может не привести к желаемому результату, поскольку последовательно перемещаемый стрелками клавиатуры курсор будет «обходить» все элементы выражения, образуя порою циклические переходы.

Значительно более рациональным, простым и удобным способом перемещения уголкового курсора служит комбинация действий стрелками, мышью и клавишей «Пробел». При этом мышью достигается требуемое (правое или левое) положение курсора с охватом любого элемента выражения, а нажатие клавиши «Пробел» увеличивает область охвата без изменения направления его горизонтальной линии. Основной смысл этой комбинации действий заключается в том, чтобы мышью добиться нужного положения курсора и расширить затем зону охвата клавишей «Пробел» до требуемого уровня. Например, перевод положения уголкового курсора в обратное может быть осуществлен этим способом в два этапа. На первом мышью выбирается точка слева от любого из элементов выражения и осуществляется щелчок. Этот элемент оказывается охваченным уголковым курсором слева. На втором этапе осуществляется последовательное нажатие клавиши «Пробел» до достижения нужной зоны охвата. Рассмотренный выше пример с переводом положения курсора в обратное может быть решен комбинированным способом так:

1. В исходном выражении ($2a + 3$) делается щелчок мышью слева от, например, тройки. Получаем следующий вариант:

$$(2 \cdot a + 3)$$

2. Однократное нажатие клавиши «Пробел» в этом случае позволяет расширить зону охвата до полной и достичь требуемого положения уголкового курсора:

$$(2 \cdot a + 3)$$

В ряде случаев не всегда удастся сразу получить нужное положение уголкового курсора. Тогда, получая при щелчке, например, левостороннее положение курсора, изменяем его положение на обратное однократным нажатием стрелки $\leftarrow$, после чего можно расширить зону охвата элементов выражения клавишей «Пробел». Подобный вариант для нашего примера будет включать последовательность действий, приведенную в таблице 1.2:

Таблица 1.2 – Последовательность действий

Действие	Получаемый результат
Щелчок мыши справа от тройки	$(2 \cdot a + 3)$
Нажатие стрелки $\leftarrow$	$(2 \cdot a + 3)$
Нажатие клавиши «Пробел»	$(2 \cdot a + 3)$

Подчеркивая значение уголкового курсора в системах *Mathcad*, необходимо отметить, что от его состояния (положения и зоны охвата) зависят возможности копирования элементов выражений в буферную память и удаление элементов.

Например, в документе имеется некоторое математическое выражение, часть которого необходимо скопировать для последующего использования в других фрагментах. Для этого выбранная часть должна быть предварительно полностью охвачена уголковым курсором произвольного положения (с левым или правым расположением горизонтальной линии). Это значит, что выбранная часть выражения должна располагаться между вертикальной линией

уголкового курсора и концом его горизонтальной линии. Таким образом, копировать можно только то, что охвачено уголковым курсором. Далее показан процесс выбора части математического выражения на примере рассмотренных ранее выражений.

Пусть в выражении $(2a+3)c^3$ требуется скопировать правый сомножитель.

Это значит, что уголковый курсор должен занимать только одно из двух следующих положений:

$$\boxed{(2 \cdot a + 3) \cdot c^3} \quad \text{или} \quad \boxed{(2 \cdot a + 3) \cdot c^3}$$

В положении уголкового курсора

$$\boxed{(2 \cdot a + 3) \cdot c^3} \quad \text{или} \quad \boxed{(2 \cdot a + 3) \cdot c^3}$$

в буферную память при копировании будет введен лишь параметр c .

При удалении части выражения необходимо также внимательно наблюдать за состоянием уголкового курсора. Удалить можно лишь ту часть, которая полностью охвачена уголком курсора. При этом для левостороннего его положения при удалении нужно пользоваться клавишей «Backspace», для правостороннего – клавишей «Delete». Для удаления части выражения необходимо:

- нажать клавишу «Backspace» или «Delete» в соответствии с положением уголкового курсора; при этом охваченная уголком курсора часть выражения закрашивается в черный цвет;

- дважды нажать клавишу «Delete».

Пример подобных действий приведен в таблице 1.3:

Таблица 1.3 – Последовательность действий

Действие	Получаемый результат
Исходное положение курсора (удаляется правый сомножитель)	$\boxed{(2 \cdot a + 3) \cdot c^3}$
Нажатие клавиши «Backspace»	$\boxed{(2 \cdot a + 3) \cdot c^3}$
Первое нажатие клавиши «Delete»	$\boxed{(2 \cdot a + 3) \cdot c^3}$
Второе нажатие клавиши «Delete»	$\boxed{(2 \cdot a + 3)}$

Аналогичные действия следует осуществить в нашем примере, если исходное состояние уголкового курсора – правостороннее. В этом случае потребуется трижды использовать клавишу «Delete» – для выделения удаляемой части черным цветом и дважды – для окончательного удаления. Последовательность результатов при каждом нажатии «Delete» будет иметь вид (первый фрагмент – исходное положение):

$$\boxed{(2 \cdot a + 3) \cdot c^3}, \quad \boxed{(2 \cdot a + 3) \cdot c^3}, \quad \boxed{(2 \cdot a + 3) \cdot c^3}, \quad \boxed{(2 \cdot a + 3)}$$

Процесс редактирования математических выражений характеризуется интуитивным, но достаточно сложным с технической точки зрения интерфейсом. Ключевым элементом этого интерфейса является маркер ввода – чёрная прямоугольная точка, указывающая на место, где будет вводиться новый элемент выражения. Появление маркера ввода – это визуальное подтверждение готовности системы к приёму данных. Пользователь может ввести математические символы, операторы, функции или целые подвыражения, заменив маркер

ввода. Если необходимо удалить маркер, это можно сделать, нажав клавишу «Backspace» или «Delete».

Важно отметить, что процесс удаления в большинстве редакторов сопровождается визуальным отображением процесса. Удаление части выражения происходит не мгновенно, а проходит через промежуточную стадию, когда удаляемая часть закрашивается чёрным цветом. Эта «чёрная заливка» служит не только визуальным подтверждением действия, но и предоставляет пользователю возможность отменить операцию до её завершения. Процесс заливки можно ускорить, протянув курсор мыши по нужному фрагменту выражения – это особенно удобно при удалении больших участков формулы. Нажатие клавиши «Delete» после заливки подтверждает удаление. Аналогичный механизм работает и при использовании клавиш «Backspace» или стрелок для перемещения курсора и последующего удаления символов.

Другой важный аспект редактирования – работа с фрагментами выражения. Выделение фрагмента обычно производится с помощью мыши. Щелчок мыши в пределах математического выражения активирует весь фрагмент, к которому принадлежит точка щелчка. Активация визуально отображается появлением чёрной рамки вокруг выделенного фрагмента и изменением формы курсора (например, на четырёхугольный курсор с возможностью растягивания выделенной области). Это позволяет пользователю проводить операции над целым фрагментом, а не отдельными символами.

После активации фрагмента становятся доступны различные операции:

- перемещение: выделенный фрагмент можно переместить, удерживая нажатой левую кнопку мыши и перетаскив его в нужное место выражения.
- копирование: выделенный фрагмент можно скопировать в буфер обмена (обычно сочетанием клавиш «Ctrl+C» или через контекстное меню). В контекстном меню, которое появляется после щелчка правой кнопкой мыши по выделенному фрагменту, обычно присутствует опция «Копировать».
- удаление: удаление активированного фрагмента может быть осуществлено несколькими способами: сочетанием клавиш «Ctrl+D», нажатием клавиши «Delete» после предварительной заливки фрагмента чёрным цветом (аналогично удалению отдельных символов), или через контекстное меню с выбором опции «Вырезать». Важно отметить, что «Вырезать» отличается от «Копировать» тем, что фрагмент удаляется из исходного места после копирования в буфер обмена.
- редактирование: в зависимости от возможностей редактора, внутри выделенного фрагмента могут быть доступны дополнительные операции редактирования, такие как изменение шрифтов, размеров символов, добавление или удаление элементов внутри самого фрагмента.

Техника удаления целых групп фрагментов основывается на тех же принципах. Пользователь может выделить несколько фрагментов (путем протягивания курсора мыши), а затем удалить их одним из описанных выше способов. Важно помнить, что сложность и точность операций зависят от конкретного редактора математических выражений. Некоторые редакторы предоставляют более продвинутые функции, такие как автоматическое упрощение выражений, проверка на правильность синтаксиса и другие.

Кроме того, современные редакторы часто предлагают «умные» функции, например, автоматическое подстраивание размера скобок, интеллектуальное автодополнение формул и подсказки по синтаксису. Эти функции значительно упрощают процесс работы с математическими выражениями и помогают избежать ошибок. Также стоит отметить, что работа с математическими выражениями часто интегрируется с другими функциями текстового процессора, например, с возможностью импорта и экспорта формул в различных форматах, вставкой формул в другие приложения, и обработка формул с помощью систем компьютерной алгебры. Все эти аспекты формируют сложную, но эффективную среду для работы с математическими формулами в современных цифровых документах.

Для работы с текстом используется отдельный курсор текстовых фрагментов, позволяющий выполнять стандартные текстовые операции – выделение, копирование, вставку, форматирование. Переход к вводу текста осуществляется путем создания специальной текстовой области. Это делается обычно путем нажатия на специальную кнопку на панели инструментов **Вставка/Регион текста** или нажатием клавиши «"». В текстовой области *Mathcad* работает как обычный текстовый редактор, позволяя вводить и форматировать текст, вставлять изображения и использовать базовые функции редактирования. Важно отметить, что в текстовой области математические символы не интерпретируются как элементы математических выражений, а отображаются как обычный текст. После завершения ввода текстового фрагмента щелчком мыши в выбранной точке документа производится обратное переключение режима (активируется позиция **Вставка/Регион формул** главного меню); система готова к вводу математических выражений на месте появившегося визира.

Железнодорожное строительство

Для удаления слов и более длинных фрагментов текста используется протяжка мышью, после которой требуемая область текста получает черную заливку. Это означает, что выделенная таким образом область текста может быть удалена, скопирована в буфер или для нее может быть выбран свой вариант шрифта. Таким образом, в отличие от математических выражений, где выделение преимущественно осуществляется уголковым курсором (возможна и протяжка), в текстовых фрагментах для выделения с целью последующих операций используется исключительно протяжка мышью, которая сопровождается заливкой выделяемой зоны. Другим отличием текстовых фрагментов от математических служит возможность выбора различных шрифтов для каждого из текстовых фрагментов и, более того, выбора шрифтов для отдельных слов и элементов внутри фрагмента. Пример такого раздельного выбора приведен ниже:

(2 **a** + 3) **c**³

Пример раздельного выбора шрифтов для символов и цифр математического выражения, а также для отдельных слов **текстового фрагмента**

В документе *Mathcad* текстовые и математические фрагменты имеют равноценное значение; при активизации получают черную рамку, могут быть выделены в составе группы (пунктирные рамки), могут одинаково перемещаться пользователем в целях достижения рационального использования поля документа. Небольшие отличия касаются лишь отмеченных выше особенностей форматирования математических и текстовых фрагментов [3].

1.2.4. Особенности входного языка системы

Mathcad – это система, работающая на основе интерпретируемого языка программирования. В отличие от компилируемых языков, таких как C++ (который, кстати, используется в ядре *Mathcad* для реализации вычислений), *Mathcad* выполняет инструкции по мере их ввода и распознавания. Это обеспечивает интерактивное взаимодействие с пользователем и мгновенный вывод результатов. Обработка данных происходит построчно, слева направо и сверху вниз, что делает процесс вычислений достаточно наглядным для пользователя. Каждая формула, график или текстовый блок рассматривается как отдельный фрагмент, обрабатываемый соответствующими внутренними подпрограммами.

Входной язык *Mathcad* – это, по сути, макроязык, ориентированный на математические вычисления. Он позволяет пользователям создавать документы, содержащие формулы, тексты, графики и другие объекты, используя интуитивно понятный синтаксис, близкий к стандартной математической нотации. Пользователь взаимодействует с программой преимущественно через графический интерфейс, используя математическую палитру и палитру символов для ввода формул и специальных символов. Это значительно упрощает

процесс создания и редактирования документов, делаая *Mathcad* доступным даже для пользователей без глубоких знаний программирования.

Однако, за удобством интерфейса скрывается мощный механизм вычислений. В основе лежит использование различных численных методов и алгоритмов, которые позволяют решать сложные математические задачи. Система поддерживает работу с различными типами данных, включая скаляры, векторы, матрицы, комплексные числа, символьные выражения и многое другое. Кроме того, *Mathcad* предоставляет обширный набор встроенных функций, охватывающих широкий спектр математических областей – от элементарной алгебры и математического анализа до линейной алгебры, статистики и численного интегрирования/дифференцирования.

Пользователь определяет переменные, задает функции и создает алгоритмы с помощью специальных конструкций языка. Эти конструкции могут включать условные операторы (*if-then-else*), циклы (*for*, *while*), а также пользовательские функции, позволяющие расширить возможности системы и создавать модульные программы. Всё это записывается в виде читаемого математического текста, что делает код более понятным и легко отлаживаемым.

Важным аспектом работы с *Mathcad* является организация памяти. Создаваемый документ с расширением «*xmcd*» или хранится в оперативной памяти до момента явного сохранения на устройства постоянной памяти. Это обеспечивает быстрый доступ к данным во время работы, однако необходимо помнить о лимите памяти. При работе с очень большими документами или сложными вычислениями может потребоваться оптимизация кода и использование дополнительных ресурсов. Более того, *Mathcad* может импортировать и экспортировать данные в различных форматах, что позволяет интегрировать его в другие приложения и рабочие процессы.

В целом, входной язык *Mathcad* представляет собой уникальное сочетание интуитивно понятного интерфейса и мощного математического ядра. Он позволяет решать широкий круг задач, от простых вычислений до сложных моделей и симуляций, при этом не требуя от пользователя глубоких знаний программирования. Однако, понимание основ программирования и математического моделирования значительно расширит возможности использования *Mathcad*.

Просмотр отдельных фрагментов текущего документа производится системами построчно слева направо и сверху вниз. При опознании очередного фрагмента, системы запускают внутренние подпрограммы для выполнения требуемых инструкций при условии, что к этому моменту определены все элементы используемых выражений, т.е. эти элементы и выражения введены надлежащим образом. Это определяет необходимость логической увязки фрагментов подготавливаемого документа «сверху вниз» и делает невозможным выполнение блоков до введения (описания, задания значений) участвующих в них переменных.

При нарушении логической согласованности фрагментов система выделяет красным цветом элементы первого из логически связанных фрагментов, из-за которого вычисления не могут быть продолжены (некорректно введенные элементы или невыполнимые фрагменты); подобной закрашкой выделяются и элементы последующих фрагментов. При щелчке мышки на таких фрагментах появляется выпадающая подсказка с краткой информацией о причинах нарушения вычислительного процесса. Ниже приведена горизонтальная цепочка элементарных вычислений, элементы которой введены правильно и которая завершается получением численного результата (он выделен фоновой заливкой).

$$x := 0.138 \quad y := x^3 \quad z := 3 - 4y \quad z = 2.989$$

Если в том же алгоритме ввод значения исходного параметра передвинуть чуть ниже уровня последующего его использования, вычислительный процесс становится невозможным. При этом система выделяет красным цветом переменные x , y , z во втором, третьем и заключительном фрагментах соответственно, что служит сигналом о нарушении логической согласованности фрагментов документа. При щелчке мышки, например, на третьем фрагменте, он получает черную рамку и выпадающая подсказка говорит о том, что данная

(выделенная красным в этом фрагменте) переменная не определена выше. Результат таких действий приведен ниже.

$$\boxed{x := 0.138} \quad y := x^3 \quad z := 3 - 4y \quad \boxed{z = 1}$$

Исключение из приведенного правила согласования фрагментов составляют лишь процедуры выполнения символьных вычислений, которые могут выполняться, несмотря на указанный «протест системы». На приведенном ниже простом примере система выполняет разложение разности кубов, несмотря на выделение красным цветом переменных x и y в первом и втором фрагментах соответственно.

$$y := x^3 \quad z := y - 1 \quad z \text{ factor}, 0 \rightarrow (x - 1) \cdot (x^2 + x + 1)$$

В двух последних примерах, представлен весь цикл выполнения вычислений от ввода до получения результата в числовой или в символьной формах. В них используются два оператора, которые не комментировались ранее – оператор присваивания и операторы вывода в числовом (знак равенства) и символьном (правая стрелка) виде. Кроме того, следует обратить внимание на формат чисел в системах *Mathcad*: числа имеют десятичную точку.

Оператор присваивания хорошо известен в программировании, имеет вид двоеточия с последующим знаком равенства. В системах *Mathcad* этот оператор вызывается нажатием на клавишу «:=» (двоеточие; верхний регистр клавиатуры, т.е. предварительно нажать «Shift»). При вызове оператора на место визира получаем так называемый шаблон ввода



в состав которого входят два маркера ввода, разделенные оператором присваивания. Левый маркер предназначен для ввода имени выражения (переменной, функции, вектора, матрицы и проч.), правый — для ввода выражения. Состояние уголкового курсора показывает, что первым может вводиться выражение. Если предварительно набирается имя математического выражения, а затем вызывается оператор присваивания с последующим заполнением правого маркера ввода, то оператор присваивания будет иметь лишь правый маркер ввода. Например, для присваивания переменной x числового значения 0,138, можно выполнить один из следующих вариантов ввода, представленных в таблице 1.4.

Таблица 1.4 – Последовательность действий

№ операции	Вариант 1	Вариант 2	Вариант 3
1			
2			
3			-
4			

Аналогично могут быть введены любые выражения, предназначенные для получения численного или символьного результата.

Приведенные варианты действий в таблице 1.4 отличаются стартовыми операциями. В первом сразу вводится шаблон оператора присваивания; во втором и третьем вариантах ввод начинается с набора числового значения и символа переменной соответственно. Вторая операция в зависимости от варианта состоит в вводе числа (вариант 1), изменении положения

уголкового курсора на обратное (вариант 2) в обеспечение развития выражения влево, вводе оператора присваивания (вариант 3). На третьем этапе для варианта 1 производится щелчок мыши на левом маркере ввода для обеспечения возможности последующего ввода символа; для варианта 2 этот этап состоит в вызове оператора присваивания. Последняя строка таблицы соответствует завершению ввода. В третьем варианте ввод выполняется за три этапа.

При щелчках мыши по маркерам ввода может появиться выпадающая подсказка с информацией о незавершенности выражения и необходимости ввода данных в этот маркер ввода.

Для вывода результата в числовой форме необходимо предварительно охватить математическое выражение или его имя уголком курсора и нажать на клавишу = (равно).

Вывод результата в символьном виде может быть осуществлен с помощью оператора символьного вывода, который вызывается сочетанием клавиш «Ctrl + .» и имеет вид правой стрелки.

Завершая описание начальных сведений о системах *Mathcad*, отметим, что в *Mathcad* предусмотрена избыточность средств достижения результатов, которая обеспечивает дополнительные удобства пользователям при решении конкретных задач. Так, вызов рассмотренных операторов и процедуры ввода могут быть реализованы с помощью соответствующих кнопок математической палитры, которая вызывается активизацией позиции **Вид/Панели инструментов** (главного меню системы *Mathcad*) [3].

1.3. Программирование в *Mathcad*

Одна из ключевых особенностей *Mathcad* – наличие программных модулей. Эти модули позволяют значительно расширить базовые функциональные возможности системы, реализуя практически любые вычислительные процедуры, от простых до весьма сложных. Это делает *Mathcad* гибкой платформой для разработки и реализации собственных алгоритмов. Однако, часто возникает вопрос о роли *Mathcad* (и подобных пакетов) в обучении численным методам. Существует распространенное мнение, что использование таких программных средств негативно влияет на методическую сторону обучения, поскольку пакеты, как правило, «прячут» неудачные или нестабильные методы. Давайте разберемся, насколько справедливо это утверждение.

Действительно, ни один программный пакет, в том числе и *Mathcad*, не предоставит пользователю возможность напрямую работать с заведомо неустойчивыми или неэффективными алгоритмами. Это обусловлено стремлением разработчиков обеспечить надежность и корректность вычислений. Однако, утверждать, что это полностью исключает образовательный аспект, было бы неверно. Рассмотрим два важных аспекта.

1. *Ограниченность возможностей и проявление неустойчивости.* Даже при наличии в *Mathcad* множества встроенных функций и процедур, его возможности, безусловно, ограничены. Это означает, что решение некоторых задач может быть неточным или вообще не найдено, несмотря на наличие соответствующих опций. В таких случаях, проявляется важная дидактическая ценность. Наблюдая за поведением алгоритма, например, при изменении параметров задачи или начальных условий, студент может столкнуться с типичными признаками неустойчивости: резкими колебаниями результата, расходимостью итераций, появлением нефизических решений. Анализ этих признаков, поиск причин и способов их устранения (например, изменение алгоритма, подбор параметров, применение методов регуляризации) – это и есть ключевой момент обучения. Пакет, таким образом, становится инструментом для эксперимента и визуализации поведения алгоритма в сложных условиях.

2. *Программирование собственных алгоритмов как метод углубленного изучения.* Возможность программирования в *Mathcad* позволяет пользователю самостоятельно реализовать любой алгоритм, даже тот, который изначально считался неудачным или неэффективным. Компактность языка программирования *Mathcad* существенно облегчает

анализ кода, позволяя студентам отслеживать каждый шаг вычислений, понимать логику работы алгоритма и выявлять его сильные и слабые стороны. Это позволяет не только получить результат, но и глубоко разобраться в сути численного метода, понять его ограничения и области применения. Таким образом, создание собственных программ в *Mathcad* становится мощным инструментом для практического освоения теоретического материала. Студент не просто использует готовое решение, а активно участвует в процессе его построения и анализа, что способствует глубокому пониманию материала.

1.3.1. Общая характеристика программных модулей

Mathcad предоставляет возможность создания программных модулей – структур, в которых можно реализовывать сложные вычислительные процедуры, не влияющие на остальную часть документа. Эта изоляция – ключевое преимущество модулей, обеспечивающее гибкость и повторное использование кода.

Например, при решении комплексной задачи, состоящей из нескольких этапов, каждый этап можно оформить как отдельный программный модуль. Это улучшает читаемость документа, упрощает отладку и позволяет легко менять отдельные части вычислений без риска сломать всю систему.

Главная особенность программного модуля – его замкнутость. Это означает, что вычисления внутри модуля изолированы от остальной части документа *Mathcad*. Внутренние переменные и присваивания действуют только внутри модуля. Измените значение переменной внутри модуля – это никак не отразится на значениях тех же переменных за его пределами. Эта изоляция предотвращает непредвиденные конфликты и ошибки, которые могут возникнуть при работе с большим количеством переменных в одном документе.

Хотя модуль замкнут, он не полностью изолирован. Переменные, определенные «вне» модуля, доступны внутри него как глобальные переменные. Модуль «видит» эти значения и может их использовать в своих вычислениях. Однако, изменения значений глобальных переменных «внутри» модуля не распространяются наружу. Это позволяет использовать одни и те же имена переменных в разных частях документа без опасения конфликтов.

Внутри программного модуля для присваивания значений переменным используется специальный оператор локального присваивания $\leftarrow$. Все переменные, которым присваиваются значения с помощью $\leftarrow$, являются локальными и существуют только внутри модуля. Обычный оператор присваивания «:=» в модуле недопустим. Вместо него часто используется оператор «эквивалентно» (сочетание клавиш «Ctrl + =»), который выполняет присваивание, но также подчеркивает локальный характер операции.

Исходные данные для модуля могут вводиться непосредственно внутри него, используя оператор локального присваивания. Эти данные могут быть константами, результатами вычислений, выполненными внутри самого модуля или получены из глобальных переменных, определенных вне модуля.

Программный модуль в *Mathcad* – это структурированный блок кода, который выполняет определенную последовательность действий. Характерным признаком модуля является жирная вертикальная черта, добавляемая с помощью оператора **Add Line**. Модули могут быть как простыми (с одной чертой), так и сложными (с несколькими чертами), образуя иерархические структуры. Это позволяет создавать модули внутри модулей, моделируя сложные алгоритмы.

Структура и особенности программных модулей определяются:

- иерархичностью: модули могут быть вложены друг в друга, образуя древовидные структуры. Это позволяет разбивать сложные задачи на более мелкие подзадачи, повышая читаемость и поддерживаемость кода;
- специальными операторами: для создания и управления модулями используется специальный набор операторов, доступный через математическую палитру. Эти операторы

позволяют выполнять различные действия, такие как циклы, условия, вызовы других модулей и т.д.;

- гибкостью: внутри модулей можно использовать любые функции, переменные и операторы, доступные в *Mathcad*. Это дает большую свободу в реализации алгоритмов;
- макрофункциональностью: программные модули можно рассматривать как своего рода макрофункции. Они могут принимать аргументы, возвращать результаты и вызываться из других частей документа.

Преимуществами использования программных модулей является:

- структуризация кода: модули позволяют разбить сложные вычисления на более мелкие, понятные блоки;
- повторное использование: созданные модули можно использовать многократно в разных частях документа;
- модульность: каждый модуль отвечает за выполнение конкретной задачи, что упрощает отладку и модификацию кода;
- улучшение читаемости: хорошо структурированный код с использованием модулей легче читать и понимать.

1.3.2. Операторы программных модулей

Доступ к палитре операторов программных модулей осуществляется нажатием кнопки, изображающей блок-схему программы (рисунок 1.14).



Рисунок 1.14 – Математическая палитра

Формирование и управление структурой программного модуля осуществляется с помощью специальной палитры операторов (рисунок 1.15). Эта палитра предлагает набор шаблонов для создания структур модулей. Простейшие структуры формируются с помощью кнопки **Add Line**. Однократное нажатие создает базовую структуру, а повторное – добавляет новую строку, при этом важное условие – уголкового курсора должен находиться на одном из маркеров ввода. Это обеспечивает четкую иерархию операторов внутри модуля.

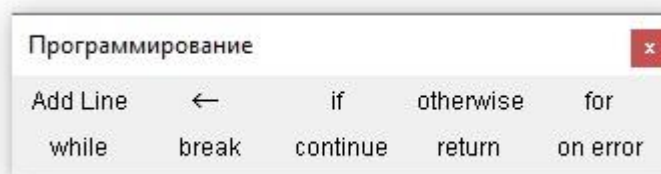


Рисунок 1.15 – Задание структур простых модулей

Структура программного модуля играет критическую роль, особенно при выполнении циклических, итеративных и рекурсивных вычислений. Она определяет порядок выполнения операторов и влияет на эффективность алгоритма. Общим свойством любой структуры является то, что конечный результат модуля определяется его последней строкой.

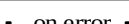
Идеальный сценарий предполагает предварительное планирование структуры модуля на основе алгоритма вычислений. Пользователь может заранее определить число строк и взаимное расположение маркеров ввода. Однако на практике, особенно при решении сложных задач, точное определение структуры с самого начала часто невозможно.

В таких случаях, *Mathcad* предоставляет гибкость для модификации структуры на лету. Можно добавлять или удалять вложенные циклы, изменять порядок операторов и т.д. Ввод операторов в тело модуля происходит с учетом позиции уголкового курсора. Его местоположение (левостороннее или правостороннее) определяет, как новый оператор будет интегрирован в существующую структуру, изменяя ее вид.

Палитра операторов программных модулей содержит 10 кнопок, нажатие которых вызывает шаблоны соответствующих операторов. В таблице 1.5 приведены шаблоны операторов, вызванные однократным нажатием кнопок палитры (рисунок 1.15). Шаблоны раскрывают формат соответствующих операторов.

Символы операторов в шаблонах (таблица 1.5) нельзя набирать с клавиатуры; при формировании программных модулей следует пользоваться только кнопками палитры программных операторов.

Таблица 1.5 - Символы операторов и кнопки палитры программных операторов

Операторы палитры **Программирование** имеют следующее назначение:

- **Add Line** – используется для создания отличительного признака программного модуля — жирной вертикальной черты, которая, при однократном нажатии кнопки **Add Line**, имеет два маркера ввода справа от нее. При необходимости создания более сложной структуры программного модуля повторным нажатием кнопки **Add Line** вертикальная линия либо растягивается (при этом добавляются и маркеры ввода), либо, при нажатии; кнопки других операторов, справа от основной вертикальной линии появляются вертикальные линии вложенных программных модулей (более низкого уровня);

← – оператор локального присваивания внутри модуля. В теле программных модулей не допускается использование обычных знаков присваивания. Их заменяет оператор локального присваивания. В левый его маркер вводится имя переменной, которой присваивается значение, расположенное в правом маркере;

- **if** – оператор условного перехода. Этот оператор имеет формат

выражение if условие

и обычно используется совместно с другими операторами, например, с оператором **otherwise**, в структурах типа

$$\left| \begin{array}{l} 2 \text{ if } x > 1 \\ (-1) \text{ otherwise} \end{array} \right.$$

В условиях, как правило, используются булевы операторы, в том числе «больше», «меньше», «больше или равно», «меньше или равно», «эквивалентно» (жирный знак равенства, вызываемый клавишами «**Ctrl** + «=»).

- **otherwise** – оператор, используемый в качестве альтернативного оператора совместно с оператором **if**;

- **for** – оператор организации циклических и итеративных вычислений с числом повторений в диапазоне от $n1$ до $n2$. При нажатии кнопки этого оператора на программной

палитре появляется шаблон, показанный на рисунке 1.16, а. В первый маркер после **for** необходимо ввести ранжированную переменную (например, y), а в правый маркер следует ввести (после нажатия клавиши **;**) диапазон ее изменения – значения целых чисел $n1$ и $n2$. В нижний маркер левой структуры вводится исполняемое выражение. Так поступают с каждым оператором **for**. Совмещая уголок курсора с нижним маркером (см. рисунок 1.16, а) и, нажимая кнопку **for** на программной панели, получаем структуру модуля, изображенную на рисунке 1.16, б.

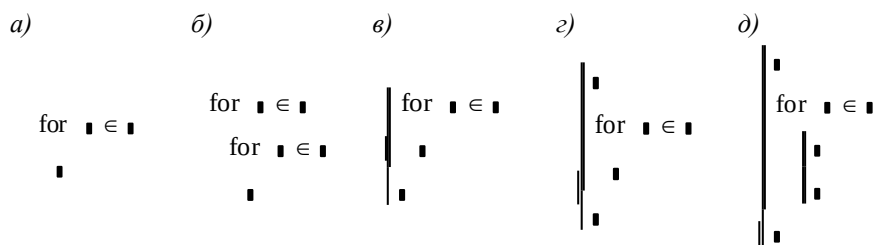


Рисунок 1.16. Структуры программных модулей с оператором **for**

Структуры программных модулей (см. рисунок 1.16, в, г) получены введением оператора **for** в левый и правый шаблоны модулей (см. рисунок 1.15). Структура г показывает возможности формирования более сложных программных блоков с вложениями. Структура д получена из г введением оператора **Add Line** для маркера, расположенного непосредственно под оператором **for**. Упрощение структур программных блоков производится в обратном порядке, путем исключения маркеров (клавишей «Delete»), начиная с нижнего;

while – оператор для организации циклов и условных соотношений, действующих до тех пор, пока выполняется условие. Формат ввода этого оператора раскрыт в шаблоне (см. таблицу 1.5). В правый маркер вводится условие, а в нижний маркер – исполняемое выражение;

break – оператор, прерывающий программу в месте, где он встречается. Обычно используется совместно с операторами **if**, **while**, **for**;

continue – оператор, используемый для продолжения прерванной программы. Обычно используется совместно с операторами **while**, **for**;

return – оператор, возвращающий переменную (символ, число), стоящую непосредственно за ним, в качестве результата программы. Этот оператор, не прерывая цикла, останавливает процесс вычислений в точке своего расположения. Если оператор **return** используется условно, совместно с оператором **if**, то остановка вычислений осуществляется в момент выполнения условия. Шаблон оператора приведен в таблице 1.5;

on error – оператор, предназначенный для реагирования программы на возникающие ошибки; осуществляет переход вычислительного процесса на другой алгоритм вычислений (к другому выражению) в случае возникновения ошибок в выражении, стоящем непосредственно после оператора (справа). Форма оператора задается в виде **A2 on error A1**.

В случае возникновения ошибки в выражении A1 оператор возвращает (для выполнения) выражение A2. При отсутствии ошибок в выражении A1 оно выполняется по умолчанию. В качестве простых примеров работы этого оператора приведем результаты его использования:

$$3 \text{ on error } \frac{1}{0} = 3 \qquad 5 \text{ on error } (1 + 1) = 2$$

В первом примере деление на ноль воспринимается системой как ошибка, поэтому результата формируется по выражению слева. Во втором случае, в выражении справа ошибки нет, и результат формируется по этому выражению.

Программные модули широко используются при реализации циклических и рекуррентных процедур, применении разностных уравнений состояний систем [3].

1.4. Построение двумерных графиков в *Mathcad*

Система компьютерной математики *Mathcad* предоставляет широкие возможности для построения двумерных графиков на плоскости. В данном учебном пособии рассмотрены возможности представления результатов вычислений на графиках в декартовой системе координат.

1.4.1. Вывод области построения двумерного графика

Графики в системе *Mathcad* могут иметь различные размеры и перемещаться в окне редактирования документа. Для вывода шаблона двумерного графика (области построения двумерной графики) в декартовой системе координат служит команда **График X-Y** или клавиша «@». При этом выводится в текущее положение курсора область построения двумерного графика. Следует отметить, что это обычный график на плоскости с воображаемыми (или действительно нарисованными) осями X (горизонтальная) и Y (вертикальная), расположенными под прямым углом друг к другу.

Каждая точка графика в декартовой системе координат характеризуется своими координатами x и $y=f(x)$, где x - абсцисса точки, а y - ее ордината. Точки соединяются друг с другом разнообразными линиями (сплошной, пунктирной и т.д.). Могут быть показаны исходные (узловые) точки графика в виде жирных точек, квадратиков, кружков и т. д., возможно также построение на одном рисунке графиков нескольких функций. Эти особенности представления графиков задаются их форматированием, которое рассматривается ниже.

Незаполненный шаблон графика, показанный на рисунке 1.16, представляет собой большой пустой прямоугольник с шаблонами ввода данных (или местами ввода) в виде темных маленьких прямоугольников, расположенных около осей абсцисс и ординат будущего графика. В них необходимо ввести выражения, задающие координаты точек графика по осям X (горизонтальная ось) и Y (вертикальная ось). В общем случае это могут быть функции некоторой переменной x .

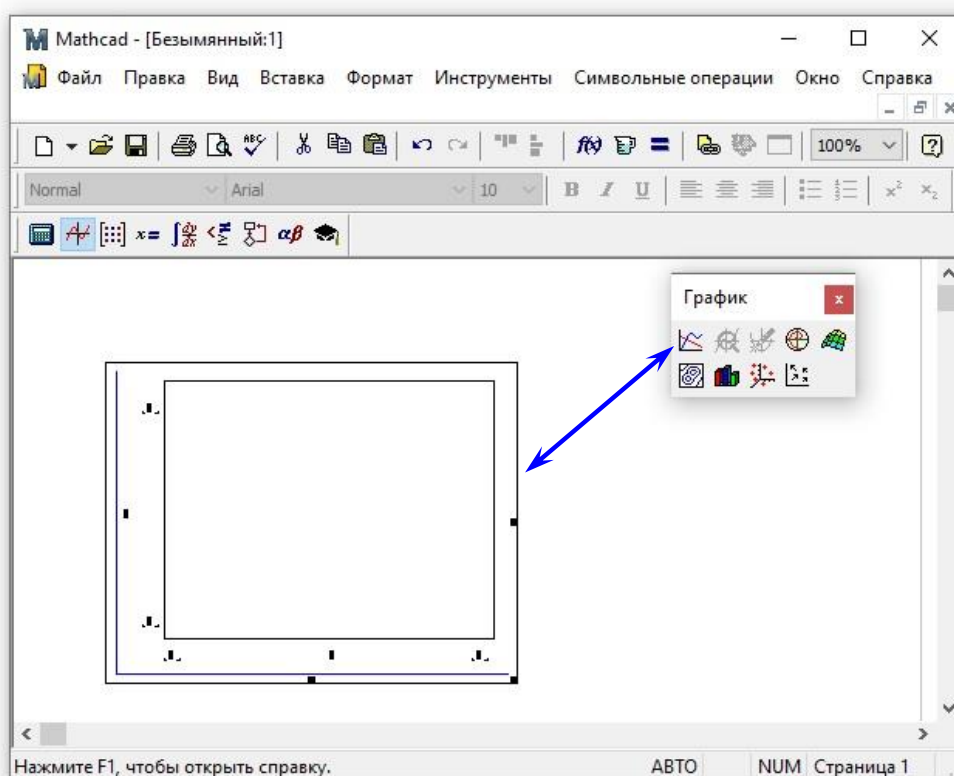


Рисунок 1.16 – Шаблон графика в декартовых координатах

1.4.2. Создание двумерного графика (декартова графика)

Для создания декартова графика, необходимо:

- щелкнуть на панели **Математические** по пункту **График**, а затем в выпадающем меню по пункту **График X-Y** , чтобы создать графическую область (шаблон графика),
- ввести в средней метке под осью X первую независимую переменную, через запятую вторую и т. д. до 10 независимых переменных, например $x_1, x_2, \dots$. Однако если диапазон изменения переменной не был определен предварительно, то *Mathcad* создает график, используя значения независимых переменных по умолчанию от -10 до 10. Это технология быстрого построения графиков «*QuickPlot*»;
- ввести в средней метке слева от вертикальной оси Y первую зависимую переменную, через запятую вторую и т. д., например $y_1(x_1), y_2(x_2), \dots$, или соответствующие выражения. Каждой независимой переменной должна соответствовать своя зависимая переменная - свое выражение. Если эти зависимости были определены до построения графика, то они будут изображены на графике;
- щелкнуть вне пределов области графика. Начнется процесс построения графика.

Каждая зависимость (выражение) должна использовать тот же самый диапазон изменения независимых переменных. Если зависимые переменные имеют один и тот же аргумент - независимую переменную, например $y_1(x), y_2(x)$ и т.д., то достаточно в метке под горизонтальной осью ввести только одну независимую переменную. При этом зависимых переменных можно уже ввести через запятую слева от вертикальной оси до 16 штук. На рисунке 1.17 представлены графики, построенные по технологии *QuickPlot* (с установками по умолчанию).

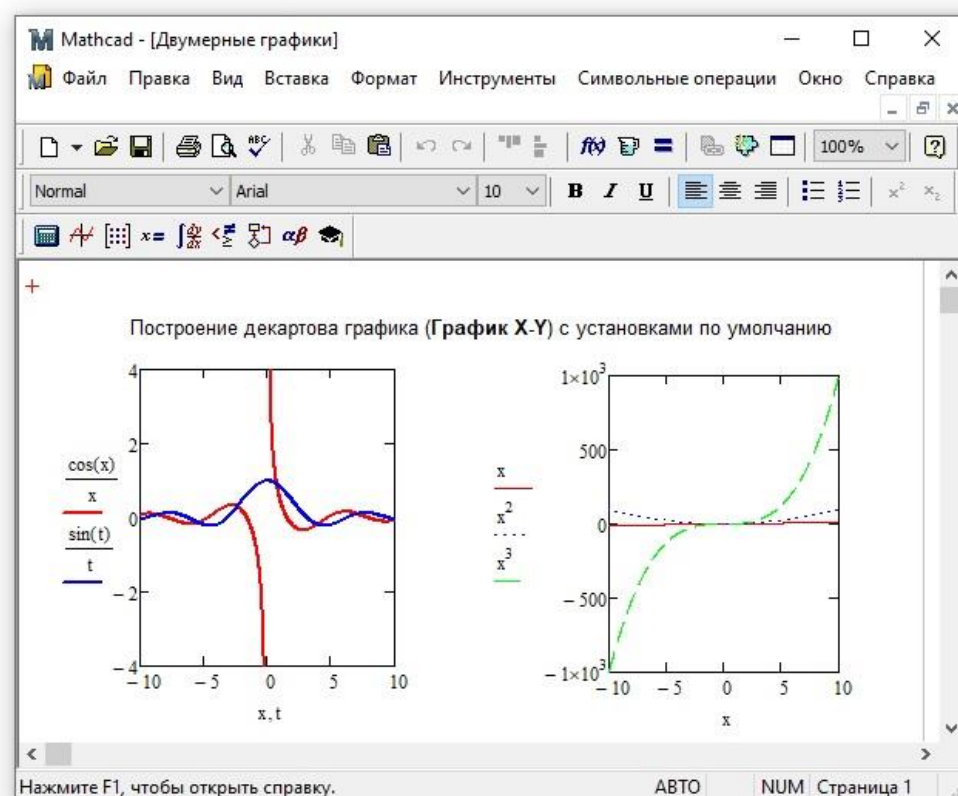


Рисунок 1.17 – Построение декартова графика с установками по умолчанию

Чтобы изменить заданные по умолчанию граничные значения переменной по оси x и/или по оси y , следует:

- щелкнуть мышкой по графику, чтобы его выделить. На графике ниже оси x и левее оси y появятся по два числа, дублирующие границы изменения независимой переменной;
- щелкнуть мышкой по одному из дублирующих значений и удалить прежнее число до появления метки и введите на месте метки новое значение;
- щелкнуть мышкой вне графика в пустом месте рабочего листа.

На рисунке 1.18 представлен процесс изменения граничных значений по осям x и y декартова графика.

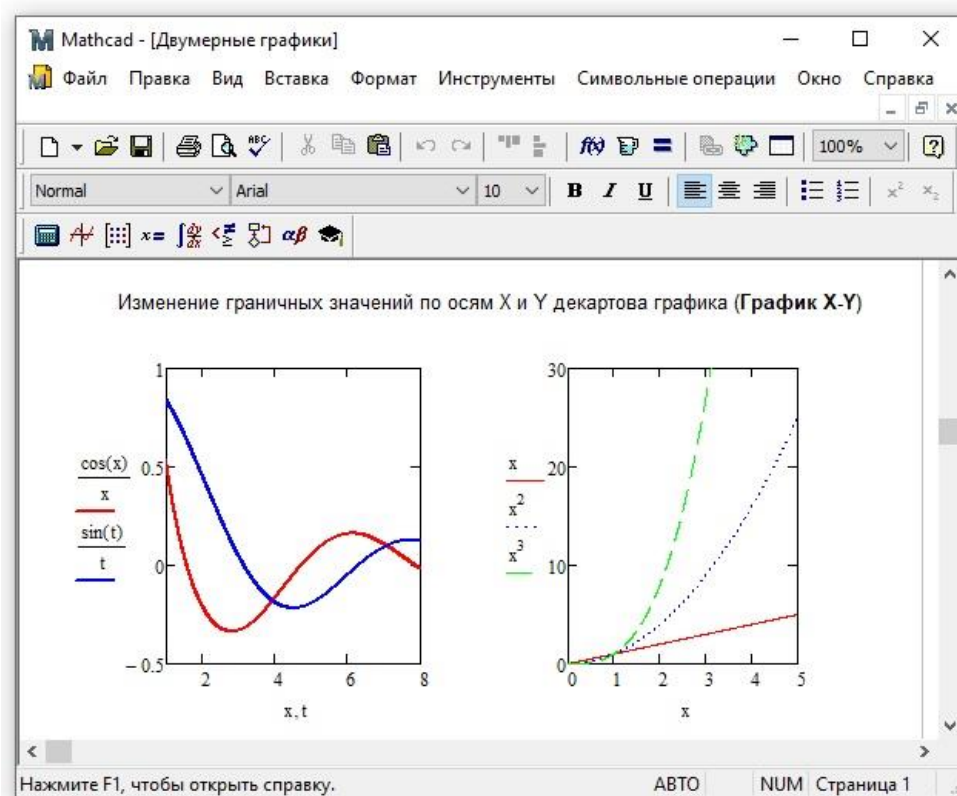


Рисунок 1.18 – Изменение граничных значений по осям X и Y декартова графика

1.4.3. Форматирование двумерных графиков

Если что-либо в построенном графике не вполне удовлетворяет, можно применить описанные ниже операции изменения формата графиков. Эти операции позволяют изменять заданные по умолчанию параметры графиков.

Графики можно перемещать по полю окна документа и изменять их размеры. Для этого надо выделить график, щелкнув на нем мышью. Можно поступить и по-иному - поместить указатель мыши вблизи графика и, нажав левую кнопку мыши, перемещать указатель в направлении графика, захватывая его рамкой выделения в виде прямоугольника из черных пунктирных линий. Как только график окажется внутри пунктирного прямоугольника, надо отпустить кнопку мыши. График будет выделен.

Стоит поместить указатель мыши вблизи границы выделения, форма указателя изменится - вместо маленького красного крестика он приобретет вид ладони руки. Если теперь начать перемещать мышь при нажатой левой кнопке, то весь шаблон графика будет перемещаться. Его следует установить в нужном месте и отпустить левую кнопку мыши. Рисунок окажется на новом месте.

Для изменения размеров рисунка нужно подвести указатель мыши к маркерам изменения размера. Эти маркеры имеют вид маленьких черных прямоугольников.

Указатель при этом приобретет форму двухсторонней стрелки, указывающей, в каких направлениях можно изменять размер рисунка. Нажав левую кнопку мыши и захватив соответствующую сторону или угол шаблона рисунка, можно, не отпуская кнопки, растягивать или сжимать шаблон. После того как кнопка будет отпущена, размер рисунка изменится. Сжимать и растягивать графики можно в вертикальном, горизонтальном и диагональном направлениях.

Чтобы установить те или иные характеристики на каждой оси декартова графика, необходимо:

- щелкнуть дважды по графику или в главном меню по пункту **Формат**, в выпадающем меню по пункту **График**, а затем во всплывающем меню по пункту **График X-Y**. Появится диалоговое окно «*Форматирование выбранного графика X-Y*»;

- щелкнуть по вкладке «**Оси X, Y**», если она не установлена, а затем изменить соответствующие установки в разделах **Ось X**, **Основная ось Y**, **Дополнительная ось Y** и **Отображение осей**;

- щелкнуть по кнопке **ОК**, чтобы принять изменения и закрыть диалоговое окна

На рисунке 1.19 представлен процесс установки значений характеристик по осям X и Y декартова графика.

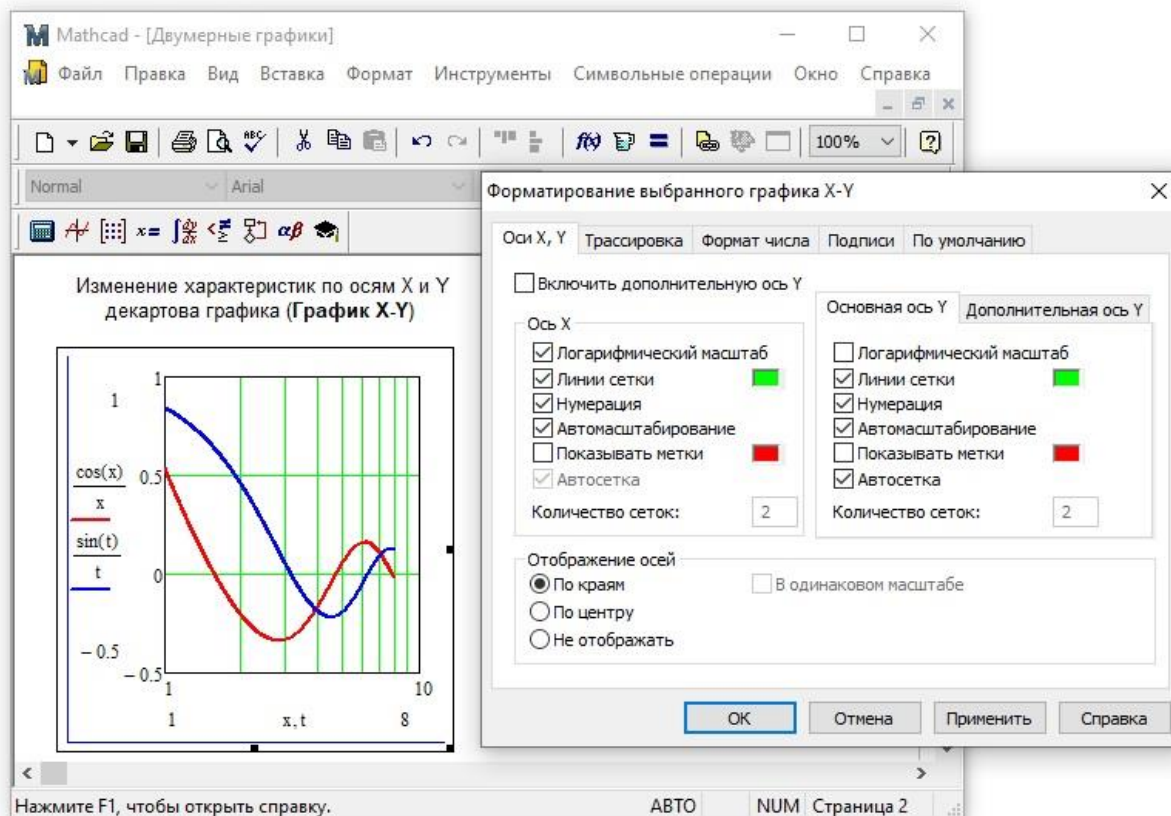


Рисунок 1.19 – Установка значений характеристик по осям X и Y декартова графика

Чтобы изменить характеристики на одной из осей декартова графика, нужно:

- щелкнуть мышкой по графику, чтобы его выделить, а затем щелкнуть по оси, для которой предстоит установить те или иные характеристики. Ось выделится пунктирным прямоугольником;

- дважды щелкнуть мышкой внутри пунктирного прямоугольника. Появится соответствующее диалоговое окно, в котором следует выполнить необходимые установки;

- щелкнуть по кнопке **ОК**, чтобы принять сделанные установки и закрыть диалоговое окно.

На рисунке 1.20 представлено диалоговое окно «*Формат оси*» для установки значений характеристик по оси Y.

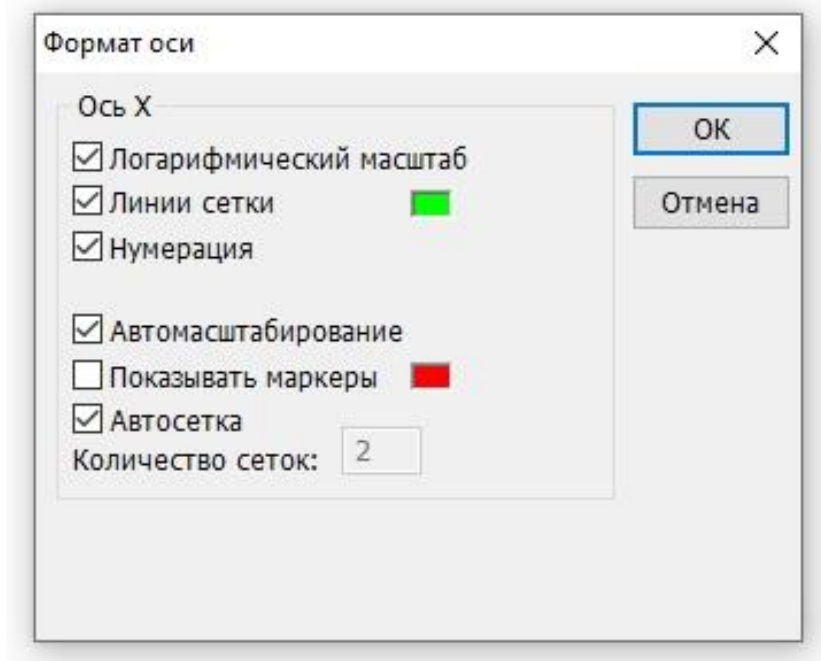


Рисунок 1.20 – Диалоговое окно для установки значений характеристик по оси Y

Аналогично можно вызвать и диалоговое окно для установки значений характеристик по оси x . Чтобы ввести надписи вдоль осей графика, следует:

- щелкнуть дважды по графику или в главном меню по пункту меню **Формат**, а затем в выпадающем меню по пункту **График**, далее во всплывающем меню по пункту **График X-Y...** Появится диалоговое окно «*Форматирование выбранного графика X-Y*»;
- щелкнуть по вкладке **Подписи**. Введите в разделе **Подписи осей** в текстовом поле **Ось X** надпись, которая будет показана вдоль оси X , а в текстовом поле **Ось Y** надпись, которая будет показана вдоль оси Y ;
- щелкнуть по кнопке **ОК**, чтобы зафиксировать введенные надписи по осям и закрыть диалоговое окно.

Чтобы добавить заголовок к декартову графику, необходимо:

- щелкнуть дважды по графику или в главном меню по пункту меню **Формат**, а затем в выпадающем меню по пункту **График**, далее во всплывающем меню по пункту **График X-Y**. Появится диалоговое окно «*Форматирование выбранного графика X-Y*»;
- щелкнуть по вкладке **Подписи**, если она не раскрыта;
- напечатать в текстовом поле **Заголовок** заголовок для графика. Можно использовать символы верхнего и нижнего регистров в названии;
- щелкнуть по одной из кнопок **Сверху** или **Снизу**;
- щелкнуть по кнопке **Показывать заголовок** для показа заголовка.

Чтобы скрыть заголовок, необходимо выключить переключатель **Показывать заголовок** - удалить в нем галочку.

На рисунке 1.21 представлено диалоговое окно, предназначенное для введения надписей по осям X , Y и общей надписи на декартовом графике.

Чтобы изменить только одну из надписей (общую или по осям), нужно:

- щелкнуть мышкой по графику, чтобы его выделить, а затем щелкните по изменяемой надписи. Надпись выделится пунктирным прямоугольником;
- дважды щелкнуть мышкой внутри пунктирного прямоугольника. Появится соответствующее диалоговое окно, в котором можно изменить надпись;
- щелкнуть по кнопке **ОК**, чтобы принять надпись и закрыть диалоговое окно.

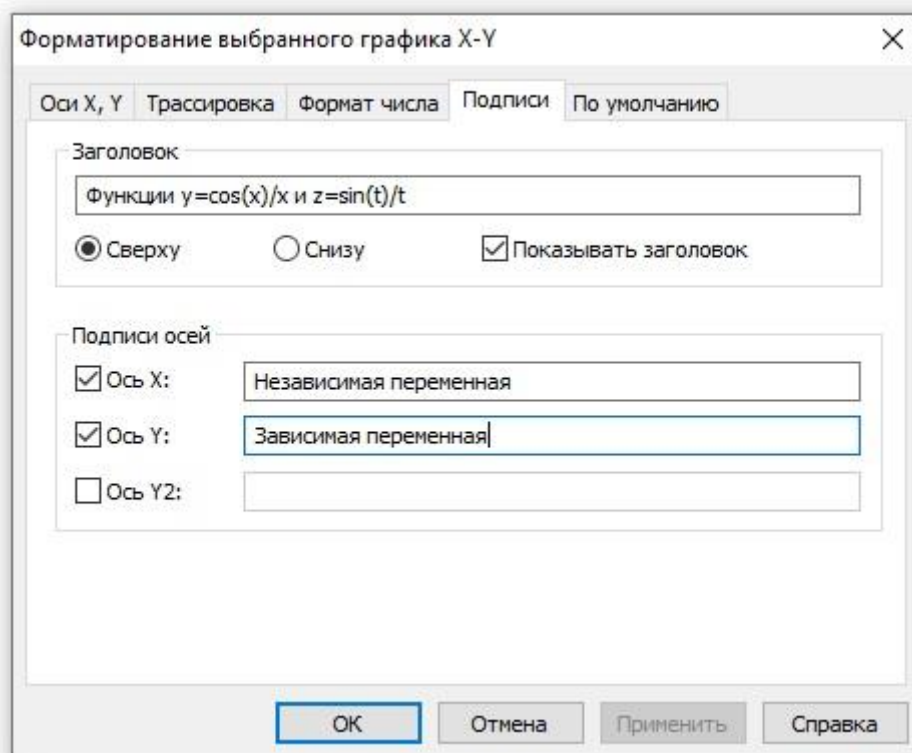


Рисунок 1.21 – Диалоговое окно для введения надписей по осям и общей надписи на декартовом графике

На рисунке 1.22 представлено диалоговое окно «Подписи осей» для изменения надписей по осям X, Y.

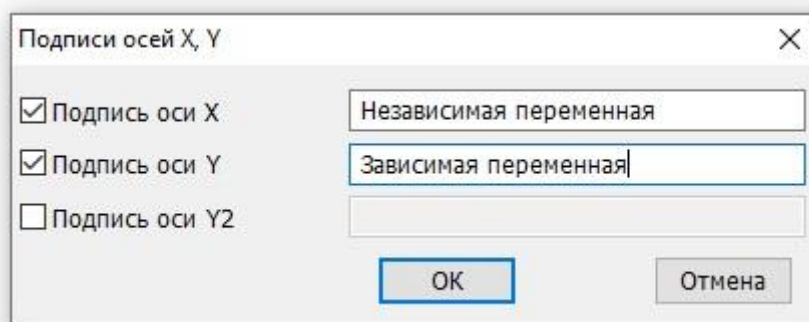


Рисунок 1.22 – Диалоговое окно **Подписи осей** для изменения надписей по осям X и Y

Аналогично можно вызвать и диалоговое окно для изменения и общей надписи.

1.4.4. Трассировка графиков (определение координат)

Чтобы определить координаты декартова графика в заданной точке на графике, следует:

- щелкнуть по декартову графику для его выделения;
- щелкнуть в главном меню по пункту **Формат**, в выпадающем меню по пункту **График**, а затем во всплывающем меню по пункту **Трассировка....** Появится диалоговое окно **Трассировка графика X-Y** (рисунок. 1.23);

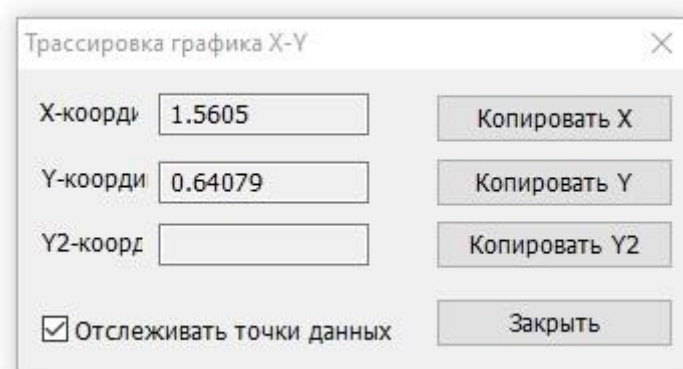


Рисунок 1.23 – Диалоговое окно **X-Y Trace** (Трассировка декартова графика)

- поместить указатель мышки на кривую. Нажать левую кнопку и, не отпуская ее, переместить указатель вдоль кривой. По мере перемещения указателя мышки по кривой в диалоговом окне **Трассировка графика X-Y** будут определяться координаты его положения на кривой. Если отпустить кнопку, то последнее местоположение указателя мышки будет зафиксировано в диалоговом окне **Трассировка графика X-Y**. Эти координаты будут показываться в соответствующих текстовых полях **X-Координата** и **Y-Координата** диалогового окна **Трассировка графика X-Y** (рисунок 1.24).

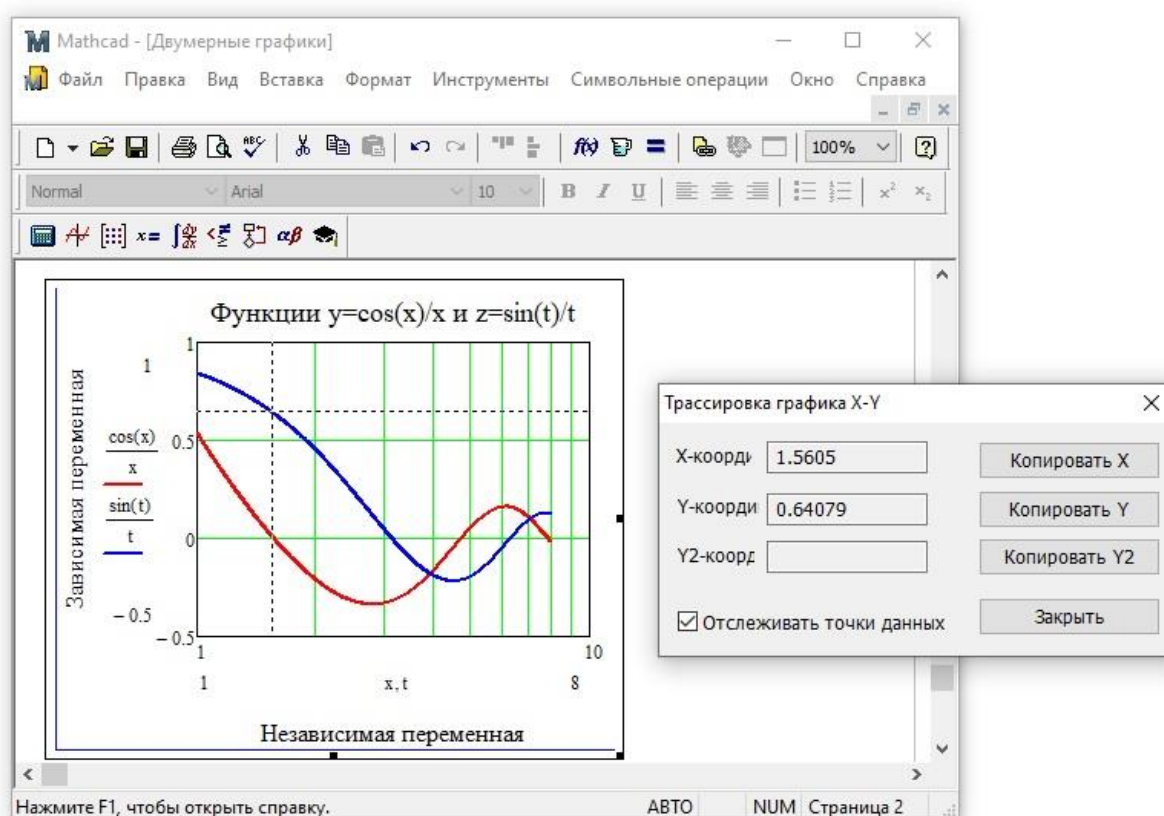


Рисунок 1.24 – Определение координат точки на кривой

Можно скопировать координаты точки в буфер обмена данных, щелкнув по соответствующим кнопкам: **Копировать X**; **Копировать Y**.

Чтобы перейти на графиках к установкам по умолчанию, необходимо:

- щелкнуть дважды по графику. Появится диалоговое окно «*Форматирование выбранного графика X-Y*»;
- щелкнуть по вкладке **По умолчанию**, если она не раскрыта;

- щелкнуть по кнопке **Использовать умолчания**, чтобы изменить все параметры графика в соответствии с установками по умолчанию для этого документа.

Чтобы перейти в текущем графике к новым установкам, следует:

- щелкнуть дважды по графику. Появится диалоговое окно «*Форматирование выбранного графика X-Y*»;
- щелкнуть по вкладке **По умолчанию**, если она не раскрыта;
- отметить галочкой на вкладке **По умолчанию** пункт **Использовать в качестве значений по умолчанию** - использовать текущие установки как установки по умолчанию для этого документа.

Чтобы установить значения по умолчанию для декартова графика, необходимо:

- щелкнуть в главном меню по пункту меню **Формат**, в выпадающем меню по пункту **График**, а затем во всплывающем меню по пункту **График X-Y...** Появится диалоговое окно «*Форматирование выбранного графика X-Y*»;
- щелкнуть по вкладке **Оси X-Y**, если она не установлена, а затем изменить соответствующие установки в разделах **Ось X** и **Ось Y**;
- щелкнуть по кнопке **ОК**, чтобы принять изменения и закрыть диалоговое окно.

1.4.5. Просмотр участков двумерных графиков

Нередко некоторые графики представляют собой довольно любопытные кривые. Например, поведение кривой функции $x \cdot \sin(1/x)$ при значении x , стремящемся к нулю, будет необычным. Для того чтобы исследовать функцию в окрестностях близких к нулю необходимо воспользоваться опцией, позволяющей изменить масштаб указанной области (рисунок 1.25).

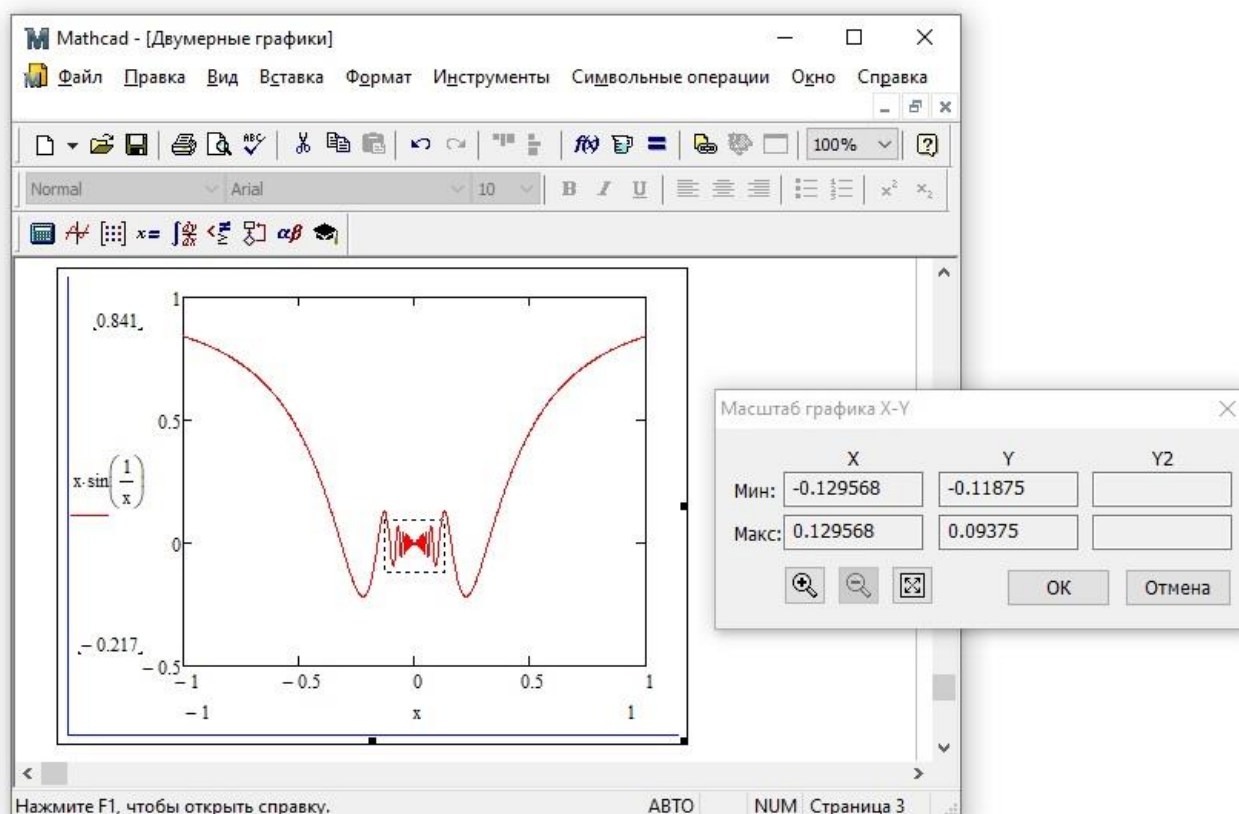


Рисунок 1.25 – Подготовка к просмотру фрагмента графика

Выбор в контекстном меню команды **Масштаб...** ведет к открытию диалогового окна, с помощью которого можно увеличить любой участок графика (применительно к функциям

времени такую возможность часто называют «лупой времени»). Для того чтобы воспользоваться этим окном, надо предварительно выделить фрагмент графика функции.

При этом в окне просмотра отображаются минимальные и максимальные значения X и Y , определяющие область просмотра. Кнопки **Увеличить**, **Уменьшить** и **Исходный вид** позволяют, увеличить выделенную часть графика, снять выделение и вернуться к просмотру все графика. На рисунке 1.26 показан случай, когда был выполнен щелчок на кнопке **Увеличить**. Нетрудно заметить, что выделенный участок графика увеличивается до размера всего окна просмотра. При этом поведение функции становится более понятным.

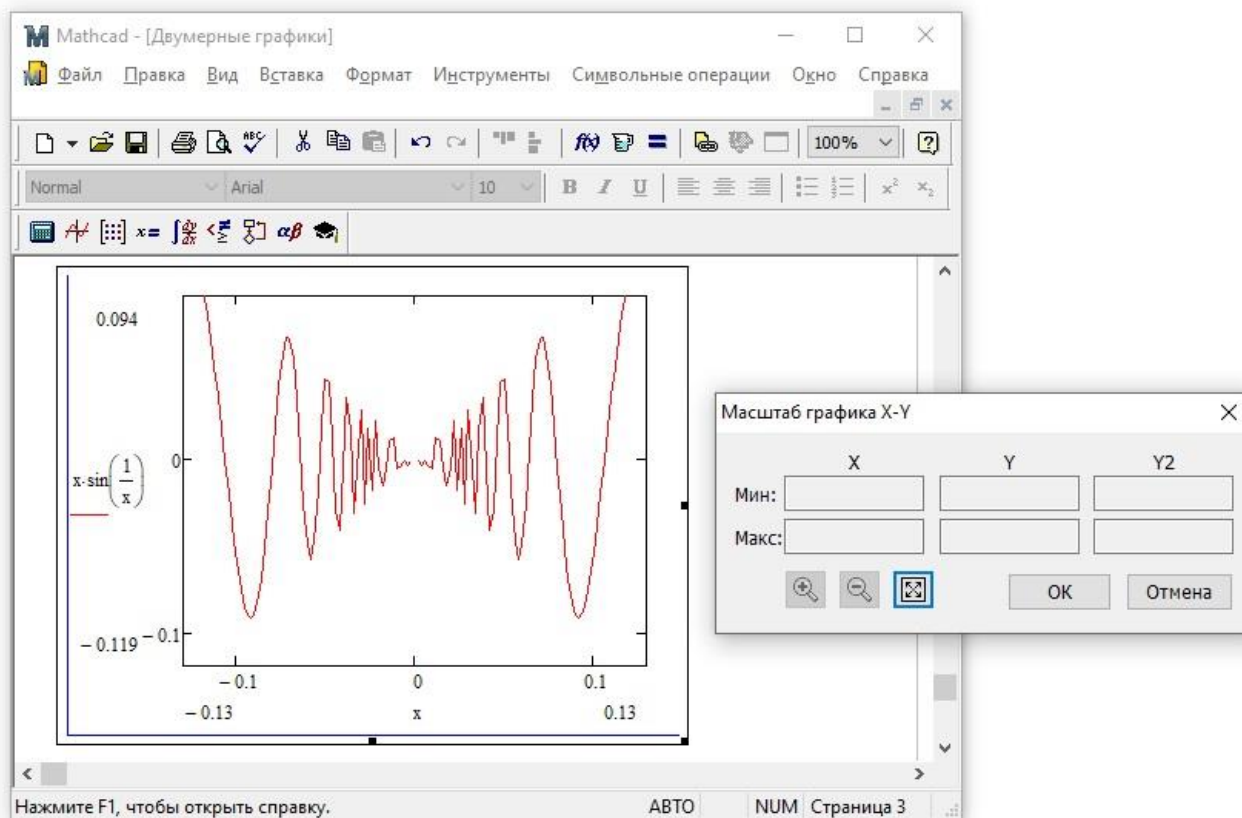


Рисунок 1.26 – Просмотр выделенного фрагмента двумерного графика

Глава 2. Практический курс

2.1. Учет неблагоприятных природно-климатических условий в железнодорожном строительстве

2.1.1. Теоретические основы

Классификация строительных работ в зависимости от влияния неблагоприятных природно-климатических факторов. Проектирование организации строительства новой железнодорожной линии предусматривает учет природно-климатических условий. Неблагоприятные природно-климатические факторы увеличивают продолжительность и стоимость строительных работ за счет простоев техники и людей, нарушают согласованность смежных специализированных потоков, приводят к концентрации объемов работ и ресурсов к окончанию строительства.

К характерным неблагоприятным природно-климатическим факторам, отрицательно влияющим на производство строительных работ, в дополнение к перечисленным выше, относятся:

- большая продолжительность зимнего периода;
- сильный ветер в сочетании с низкой температурой (жесткость погоды);
- интенсивные атмосферные осадки в летний и зимний периоды, распутица (таблица 2.1).

Строительство новых железных дорог имеет специфику не только определенной последовательности видов работ, представляющих собой специализированные потоки, но и в различном воздействии на них неблагоприятных природно-климатических условий. Так, очень важно правильно определять продолжительность теплого и зимнего периода, дифференцируя условия строительства для различных видов работ.

Таблица 2.1 - Неблагоприятные климатические факторы, отрицательно влияющие на производство строительно-монтажных работ

Номер группы	Виды работ	Климатические факторы
1.	Механизированные земляные работы и буровзрывные; транспортные работы и погрузочно-разгрузочные, выполняемые на открытом воздухе; железобетонные работы, выполняемые на открытом воздухе	Температура воздуха ниже - 40°C; пурга (метель); температура ниже - 10°C при ветре 15 м/с; атмосферные осадки в виде дождя свыше 5 мм/ст. (суглинистые грунты) и 10 мм/сут. (супесчаные грунты)
2.	Строительно-монтажные работы, выполняемые на открытом воздухе в том числе монтаж сборных конструкций, установка и перемещение кранов; путеукладочные работы	Температура воздуха ниже -40°C; метель атмосферные осадки свыше 10 мм/сут.; ветер свыше 10 м/с
3.	Балластировка пути, отделочные работы	Температура воздуха меньше 0°C, атмосферные осадки свыше 10 мм/сут.
4.	Ручные земляные, в том числе дренажные, выполняемые на открытом воздухе; монтаж, внутренних санитарно-технических устройств плотничные и стекольные работы	Температура воздуха ниже -40°C; метель, том атмосферные осадки свыше 10 мм/сут. и оборудования

Например, при производстве земляных работ в теплый период перерывы в работе землеройной техники могут наблюдаться в результате выпадения значительного количества

дождевых осадков, приводящего к переувлажнению грунта. Работа кранов прекращается при сильном ветре и т.д. Ниже приведена классификация строительных работ по группам в зависимое от воздействия неблагоприятных природно-климатических условий (таблица 2.1).

Критические значения метеорологических элементов, приведенные в таблице, установлены по экспериментальным исследованиям, на основе изучения и обобщения опыта эксплуатации строительных машин на Севере, исследования ряда авторов и нормативных источников.

Основные принципы строительно-климатического районирования территории России. Действующими в настоящее время нормативными документами и руководствами установлено несколько систем районирования территории Российской Федерации. Так, одной из них, разработанной исходя из условий проектирования ограждающих конструкций зданий и сооружений, приведенной в СП 131.13330.2020 «Актуализированная редакция СНиП 23-01-2003 «Строительная климатология» [7], по данным многолетних климатических наблюдения выделено четыре района, каждый из которых делится на некоторое число подрайонов. Так район I, представляющий собой Северную строительно-климатическую зону, подразделяется на 5 подрайонов, II и III районы включают по три подрайона, и IV состоит из 4-х подрайонов [7].

В соответствии с ГСН 81-05-02 «Сборник сметных норм дополнительных затрат при производстве строительно-монтажных работ в зимнее время» [2], для определения дополнительных затрат рабочей силы при производстве строительно-монтажных работ в зимнее время предусмотрено районирование территории на восемь температурных зон.

Кроме того, существуют и другие системы районирования территории страны: например, по характерным особенностям комплексов вечномёрзлых грунтов для выбора методов и механизмов для их разработки, а также другие, помогающие решать различные практические вопросы организации производства строительно-монтажных работ.

Общие климатические характеристики рассматриваемого района могут быть получены по [7], также из справочников по климату СССР, которые изданы в 34 выпусках, каждый из которых представляет собой отдельный регион (например, выпуск 24 - Якутия; выпуск 25 - Амурская область и Хабаровский край и т.д.). В каждом выпуске. имеется пять частей: ч. I - солнечная радиация; ч. II - температура воздуха и почвы; ч. III - ветер; ч. IV - влажность воздуха, осадки; ч. V - облачность).

Специальные природно-климатические характеристики, такие как продолжительности простоев в работе, рассчитываются по особым методикам, приведенным в настоящем учебном пособии.

Показатели, применяемые в разработке проектов организации и производства строительных работ. При составлении проектов организации строительства (ПОС) и производства работ (ППР) принятие рациональных решений находится в зависимости от времени года, сроков их исполнения, типов машин, которые определяются природно-климатическими условиями района строительства [5]:

1) показатели трудоемкости и сроки выполнения работ могут меняться во времени в зависимости от метеорологических и грунтовых условий площадки строительства по сезонам года; невозможности выполнения ряда работ из-за погодных условий;

2) значительные простои людей и техники из-за неблагоприятных метеорологических условий могут повлиять на типы машин и их количество для выполнения требуемых объемов работ.

Для определения продолжительности работ в системе автоматизированного проектирования организации строительства новой железнодорожной линии, где календарный график разрабатывается по укрупненным показателям, учет природно-климатических условий возможен через средний корректирующий коэффициент, учитывающий метеорологические простои как долю от общего годового цикла работы

$$\delta_{МП} = \frac{n_{МП}}{T}, \quad (2.1)$$

где T – продолжительность года, равная 365 суткам;

$n_{МП}$ – перерывы в работе, связанные с неблагоприятными метеорологическими условиями, при которых машины не могут работать,

$$n_{МП} = T_{ВП}^Л + T_{ВП}^З, \quad (2.2)$$

где $T_{ВП}^Л$ – продолжительность простоев в работе в связи с неблагоприятными метеорологическими условиями в теплый период года с учетом вероятного совпадения с выходными днями,

$$T_{ВП}^Л = T_{П}^Л \left(1 - \frac{T_B^Л}{T_Л} \right), \quad (2.3)$$

где $T_{П}^Л$ – общая продолжительность простоев в работе в летний период по всем неблагоприятным метеороусловиям;

$T_B^Л$ – количество выходных и праздничных дней в теплый (летний) период года;

$T_Л$ – среднее календарное число дней теплого периода;

$T_{ВП}^З$ – продолжительность простоев в работе в связи с неблагоприятными метеороусловиями в зимний период года с учетом вероятного совпадения с выходными днями:

$$T_{ВП}^З = T_{П}^З \left(1 - \frac{T_B^З}{T_З} \right), \quad (2.4)$$

где $T_{П}^З$ – общая продолжительность простоев в работе в зимний (холодный) период года;

$T_З$ – среднее календарное число дней зимнего периода;

$T_B^З$ – количество выходных и праздничных дней в зимний период года.

Общая продолжительность простоев в летний период по всем неблагоприятным метеороусловиям определяется следующим образом:

$$T_{П}^Л = T_O^Л + T_B^Л + T_P^Л, \quad (2.5)$$

где $T_O^Л$ – простои из-за неблагоприятных дождевых осадков;

$T_B^Л$ – простои из-за сильного ветра;

$T_P^Л$ – простои из-за распутицы.

Общая продолжительность простоев в зимний период по всем неблагоприятным метеороусловиям определяется по формуле:

$$T_{П}^З = T_C^З + T_Ж^З, \quad (2.6)$$

где $T_C^З$ – простои из-за критического количества снежных отложений;

$T_Ж^З$ – простои вследствие жесткости погоды.

Значения $T_{П}^Л$ и $T_{П}^З$, и их составляющие определяются по нижеприведенным методикам.

При составлении проектов производства работ, определении типов машин и их количества необходимо определять среднемесячные продолжительности воздействия неблагоприятных природно-климатических факторов на производство тех или иных работ. Эти данные необходимы не только для определения числа часов работы той или иной машины в году, но и сокращения простоев строительных машин за счет рационального перераспределения работ по месяцам года.

Число часов работы машины в году t_{Γ} в соответствии с принятым режимом ее использования определяется умножением количества рабочих дней в году T_{Γ} на коэффициент сменности K_{CM} и продолжительность смены $\Pi_{CM} = 8$ ч, т.е.

$$t_{\Gamma} = K_{CM} \cdot T_{\Gamma} \cdot \Pi_{CM}, \quad (2.7)$$

где K_{CM} принимается из условия использования светового дня;

$K_{CM} = 1$ – при производстве работ во всех климатических зонах в зимний период и в летний период в V климатической зоне;

$K_{CM} = 2$ – при производстве работ в летний период в I, II, III и IV климатических зонах.

Количество рабочих дней машины в году определяется путем исключения из календарного времени года дней перерывов в работе машины по всем причинам

$$T_{\Gamma} = 365 - (T_B + T_{\Pi P} + T_{PEM}) - (T_{B\Pi}^I + T_{B\Pi}^3), \quad (2.8)$$

где T_B – количество выходных и праздничных дней, принимаемых по календарю;

$T_{\Pi P}$ – время, затрачиваемое на перебазировку машин;

T_{PEM} – время, необходимое на техническое обслуживание и ремонт машины.

2.1.2. Пример решения

На рисунках 2.1-2.3 представлено решение задачи определения показателей, применяемых в разработке проектов организации и производства строительных работ и среднего корректирующего коэффициента, учитывающего метеорологические простои как долю от общего годового цикла работы.

Решение данной задачи демонстрирует возможности системы компьютерной математики *Mathcad*. В связи с этим внесение изменений в блоке «Исходные данные», может носить выборочный характер на усмотрение преподавателя.

Следует отметить, что получение результатов решения осуществляется в автоматизированном режиме, сразу после корректировки числовых параметров, помеченных желтым цветом. При этом корректировка числовых параметров должна осуществляться строго после оператора присваивания ($:=$).

В «Блоке решения» осуществляется расчет параметров в символьном виде с использованием стандартных операторов. Расчет каждого показателя сопровождается соответствующим пояснением. По формулам, размещенным в «Блоке решения», в автоматизированном режиме производится расчет и его результаты отражаются в блоке «Результаты решения».

Особенностью решения этой и последующих задач является то, что изменение численных значений приводит к автоматическому пересчету всех зависимых от этого значения параметров. Фактически реализуется возможность свойственная расчетам в табличных процессорах, например, *Excel*. Эта особенность, несомненно, способствует

оперативному решению задачи с учетом внесения изменений в блоке «Исходные данные» или подбору/перебору различных коэффициентов.

**Определение показателей, применяемых в разработке
проектов организации и производства строительных работ**

1) Исходные данные

Ст. Надым

Простои из-за критического количества снежных отложений $T_{СЗ} := 12$ сут

Простои вследствие жесткости погоды $T_{ЖЗ} := 8$ сут

Простои из-за неблагоприятных дождевых осадков $T_{ОЛ} := 11$ сут

Простои из-за сильного ветра $T_{ВЛ} := 3$ сут

Простои из-за распутицы $T_{РЛ} := 74$ сут

Количество выходных и праздничных дней в зимний период года $T_{ВЗ} := 26$ сут

Среднее календарное число дней теплого периода $T_{Л} := 143$ сут

Количество выходных и праздничных дней, принимаемых по календарю $T_{В} := 120$ сут

Продолжительность года $T_{\text{мм}} := 365$ сут

Время, затрачиваемое на перебазировку машин $T_{ПР} := 6$ сут

Время, необходимое на техническое обслуживание и ремонт машины $T_{РЕМ} := 11$ сут

Коэффициент сменности $K_{СМ} := 2$

Примечание:
 $K_{СМ} = 1$ - при производстве работ во всех климатических зонах в зимний период и в летний период в V климатической зоне,
 $K_{СМ} = 2$ - при производстве работ в летний период в I, II, III и IV климатических зонах,

Продолжительность смены $П_{СМ} := 8$ сут

Рисунок 2.1 - Документ *Mathcad* с решением задачи определения показателей, применяемых в разработке проектов организации и производства строительных работ. Блок «Исходные данные»

2) Блок решения

Определение общей продолжительности простоев в работе в зимний (холодный) период года

$$T_{ПЗ} := T_{СЗ} + T_{ЖЗ}$$

Определение общей продолжительности простоев в работе в летний период по всем неблагоприятным метеоусловиям

$$T_{ПЛ} := T_{ОЛ} + T_{ВЛ} + T_{РЛ}$$

Определение продолжительности простоев в работе в связи с неблагоприятными метеоусловиями в зимний период года с учетом вероятного совпадения с выходными днями

$$T_{ВПЗ} := T_{ПЗ} \cdot \left(1 - \frac{T_{ВЗ}}{T_{Л}} \right)$$

Определение продолжительности простоев в работе в связи с неблагоприятными метеоусловиями в теплый период года с учетом вероятного совпадения с выходными днями

$$T_{ВПЛ} := T_{ПЛ} \cdot \left(1 - \frac{T_{ВЛ}}{T_{Л}} \right)$$

Определение количества рабочих дней в году

$$T_{Г} := 365 - (T_{В} + T_{ПР} + T_{РЕМ}) - (T_{ВПЛ} + T_{ВПЗ})$$

Определение числа часов работы машины в году в соответствии с принятым режимом ее использования

$$t_{Г} := K_{СМ} \cdot T_{Г} \cdot П_{СМ}$$

Определение перерывов в работе, связанные с неблагоприятными метеорологическими условиями, при которых машины не могут работать

$$n_{МП} := T_{ВПЛ} + T_{ВПЗ}$$

Определение коэффициента, учитывающего метеорологические простои как долю от общего годового цикла работы

$$\delta_{МП} := \frac{n_{МП}}{T}$$

Рисунок 2.2 - Документ *Mathcad* с решением задачи определения показателей, применяемых в разработке проектов организации и производства строительных работ. Блок «Блок решения»

3) Результаты решения

Общая продолжительность простоев в работе в зимний (холодный) период года

$$T_{ПЗ} = 20 \text{ сут}$$

Общая продолжительность простоев в работе в летний период по всем неблагоприятным метеоусловиям

$$T_{ПЛ} = 88 \text{ сут}$$

Продолжительность простоев в работе в связи с неблагоприятными метеоусловиями в зимний период года с учетом вероятного совпадения с выходными днями

$$T_{ВПЗ} = 16 \text{ сут}$$

Продолжительность простоев в работе в связи с неблагоприятными метеоусловиями в теплый период года с учетом вероятного совпадения с выходными днями

$$T_{ВПЛ} = 86 \text{ сут}$$

Количество рабочих дней в году

$$T_{Г} = 125 \text{ сут}$$

Число часов работы машины в году в соответствии с принятым режимом ее использования

$$t_{Г} = 2008 \text{ час}$$

Перерывы в работе, связанные с неблагоприятными метеорологическими условиями, при которых машины не могут работать

$$n_{МП} = 103 \text{ сут}$$

Коэффициент, учитывающий метеорологические простои как долю от общего годового цикла работы

$$\delta_{МП} = 0.281$$

Рисунок 2.3. - Документ *Mathcad* с решением задачи определения показателей, применяемых в разработке проектов организации и производства строительных работ. Блок «Результаты решения»

2.2. Определение наиболее вероятной продолжительности теплого сезона

2.2.1. Теоретические основы

Наиболее вероятная продолжительность $t_{ТС}$ теплого сезона определяет период работ на открытом воздухе с балластными и прочими сыпучими материалами значительной естественной влажности, которые при отрицательных температурах способны смерзаться.

Предполагается, что до начала работ они сохраняют сыпучесть, иначе сами работы утрачивают смысл.

Из множества метеорологических элементов, ход которых зафиксирован в рядах систематических наблюдений и результатах их первичной обработки, наиболее информативны для решения задач организации железнодорожного строительного производства (рисунок 2.4) данные о температурах воздуха:

- среднемесячные значения θ_{CM} (1);
- средние из максимумов $\theta_{CM \max}$ (2);
- средние из минимумов $\theta_{CM \min}$ (3).

Значения показателей при графическом изображении целесообразно привязывать к середине месяца, полагая, что их промежуточные изменения линейно-пропорциональны времени, чтобы получить наглядные кривые годового хода метеорологических элементов (рисунок 2.4) в среднесуточном представлении.

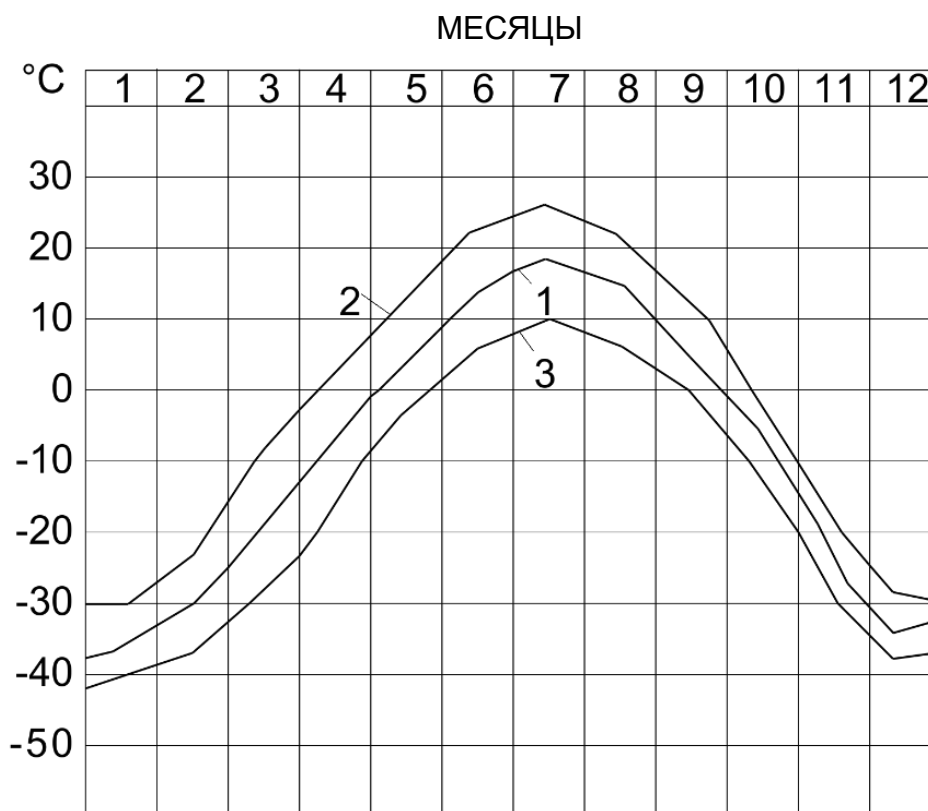


Рисунок 2.4 - График климатических характеристик

Кривая годового хода среднесуточной температуры θ_{CC} отображает общий тепловой режим района. В типичном суточном ходе температур значения, близкие к θ_{CC} , имеют место либо в 5-6 ч утра, либо в 19-20 ч вечера. Днем температура воздуха выше, ночью - ниже θ_{CC} . Кривая $\theta_{CM \max}$ дает представление о типичных значениях самой высокой дневной, а $\theta_{CM \min}$ - самой низкой ночной температуры; интервал между ними близок к наибольшей амплитуде суточных колебаний температуры воздуха.

Разность дат перехода через 0°C весной и осенью кривой температуры θ_{CC} по отношению к светлomu рабочему времени суток дает близкое к минимуму значение t_{TC} , а аналогичная разность для температуры $\theta_{CM\max}$ значение, близкое к максимуму [1]. В интервале $t_{TC\max} - t_{TC\min}$ суточные продолжительности t_{TC} варьируют, образуя распределение, которое по характеру процесса должно иметь левостороннюю косость. Этому условию удовлетворяет бета-распределение с плотностью:

$$Pr(t_{TC}) = P(t_{TC} - t_{TC\min})(t_{TC\max} - t_{TC})^2; \quad (2.9)$$

$$P = \frac{12}{(t_{TC\max} - t_{TC\min})^4}, \quad (2.10)$$

которое, кстати, считается и наиболее подходящим для описания варьирующих временных показателей различных производственных процессов [1,8].

Наиболее вероятная продолжительность (мода) для бета-распределения указанного вида

$$t_{TC} = \frac{2t_{TC\min} + t_{TC\max}}{3}. \quad (2.11)$$

Установление $t_{TC\max}$ и $t_{TC\min}$ сопряжено с простыми операциями над временными отрезками, исчисляемыми от начала года (в месяцах), которые фиксируют местонахождение на оси абсцисс точек пересечения с ней соответствующих температурных кривых. Очевидно, таких точек - шесть; три из них относятся к весеннему, а три - к осеннему периодам. Точкам присваиваются номера j в порядке их расположения на временной оси.

В общем случае:

$$t_j = \frac{\theta_{1j}}{\theta_{1j} + \theta_{2j}} + 0,5 + n_M, \quad (2.12)$$

где n_M - число целых месяцев, предшествующих тому, в пределах которого осуществляется изменение знака температуры с положительного на отрицательный или обратно;

θ_{1j} - первое по времени значение температуры на переходе через нуль, принимаемое по модулю, $^{\circ}\text{C}$;

θ_{2j} - второе по времени значение температуры на переходе через нуль принимаемое по модулю, $^{\circ}\text{C}$.

Экстремумы продолжительности теплого сезона находятся как разности соответствующих временных отрезков: $t_{TC\max} = t_6 - t_1$, $t_{TC\min} = t_5 - t_2$, в силу чего

$$t_{TC} = \frac{2(t_5 - t_2) + (t_6 - t_1)}{3}. \quad (2.13)$$

Дата начала теплого сезона (мес) от начала года

$$D_{HTC} = t_2 - \frac{(t_6 - t_1) - (t_5 - t_2)}{6} \cdot \frac{t_3 - t_1}{t_6 - t_4}, \quad (2.14)$$

дата конца теплого сезона

$$D_{KTC} = D_{HTC} + t_{TC}. \quad (2.15)$$

Расчеты наиболее вероятной продолжительности теплого сезона несложны, но все же достаточно громоздки, особенно, если приходится обрабатывать данные нескольких метеостанций, к которым тяготеет линия. В таких случаях имеет смысл воспользоваться системой *Mathcad* [1,6,9].

2.2.2. Пример решения

На рисунке 2.5-2.7 представлено решение задачи определения наиболее вероятной продолжительности, дат начала и конца теплого сезона, выполненное с использованием системы *Mathcad*.

Решение задачи производится в 2 этапа. На первом этапе в блоке «Исходные данные» документа *Mathcad* следует ввести название метеостанции, а в векторы числовые значения после оператора присваивания ($:=$) из таблицы 2.2.

Таблица 2.2 - Исходные данные

Ямало-Ненецкий АО			
Ст. Надым			
Месяцы	$ср\theta_{\text{в}}$	$ср\theta_{\text{max}}$	$ср\theta_{\text{min}}$
1	-23,6	-19,2	-28,2
2	-22,8	-17,8	-27,6
3	-18,3	-12,2	-25,5
4	-9,0	-2,8	-15,0
5	-1,5	3,2	-5,7
6	8,6	14,0	4,2
7	14,7	20,4	9,2
8	11,4	16,5	7,0
9	5,5	8,9	2,2
10	-4,5	-1,3	-7,4
11	-17,2	-12,6	-22,1
12	-22,8	-18,5	-28,3

На втором этапе осуществляется определение значений, расположенных на графике температурной кривой. Для этого необходимо воспользоваться режимом трассирования графиков. Данная процедура описана в п. 1.4.4 настоящего пособия. Результатом применения данной процедуры должны стать заполненные параметры t_i , помеченные серым цветом и расположенные под областью построения графика.

По формулам, размещенным в «Блоке решения», в автоматизированном режиме будет произведен расчет и его результаты отразятся в блоке «Результаты решения».

Определение наиболее вероятной продолжительности, дат начала и конца теплого сезона при годовом ходе температур

1) Исходные данные

Ст. Надым

Q_{CM} - средние месячные температуры воздуха, °C,

Q_{CMmax} - средние из максимумов суточных температур воздуха, °C,

Q_{CMmin} - средних из минимумов суточных температур воздуха, °C

$\theta_{CM} :=$	$\begin{pmatrix} -23.6 \\ -22.8 \\ -18.3 \\ -9.0 \\ -1.5 \\ 8.6 \\ 14.7 \\ 11.4 \\ 5.5 \\ -4.5 \\ -17.2 \\ -22.8 \end{pmatrix}$	$\theta_{CMmax} :=$	$\begin{pmatrix} -19.2 \\ -17.8 \\ -12.2 \\ -2.8 \\ 3.2 \\ 14.0 \\ 20.4 \\ 16.5 \\ 8.9 \\ -1.3 \\ -12.6 \\ -18.5 \end{pmatrix}$	$\theta_{CMmin} :=$	$\begin{pmatrix} -28.2 \\ -27.6 \\ -25.5 \\ -15.0 \\ -5.7 \\ 4.2 \\ 9.2 \\ 7.0 \\ 2.2 \\ -7.4 \\ -22.1 \\ -28.3 \end{pmatrix}$
------------------	---	---------------------	---	---------------------	--

Коэффициент местных условий: $K_{My} := 0.7$

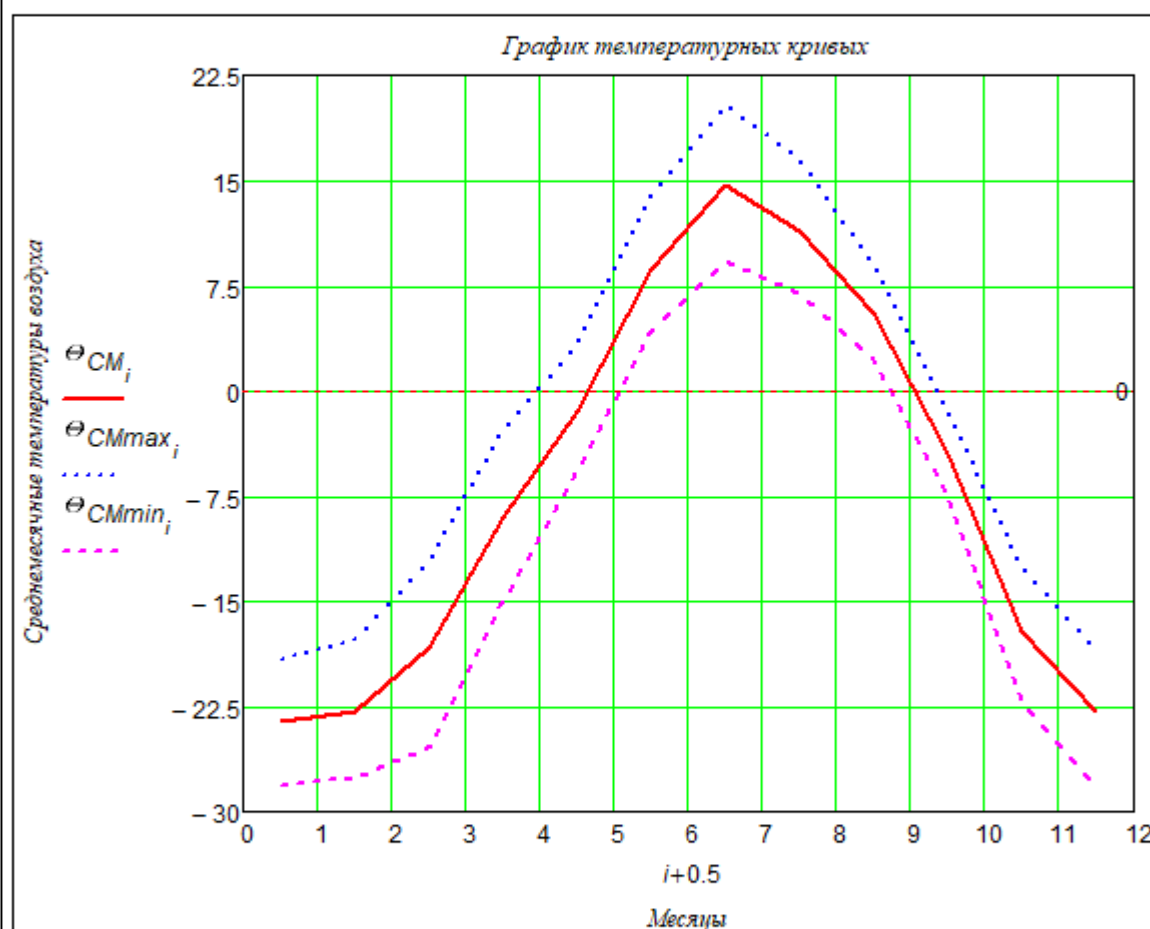
Коэффициент асимметрии: $K_A := 1$

Рисунок 2.5 - Документ *Mathcad* с решением задачи определения наиболее вероятной продолжительности, дат начала и конца теплого сезона. Блок «Исходные данные»

2) Блок решения

Построение графика температурных кривых

$ORIGIN := 0$ $n := \text{rows}(\Theta_{CM})$ $i := 0 \dots n$



Результаты съема величин t с графиков

$$t_1 = 3.968$$

$$t_2 = 4.647$$

$$t_3 = 5.076$$

$$t_4 = 8.729$$

$$t_5 = 9.049$$

$$t_6 = 9.372$$

Рисунок 2.6 - Документ *Mathcad* с решением задачи определения наиболее вероятной продолжительности, дат начала и конца теплого сезона. Блок «Блок решения»

3) Результаты решения

Минимальная продолжительность теплого сезона
 $t_{TCmin} := t_5 - t_2$ $t_{TCmin} = 4.402$ мес

Максимальная продолжительность теплого сезона
 $t_{TCmax} := t_6 - t_1$ $t_{TCmax} = 5.404$ мес

Продолжительность теплого сезона
 $t_{TC} := \frac{2 \cdot t_{TCmin} + t_{TCmax}}{3}$ $t_{TC} = 4.736$ мес

Дата начала теплого сезона
 $D_{HTC} := t_2 - \left(\frac{t_{TCmax} - t_{TCmin}}{6} \right) \cdot \left(\frac{t_3 - t_1}{t_6 - t_4} \right)$ $D_{HTC} = 4.359$ мес

Дата конца теплого сезона
 $D_{KTC} := D_{HTC} + t_{TC}$ $D_{KTC} = 9.095$ мес

Рисунок 2.7 - Документ *Mathcad* с решением задачи определения наиболее вероятной продолжительности, дат начала и конца теплого сезона. Блок «Результаты решения»

Чтобы использовать полностью наибольшую продолжительность теплого сезона, необходимо позаботиться о поступлении на разгрузку материала с сохранением свойства сыпучести. Если по местным условиям и в зависимости от влажности материала существует угроза смерзания в транспортных средствах, необходимо заранее принять контрмеры, например, обработку химическими реагентами, погрузку после промораживания, виброрыхление в вагонах, предварительный обогрев и т.п. [8]. В противном случае следует уменьшать продолжительность теплого сезона вплоть до значения $t_1 - t_3$, что будет способствовать серьезному изменению производственной ситуации.

2.3. Определение периодов, дат начала и конца весенней и осенней распутиц

2.3.1. Теоретические основы

Распутица на дорогах возникает в период сильного переувлажнения талыми или дождевыми водами, вызывающего повышенную деформируемость поверхностного слоя колесами транспортных средств, его повреждение глубокими колеями и повышение сопротивления движению вплоть до исчерпания возможностей последнего. Грунтовые пороги на период распутицы следует закрывать, иначе в дальнейшем ими обычно нельзя пользоваться без серьезного ремонта. Движение по естественным, тем более насыпным поверхностям, также прекращается. Следовательно, распутица должна рассматриваться как причина потерь времени, приуроченных к определенным периодам года, при выполнении различных транспортных операций.

Периоды распутицы находятся в интервалах $t_3 - t_1$ и $t_6 - t_4$ перехода через нуль граничных значений суточных температур. Весной начало распутицы вызывается интенсивным разрушением снежного покрова, которое сопровождается также подтаиванием подстилающей грунтовой поверхности, что происходит приблизительно во время перехода через 0°C температуры ее θ_{cc} . Окончание распутицы сопряжено с подсыханием почво-грунтов на глубину 20-25 см, когда становится возможным движение по естественным поверхностям грузовых автомобилей. Такое состояние типично для устойчивого наступления положительных суточных температур, что ориентировочно фиксируется моментом весеннего перехода через 0°C температуры $\theta_{CM\min}$. Осенью распутицу вызывают обложные дожди, чередование ночных заморозков с дневным подтаиванием почво-грунтов. Начало ночных заморозков сопряжено с осенним переходом через 0°C температуры $\theta_{CM\min}$. При этом температура θ_{cc} имеет порядок $+5^\circ\text{C}$ с тенденцией к понижению и развиваются атмосферные процессы, сопровождаемые несильными, но длительными и потому водообильными обложными дождями, которые временами сменяются твердыми осадками, стаивающими при очередном потеплении. Конец периода осенней распутицы сопряжен с промерзанием почво-грунтов с поверхности на глубину, превышающую дневное протаивание, что наблюдается при осеннем переходе через 0°C средней температуры θ_{cc} .

Разумеется, указанные признаки дают лишь общие ориентиры и для привязки периодов распутицы к годовой шкале, которые необходимо уточнять учетом местных условий, способных как осложнять, так и существенно улучшать действительное положение вещей. Наличие влагоемких, способных к набуханию, плохо просыхающих почво-грунтов, застои воды, снежники, наледи затягивают периоды распутицы. Сокращают их дренирующие грунты, своевременный естественный ток или водоотвод, интенсивный прогрев на склонах южной ориентации и т.п. Принять во внимание влияние этих факторов можно с помощью двух корректирующих коэффициентов:

K_{MV} - местных условий, учитывающего действительную продолжительность периода распутицы по отношению к интервалам $t_3 - t_1$ или $t_6 - t_4$;

K_A - асимметрии периода распутицы, учитывающего смещение последнего к соответствующим границам интервала.

Продолжительность периодов распутицы:

- весенней

$$t_{PB} = (t_3 - t_1)K_{MV}; \quad (2.16)$$

- осенней

$$t_{PO} = (t_6 - t_4)K_{MV}. \quad (2.17)$$

Даты начала периодов распутицы:

- весенней

$$D_{HPB} = t_1 + \frac{(t_3 - t_1)(1 - K_{MV})}{2} K_A; \quad (2.18)$$

- осенней

$$D_{HPO} = t_4 + \frac{(t_6 - t_4)(1 - K_{MY})}{2} K_A. \quad (2.19)$$

Возможность частичного использования периодов распутицы для движения транспортных средств зависит как от погодных условий, так и от состояния дороги, типа дорожной одежды. Систематические наблюдения за явлениями распутицы в период железнодорожного строительства в различных регионах страны позволили определить значения K_{MY} и K_A . В порядке первого приближения: $K_A = 2$ для условий весны, когда период распутицы смещен вправо внутри интервала $t_3 - t_1$; $K_A = 0$ для условий осени, когда период распутицы смещен влево внутри интервала $t_6 - t_4$; $K_{MY} = 0,5$, если во время распутицы транспорт прекращает работу [1,6,9].

2.3.2. Пример решения

На рисунках 2.8-2.10 представлено решение задачи определения продолжительности периодов, дат начала и конца весенней и осенней распутиц в автоматизированном режиме с применением системы *Mathcad*. Задача решается с применением данных, полученных в ходе решения задачи в п. 2.2.

Решение задачи производится в 2 этапа, в последовательности описанной в п. 2.2.

Полученные продолжительности периодов весенней и осенней распутиц (t_{pv} и t_{po}) справедливы для условий движения транспортных средств по естественному грунту или грунтовой дороге без одежды; при наличии кюветов, осушающих дорожное основание, уже можно ожидать некоторого снижения K_{MY} .

Определение продолжительности периодов, дат начала и конца весенней и осенней распутиц

1) Исходные данные

Ст. Надым

Q_{CM} - средние месячные температуры воздуха, °C,

Q_{CMmax} - средние из максимумов суточных температур воздуха, °C,

Q_{CMmin} - средних из минимумов суточных температур воздуха, °C

$\theta_{CM} :=$	$\begin{pmatrix} -23.6 \\ -22.8 \\ -18.3 \\ -9.0 \\ -1.5 \\ 8.6 \\ 14.7 \\ 11.4 \\ 5.5 \\ -4.5 \\ -17.2 \\ -22.8 \end{pmatrix}$	$\theta_{CMmax} :=$	$\begin{pmatrix} -19.2 \\ -17.8 \\ -12.2 \\ -2.8 \\ 3.2 \\ 14.0 \\ 20.4 \\ 16.5 \\ 8.9 \\ -1.3 \\ -12.6 \\ -18.5 \end{pmatrix}$	$\theta_{CMmin} :=$	$\begin{pmatrix} -28.2 \\ -27.6 \\ -25.5 \\ -15.0 \\ -5.7 \\ 4.2 \\ 9.2 \\ 7.0 \\ 2.2 \\ -7.4 \\ -22.1 \\ -28.3 \end{pmatrix}$
------------------	---	---------------------	---	---------------------	--

Коэффициент местных условий: $K_{MY} := 0.7$

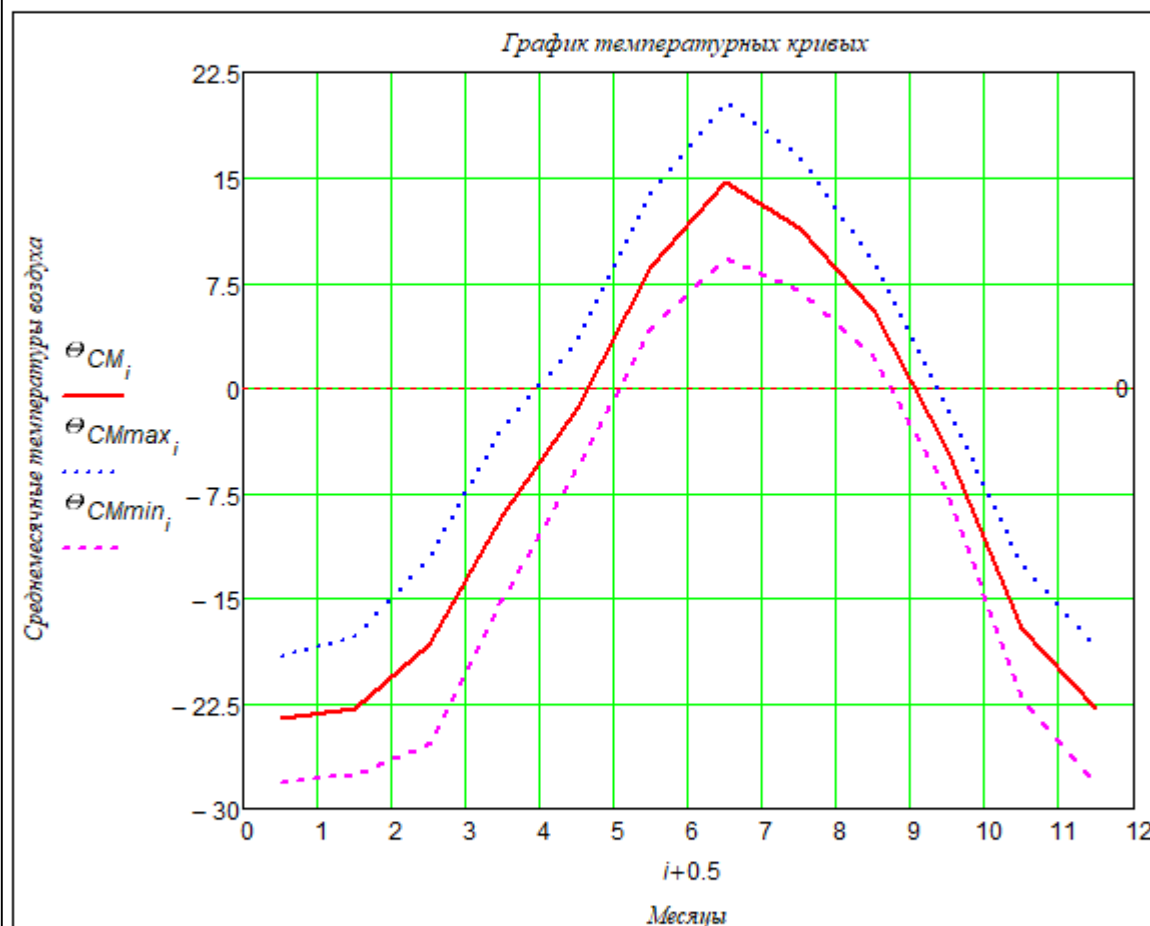
Коэффициент асимметрии: $K_A := 1$

Рисунок 2.8 - Документ *Mathcad* с решением задачи определения продолжительности периодов, дат начала и конца весенней и осенней распутиц. Блок «Исходные данные»

2) Блок решения

Построение графика температурных кривых

$ORIGIN := 0$ $n := \text{rows}(\Theta_{CM})$ $i := 0 \dots n$



Результаты съема величин t с графиков

$$t_1 = 3.968$$

$$t_2 = 4.647$$

$$t_3 = 5.076$$

$$t_4 = 8.729$$

$$t_5 = 9.049$$

$$t_6 = 9.372$$

Рисунок 2.9 - Документ *Mathcad* с решением задачи определения продолжительности периодов, дат начала и конца весенней и осенней распутиц. Блок «Блок решения»

3) Результаты решения

Продолжительность распутицы весенней

$$t_{PB} := (t_3 - t_1) \cdot K_{МУ}$$

$$t_{PB} = 0.776 \text{ мес}$$

Продолжительность распутицы осенней

$$t_{PO} := (t_6 - t_4) \cdot K_{МУ}$$

$$t_{PO} = 0.45 \text{ мес}$$

Дата начала весенней распутицы

$$D_{HPB} := t_1 + \frac{(t_3 - t_1) \cdot (1 - K_{МУ}) \cdot K_A}{2}$$

$$D_{HPB} = 4.134 \text{ мес}$$

Дата начала осенней распутицы

$$D_{HPO} := t_4 + \frac{(t_6 - t_4) \cdot (1 - K_{МУ}) \cdot K_A}{2}$$

$$D_{HPO} = 8.825 \text{ мес}$$

Дата конца весенней распутицы

$$D_{KPB} := D_{HPB} + t_{PB}$$

$$D_{KPB} = 4.91 \text{ мес}$$

Дата конца осенней распутицы

$$D_{KPO} := D_{HPO} + t_{PO}$$

$$D_{KPO} = 9.276 \text{ мес}$$

Рисунок 2.10 - Документ *Mathcad* с решением задачи определения продолжительности периодов, дат начала и конца весенней и осенней распутиц. Блок «Результаты решения»

2.4. Определение временных режимов работы строительных машин

2.4.1. Теоретические основы

При расчетах рабочего времени обычно ориентируются на недельный цикл. Сумма отработанных за неделю часов

$$n_{чРН} = n_{дРН} t_{CH} - \Delta n_{чРН}, \quad (2.20)$$

где $n_{дРН}$ – число дней работы в неделю;

t_{CH} – продолжительность смены, ч;

$\Delta n_{чРН}$ – размер регламентированного уменьшения числа часов.

В обычных условиях производства она не должна превышать 40 ч. Если иметь в виду, что при неизменном t_{CH} в большинстве из дней года $\Delta n_{чРН} = 0$, то при пятидневной неделе $t_{CH} = 40 / 5 = 8$ ч, при шестидневной $t_{CH} = 40 / 6 = 6,67$ ч. Эти значения чаще всего принимают как среднюю по году продолжительность смены, что справедливо для частной ситуации, когда лишь один праздник (в високосном - 2) не накладывается на выходные дни. Следовательно, нужно принимать число праздников и выходных при пятидневной неделе 118, при шестидневной 66, в силу чего удельные веса потерянного времени составят: в первом случае $\delta_{ДВП} = 0,323$, во втором - $\delta_{ДВП} = 0,181$.

При вахтовом режиме предоставляется, как правило, один выходной, приходящийся на любой день недели, и в предшествующий ему день продолжительность смены сокращается на 1 ч. Следовательно, в формуле $\Delta n_{\text{чРН}} = 1$, $n_{\text{дРН}} = 6$ дням, что позволяет подсчитать сумму отработанных часов при любой продолжительности вахтовой смены в допустимом интервале $8 < t_{\text{СНВ}} \leq 12$. Время недельной переработки

$$t_{\text{ПН}} = n_{\text{чРН}} - 40 \quad (2.21)$$

компенсируется межвахтовым отдыхом из расчета 1 день за 7 переработанных часов. Неиспользованное время межвахтового отдыха предоставляется работникам по окончании строительства в сезоны неблагоприятные для ведения работ, или присоединяются к очередному отпуску [1,8]. Средняя продолжительность вахтовой смены

$$\bar{t}_{\text{СНВ}} = t_{\text{СНВ}} - \frac{\Delta n_{\text{чРН}}}{n_{\text{дРН}}} \quad (2.22)$$

число выходных дней - 52, $\delta_{\text{ДВП}} = 0,142$.

Доля $1 - \delta_{\text{ДВП}}$ дает по отношению к продолжительности года удельный вес табельного фонда рабочего времени. В действительности еще имеют место целодневные потери, обусловленные метеорологическими причинами, которые могут проявлять себя непрерывно в особое время года (весенняя, осенняя распутицы, периоды дождей, особо высоких или особо низких температур и т.д.), либо действовать рассредоточено на всем протяжении оставшейся части года. Метеорологические помехи зависят от вида и условий выполнения работ, однако целесообразно рассматривать эти помехи совместно с праздничными и выходными днями, поскольку учетное число последних меняется в зависимости от наложения дней, потерянных по метеорологическим причинам. Среднее календарное число часов работы за день

$$\bar{n}_{\text{чРД}} = \{1 - (1 - \delta_{\text{ДВП}}) \sum \delta_{\text{ОПГ}} (1 - K_{\text{ИОПГ}}) - \delta_{\text{ДВП}} [1 - \sum \delta_{\text{ОПГ}} (1 - K_{\text{ИОПГ}})] \times (1 - \delta_{\text{ДПОП}}) - \delta_{\text{ДПМП}} - \delta_{\text{ДПОП}}\} K_{\text{ИВС}} t_{\text{СН}} n_{\text{СНД}} \quad (2.23)$$

где $\delta_{\text{ОПГ}}$ – удельный вес особого периода года как слагаемого в общей сумме дней с потерями определенного рода;

$K_{\text{ИОПГ}}$ – коэффициент использования особого периода года, зависящий от характера помех, местных условий и заранее предпринятых организационно-технических мероприятий;

$\delta_{\text{ДПОП}}$ – удельный вес потерь по организационным причинам, например из-за необходимости развертывания машинных комплектов по фронту работ в их начале и свертывания – в конце;

$K_{\text{ИВС}}$ – коэффициент использования врем смены;

$n_{\text{СНД}}$ – число смен в день.

Выражение в фигурных скобках представляет собой отношение $K_{\text{ДРК}}$ числа рабочих дней к календарным. Второе слагаемое в нем удельный вес потерь по метеорологическим причинам в особые периоды года, приходящихся на рабочие дни; третье – удельный вес праздничных и выходных дней, за исключением тех, которые попадают на особые периоды года и с учетом случайного совмещения с днями, потерянными по метеорологическим причинам; четвертое – удельный вес рассредоточенных потерь по этим же причинам; пятое – удельный вес потерь по организационным причинам [5,9].

При механизированных работах возникают дополнительные затраты времени, обусловленные необходимостью перебазирования машинных комплектов с объекта на объект, периодического проведения технического обслуживания (ТО) и текущих ремонтов (ТР) на местах работы, подготовки к очередному циклу работ, например заряданию и взрыванию скального массива при погрузке грунта экскаватором и др. Эти затраты пропорциональны

основному рабочему времени и в удельном измерении суммируются с соответствующим показателем $1/K_{ивс}t_{сн}n_{снд}$ производительной работы машины (дней/ч). Для установления среднего числа часов работы машины за календарный день нужно выражение в фигурных скобках формулы (2.23) разделить на эту сумму:

$$\frac{K_{дрк}}{\frac{1}{K_{ивс}t_{сн}t_{снд}} + \frac{n_{дпб}n_{об}}{t_{роб}} + \frac{n_{дпф}n_{ф}}{t_{рф}} + K_{ор}}, \quad (2.24)$$

где $n_{дпб}$ – число дней, необходимых для перебазировки машины с объекта на объект;

$n_{об}$ – число объектов, возводимых за год;

$t_{роб}$ – продолжительность работы машинного комплекта на объекте, ч;

$n_{дпф}$ – число дней подготовки фронта;

$n_{ф}$ – число фронтов, проходимых за год;

$t_{рф}$ – продолжительность работы на одном фронте, ч;

$K_{ор}$ – удельные затраты на техническое обслуживание и текущие ремонты машины, которое можно представить в виде норматива.

Формула расчета среднего числа рабочих часов за календарный день приобретает вид

$$\bar{n}_{чрд} = \frac{K_{дрк}K_{ивс}t_{сн}n_{снд}}{1 + \delta_{дпб} + \delta_{дпф} + \delta_{дпор}}, \quad (2.25)$$

где $\delta_{дпб}$, $\delta_{дпф}$, $\delta_{дпор}$ – безразмерные параметры, выражающие отношение соответствующего вида затрат за рабочий день к годовому фонду рабочего времени машины.

При умножении на 365 получается фонд $t_{чрг}$ рабочего времени ведущей машины (ч/год). Формулой можно пользоваться и для любой масти года, например теплого или холодного сезонов, что позволяет дифференцировать учет потерь по метеорологическим причинам.

Годовой фонд машинного времени. При определении временного ресурса для длительной программы работ исходят из годового времени, которое за вычетом потерь преобразуется в рабочее время. Если вести расчет в днях, то баланс времени

$$n_{др} = 365 - \sum n_{дп}, \quad (2.26)$$

где $n_{др}$ и $n_{дп}$ – число дней рабочих и потерянных соответственно.

Причины потерь рабочего времени могут быть различными, поэтому принято раздельное суммирование потерянных дней. Для отдельного рабочего объективно обусловленные потери складываются из праздничных и выходных дней, дней ежегодного отпуска, дней неявок на работу по причине болезни, выполнения общественных обязанностей и прочим уважительным причинам. При явке на работу бывают потери времени из-за простоев по организационным причинам, не зависящих от рабочего. Ресурс машинного времени определенным образом связан с ресурсом рабочего времени управляющего машиной человеком. Обычно практикуют сменный режим работы, что увеличивает ресурс рабочего времени и позволяет компенсировать некоторые виды потерь рабочего времени управляющего машиной человека. Но эксплуатация машины предопределяет собственные потери времени. Поэтому балансовое уравнение (2.26) для работы машины раскрывается несколько иначе, чем для человека [5,9].

Годовой фонд $t_{рмг}$ рабочего времени машины обычно исчисляют в часах. Среднее дневное число часов работы машины определяют как произведение $t_{см}K_{см}$ средней

продолжительности t_{CM} смены и среднего учетного числа K_{CM} смены в сутки, так называемого коэффициента сменности.

Обратная величина этого произведения, умноженная на $t_{PMГ}$, дают годовое число $n_{ДР}$ рабочих дней, в силу чего

$$t_{PMГ} \frac{1}{t_{CM} K_{CM}} = 365 - \sum n_{ДП} . \quad (2.27)$$

В сумме потерянного времени тоже имеются члены, пропорциональные $t_{PMГ}$. Для каждой группы таких потерь справедливо выражение $n_{ДП} = K_{ДЧ} t_{PMГ}$, где коэффициент пропорциональности $K_{ДЧ}$ выражает число дней на час работы машины, но не рабочих, а потерянных. Все пропорциональные $t_{PMГ}$ -потери времени следует перенести в левую часть уравнения, оставив в правой лишь исчисляемые независимо праздничные и выходные дни $n_{ДПВ}$, а также дни $n_{ДМП}$ простоев метеорологическим причинам. В результате балансное уравнение принимает вид

$$t_{PMГ} \sum K_{ДЧ} = 365 - n_{ДПВ} - n_{ДМП}, \quad (2.28)$$

где $\sum K_{ДЧ}$ - сумма отношений затрат времени в днях на все процессы, сопровождающие работу машины, в продолжительности этой работы в часах;

Через отношение $K_{ДЧ}$ можно выразить любые потери времени, отличающиеся известной периодичностью, например, на перебазировки с объекта на объект в течении года, на техническое обслуживание и технические ремонты, на повторяющуюся подготовку к проведению рыхления грунтов взрывом и т.д. В наиболее распространенной записи формула для готового ресурса машино-часов имеет вид

$$t_{PMГ} = \frac{365(1 - \delta_{ПВ} - \delta_{МП})}{\frac{1}{t_{CM} K_{CM}} + \frac{t_{ПБ}}{t_{ОБ}} + K_{ОР}} = 365 \frac{1 - \delta_{ПВ} - \delta_{МП}}{1 + \Delta_{ПБ} + \Delta_{ОР}} t_{CM} K_{CM}, \quad (2.29)$$

где $\delta_{ПВ}$ - относительное число (по году) праздничных и выходных дней;

$\delta_{МП}$ - относительное число дней, теряемых за год по метеорологическим причинам;

$t_{ПБ}$ - среднее время перебазировки на объект в днях;

$t_{ОБ}$ - среднее время работы машины на одном объекте, ч;

$K_{ОР}$ - коэффициент пропорциональности (в днях на один час работы) в выражении потерь времени на техническое обслуживание и текущие ремонты работ;

$\Delta_{ПБ}$ и $\Delta_{ОР}$ - относительные, выраженные в долях рабочего времени, значения дополнительных затрат времени на перебазировки, техническое обслуживание и текущие ремонты.

Умножая $t_{PMГ}$ на среднечасовую эксплуатационную производительность $Q_{ЭСЧ}$ машины, можно получить ее годовую выработку

$$V_{МГ} = Q_{ЭСЧ} t_{PMГ}, \quad (2.30)$$

$$Q_{ЭСЧ} = K_1 Q_{ЭЧ},$$

где K_1 - численный коэффициент,

$Q_{ЭЧ}$ - эксплуатационная часовая производительность машины, которую устанавливают по производственным нормам выработки.

Коэффициент K_1 учитывает нецелодневные потери по организационным и метеорологическим причинам для среднесписочной машины. Дробь в формуле (2.30) выражает уменьшение годового календарного фонда из – за всевозможных целодневных потерь. Следовательно, при определении годовой выработки V_{MG} можно ввести вычисляемый коэффициент общих потерь времени

$$K_{OPB} = \frac{1 - \delta_{PB} - \delta_{MP}}{1 + \Delta_{PB} + \Delta_{OP}} K_1, \quad (2.31)$$

тогда выражение для годовой выработки примет вид

$$V_{MG} = 365 Q_{ЭЧ} K_{OPB} t_{CM} n_{CM}, \quad (2.32)$$

где n_{CM} - планируемое число групп рабочих, используемых по сменам.

Это число следует вводить в расчет вместо среднего учетного коэффициента сменности, имеющего в целом по строительству значения 1,4–1,6, свидетельствующие о существенных пока потерях времени работы машины. Однако коэффициент сменности не может служить в качестве независимой управляемой переменной, поскольку в действительности его значение обобщено связаны с целодневными и с нецелодневными потерями. Поэтому при расчетах годового ресурса машинного времени правильнее принимать во внимание плановое число рабочих групп, которые могут работать по сменам, а потери времени учитывать отдельно.

Сменный режим строительства. Нормальная продолжительность рабочего времени не может превышать 40 ч в неделю (для лиц в возрасте 16-18 лет – 36 ч, в возрасте 14-16 лет – 24 часа в неделю). При пятидневной неделе с двумя выходными днями, которые, как правило, предоставляются подряд, средняя продолжительность одной рабочей смены составляет 8 ч. При шестидневной неделе, применение которой могут продиктовать условия производства, средняя продолжительность одной рабочей смены 6,67 ч. Фактически расчетная продолжительность смены может несколько колебаться в связи с сокращением на 1 ч рабочего времени накануне праздничных дней. В году восемь праздников, из них два – с двухдневной продолжительностью. Если ни один из праздничных не совпадает с выходными днями, то общее число праздничных и выходных дней при пятидневной неделе равно 118, при шестидневной – 66, а недоработка в праздничные дни, которую нужно перенести на остальные рабочие дни, составляет 6 ч в год. Это увеличивает среднюю по году продолжительность нормальной смены примерно на 0,02 ч.

Работа может выполняться в одну, две или три смены. Ночной считается смена, приходящаяся на период с 22 ч одних суток до 6 ч следующих суток. Ее общая продолжительность, как видно, составляет 8 ч или 1/3 суток. На отдых и питание рабочим предоставляется перерыв продолжительностью не более 2 ч (обычно после 4 часов непрерывной работы), который не включается в рабочее время. При шестидневной рабочей неделе все три смены делают равными, продолжительность не более 7 ч каждая с часовым перерывом. Переработку, возникающую из-за округления продолжительность смены, компенсируют предоставлением дополнительного выходного дня, когда суммарное время переработки достигнет известного значения. На режим шестидневной недели обычно переходят по согласованию с комитетом профессионального союза, если требуется непрерывная трехсменная работа, при этом ночные рабочие часы оплачиваются в повышенном размере.

При работе в ночное время по режиму пятидневной недели продолжительность смены сокращается на 1 ч. Однако для регулярной трехсменной работы такой режим неудобен. Остающееся после двух смен с учетом часового перерыва на отдых и питание время суток

составляет всего 5,65 ч. Следовательно, третью смену нельзя начинать на тех же рабочих местах, либо приходится делать ее неполной. Неполное рабочее время можно установить по соглашению рабочих с администрацией. Оплата труда при этом производится по выработке.

Время начала и окончания смен определяется правилами внутреннего распорядка, графиками сменности и является фиксированным. Это одно из непереносимых условий правильного учета рабочего времени. Переход рабочих из одной смены в другую (пересменка) обычно бывает еженедельным. На строительстве, особенно при проведении работ на линейных или линейно – рассредоточенных объектах, не всегда может быть соблюдена ежедневная или еженедельная продолжительность рабочего времени. В таких случаях допускается по согласованию с комитетом профессионального союза суммированный учет рабочего времени и контролируется общая сумма часов, которая за учетный период не должна превышать нормы, например, за неделю 40 ч [5,9].

Для строительства наиболее удобен двухсменный рабочий режим (рисунок 2.11).

Общим выходным днем является воскресенье. Второй выходной, если он не зафиксирован по дням недели в законодательном порядке, определяется в соответствии с условиями производства и может быть в одной смене назначен на иной день недели, чем в другой (рисунок 2.11,б). Это бывает необходимо с целью увеличения непрерывной продолжительности работы машины. Примером более сложного случая организации сменной работы может служить вахтовый метод, который используется при значительном удалении места работы от базы подразделения. Для двух смен требуется три вахты рабочих, из которых две заняты в производстве, а одна находится на отдыхе (рисунок 2.11,в). Пересменка происходит один раз в неделю или декаду, причем отдыхавшая вахта заступает в первую смену, бывшая первая смена – во вторую, а вторая – убывает на длительный отдых.

Вахтовый метод сопряжен с занятием выходных дней, что не предусмотрено трудовым законодательством для нормальных условий работы. При нем суммируется рабочее время и время отдыха, две работающие группы людей должны обеспечить полуторную выработку за отдыхающую вахту, в связи с чем продолжительность смены увеличивается. Поэтому на такой режим труда необходимо согласие со стороны центральных органов профсоюза [5,9].

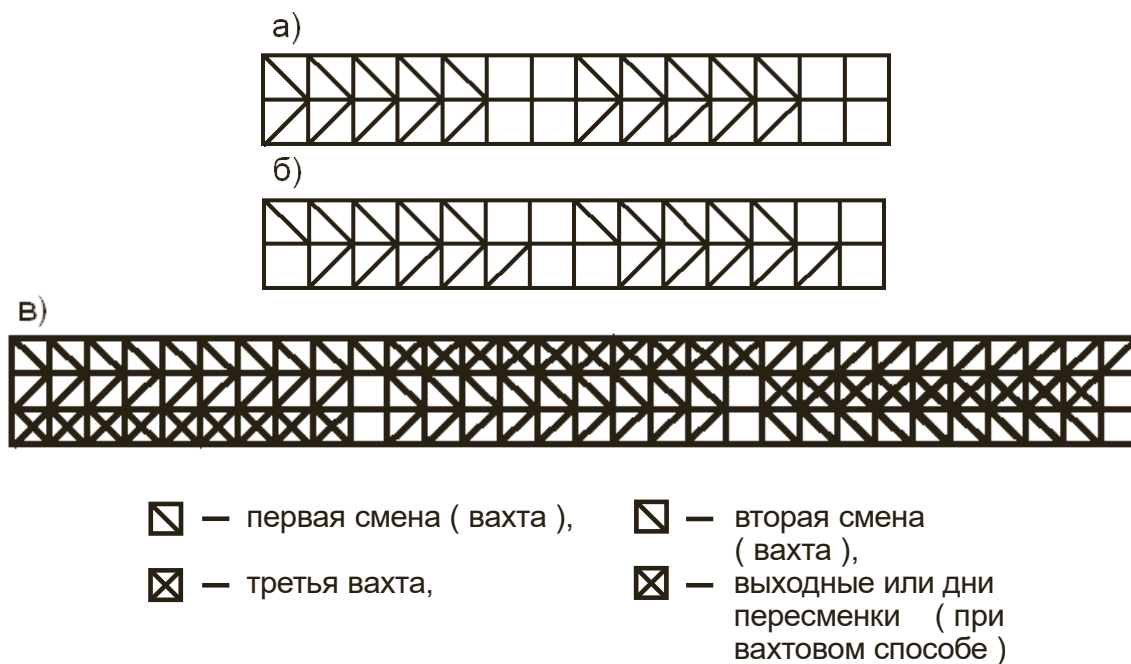


Рисунок 2.11 - Режим двухсменной работы при рабочей неделе: а – с двумя сквозными выходными днями; б – с одним сквозным выходным днем; в – вахтовым способом с двумя работающими и одной отдыхающей вахтами.

Ориентировочная оценка потерь времени по метеорологическим причинам для строительных машин. При определении экономической эффективности строительных машин продолжительность простоев по метеорологическим причинам принимают при пятидневной неделе: экскаваторов, бульдозеров, стрелочных кранов, передвижных компрессоров, погрузчиков – 9, башенных кранов – 28, копров на экскаваторах – 11, копров на рельсовом ходу – 19, автогрейдеров, скреперов, катков – 92 дня. Отношение $\delta_{МП}$ в формулах расчета годового фонда, машинного времени при указанном уровне потерь дней может колебаться от 0,026 до 0,25. Хотя годовой фонд машин – смен при этом изменяется в меньшей степени, примерно 1/3, более или менее верное установление для конкретных условий потерь по метеорологическим причинам имеет важное значение.

В первую очередь необходимо обратить внимание на связь $\delta_{МП}$ с характером работ и типом машин. Если экскаватор работает с транспортом, а автомобили вынуждены двигаться по свежесыпанному грунту, то потери времени экскаватора составят, как и при работе катков, в среднем 92 дня в год; без транспорта экскаватор будет простаивать, несмотря на возможность копания грунтов. С другой стороны, нельзя, очевидно, сбрасывать со счета местные условия, которые могут существенно отличаться от средних. Для транспортных колесных машин, в порядке первого приближения, от половины до двух третей потерь времени приходится на периоды распутицы, которая бывает весной в связи со сходом снегового покрова и осенью, когда переувлажнение почвогрунтов наступает вследствие обложных дождей и неустойчивости первоснежья. Остальная часть потерь времени обусловлена: в теплый сезон – выпадение дождей, прерывающих работы на открытом воздухе, сильным ветром; в холодный сезон – снегопадами и метелями, гололедицей, а также особо низкими температурами, при которых прекращают работы на открытом воздухе. В последнем случае обычно принимают во внимание еще и скорость ветра, которая в совокупности с низкой температурой формирует показатель так называемой жесткости погоды. Границы для недопустимых для работ экстремальных погодных условий обычно определяют местные советы народных депутатов.

Хотя число продолжительных дождей колеблется по территории России в широких пределах, его среднее значение, а, следовательно, и число потерянных дней (за вычетом нерабочих) все же достаточно устойчиво. На севере европейской части страны оно составляет 10-12, в Центральной европейской части, Западной и Восточной Сибири 3-7 дней. В южных горных районах потери из-за дождей возрастают до 15-25 дней, в районах Дальнего Востока до 12-16 дней. Для транспортных процессов, осуществляемых по естественному, тем более насыпному грунту, необходимо учитывать время просыхания поверхностного слоя толщиной 0,15-0,25 м, при которой обеспечивается удовлетворительная проходимость автомобилей. Оно зависит от вида и степени увлажнения грунтов. В наиболее распространенных условиях названные потери из-за дождей необходимо увеличивать в 2-4 раза. При глинах, черноземах может потребоваться еще более сильное увеличение числа потерянных дней. Если же строительство ведут на песчаных, песчано-гравийных, скальных и других хорошо дренирующих грунтах, увеличения времени не потребуется, но нужно принять во внимание возможности движения по дороге.

Грунтовые дороги с кюветами при удовлетворительном состоянии проезжей части обычно требуют для подсушки не более суток; число потерянных дней из-за дождей при этом необходимо увеличить в два раза. Если же полотно дороги повреждено глубокими колеями, в которых застаивается вода, то дорога может оставаться в непроезжем состоянии длительного времени. Следовательно, качество и состояние дороги – существенный фактор снижения потерь времени из-за дождей.

Помехи холодного сезона более изменчивы, чем теплого. В среднем для всего умеренного пояса можно принимать число потерянных дней порядка 2-5, исключая горные районы, где оно может быть в 2-3 раза выше. В многоснежных и метелеопасных районах количество потерянных дней возрастает до 10-15, а в районах Крайнего Севера может быть и значительно выше.

Уровень потерь зависит не только от климатических факторов. Явления распутицы на дорогах сильно смягчаются в местностях с песчаными почвами, с древесными грунтами, не говоря уже о скальных, при которых особенности межсезонья сглаживаются или отсутствуют. В районах с переувлажненными землями трудные условия для работы транспорта существуют сами по себе, практически независимо от явлений погоды. При этом более благоприятным для строительного производства может оказаться холодный, а не целый сезон. На потери времени влияет и степень пересеченности местности. Наличие устойчивого стока сокращает период распутицы, причем на склонах южной ориентации это проявляется в более сильной мере, чем на склонах северной ориентации [5,9].

Периодические целодневные потери времени строительных машин. Периодические целодневные потери $K_{дч}$ в днях на 1 ч. работы в каждом конкретном случае можно учесть сообразно с местной обстановкой: временем занятости на объектах, продолжительностью остановок на техническое обслуживание и ремонты и т.д. Но если расчеты приходится производить в предварительном порядке, с опережением планирования производства, необходимо использовать осредненные значения, известные из прежнего опыта, либо делать те или иные допущения. В таких случаях полезны нормативы и рекомендации, выведенные для установления общих характеристик режима работы и эффективности новой техники. Ориентированные значения отношений $t_{пб} / t_{об}$ или $\Delta_{пб}$ приведены в таблице 2.3.

Затраты времени на техническое обслуживание (ТО) и текущий ремонт (ТР) строительных машин зависит от периодичности профилактических мероприятий, которая определена нормативами. Поэтому нужно, ориентируясь и расчетный годовой фонд машинного времени при $n_{см}$, указанный в таблице 2.3, определить удельное время $K_{ор}$ или $\Delta_{ор}$ на обслуживание и ремонты машин (таблица 2.4) [5,9].

Таблица 2.3 - Относительные затраты времени на перебазировки машин по объектам

Наименование машин	Расчетные значения				
	$t_{пб}$, дн	$t_{об}$, ч	$t_{пб} / t_{об}$, дн/ч	$n_{см}$, см/дн	$\Delta_{пб}$
Экскаваторы одноковшовые с ковшом вместимостью, м ³ :					
0,5		170	0,012	1,5	0,145
0,65	2,0	300	0,008	2,0	0,137
1,00	2,5	550	0,006	2,0	0,105
1,25	3,5	800	0,005	2,0	0,082
1,60	4,0	2700	0,004	2,0	0,059
2,50	6,0	5500	0,001	2,0	0,024
Бульдозеры на тракторах класса, тс:					
3-6	3,5	160	0,022	1,0	0,180
>6	8,0	4000	0,002	1,5	0,025
Скреперы прицепные к тракторам класса, тс:					
до 6	4,0	180	0,022	1,5	0,274
>6	8,0	4800	0,002	2,0	0,027
Скреперы самоходные	8,0	4800	0,002	2,0	0,027
Краны стреловые самоходные, грузоподъемностью, т:					
до 10	2,0	285	0,007	2,0	0,115
16	2,5	320	0,008	2,0	0,131
Краны башенные, грузоподъемность, т:					
3-5	4,0	770	0,005	2,0	0,082
5-8	8,0	1460	0,005	2,0	0,082
8-10	16,0	2180	0,007	2,0	0,121
Копры на гусеничном ходу	4	510	0,008	1,0	0,064

Таблица 2.4 - Относительные затраты времени на техническое обслуживание и текущие ремонты машин

Наименование машин	Расчетные значения				
	TO / TP	t_{TO} / t_{TP}	$t_{PMГ}$	K_{OP}	Δ_{OP}
Экскаваторы одноковшовые с ковшом вместимостью, м ³ :					
0,5-0,65	150/1500	1/9	3100	0,009	0,148
1,0-1,25	150/1500	1/14	2960	0,008	0,128
2,0-2,5	300/1500	2/14	2960	0,011	0,178
Бульдозеры на тракторах класса, тс:					
3-6	240/1200	1/9	1800	0,007	0,055
>6	240/1200	1/8	2580	0,01	0,124
Скреперы прицепные к тракторам класса, тс:					
до 6	240/1200	1/4	1890	0,006	0,072
>6	240/1200	1/5	2250	0,006	0,099
Скреперы самоходные	200/1200	1/6	2250	0,007	0,124
Краны стреловые самоходные грузоподъемностью, т:					
<10	300/1500	1,5/8	2500	0,008	0,131
16	300/1500	1,5/9	2800	0,008	0,131
Краны стрелочные гусеничные, грузоподъемностью, т:					
10	150/1800	1/10	3000	0,010	0,164
15	150/1800	1/13	3200	0,011	0,175
Краны башенные грузоподъемностью, т:					
3-5	200/1600	1/5	3100	0,008	0,106
5-10	200/1600	1/5	3000	0,007	0,109
Копры на гусеничном ходу	300/900	1/3	1760	0,004	0,037

Характеристики TO и TP является периодичность технического обслуживания (числитель) и текущего ремонта(знаменатель), выражаемая в ч. Продолжительность t_{TO} технического обслуживания (числитель) и t_{TP} текущего ремонта дана в днях (дн).

2.4.2. Пример решения

На рисунке 2.12-2.14 представлен документ *Mathcad*, в котором выполнен автоматизированный расчет временного режима работы ведущей машины.

В блоке исходных данных указано наименование ведущей машины, особенности ее работы с учетом метеорологических и технологических условий, параметры режима работы на объекте.

В блоке решения реализуется автоматизированный расчет промежуточных значений, влияющих на определение временного режима работы ведущей строительной машины.

Результаты решения задачи представлены двумя временными показателями: дневным фондом и годовым фондом рабочего времени ведущей машины, а также технологическим показателем: годовой выработкой строительной машины для заданных условий.

Определение временного режима работы ведущей машины

1) Исходные данные

Наименование ведущей машины:

Экскаватор одноковшовый с ковшом вместимостью 0,5 м³

Количество рабочих дней в неделе:

$n_{ДРН} := 5$

Коэффициент сменности (количество смен в день):

$K_{СМ} := 2$

Продолжительность смены, ч:

$t_{СМ} := 8$

Количество дней простоев ведущей машины по метеорологическим причинам:

$n_{ДМП} := 20$

Коэффициент использования времени смены:

$K_{ИВС} := 0.9$

Среднее время перебазировки ведущей машины на объект, дни:

$t_{ПБ} := 2.0$

Среднее время работы машины на одном объекте, ч:

$t_{ОБ} := 170$

Удельные затраты на техническое обслуживание и текущие ремонты ведущей машины, ч:

$K_{ОР} := 0.009$

Среднечасовая эксплуатационная производительность строительной машины, м³/ч:

$Q_{ЭСЧ} := 5.5$

Рисунок 2.12 - Документ *Mathcad* с решением задачи определения временного режима работы ведущей машины. Блок «Исходные данные»

2) Блок решения

Число выходных и праздничных дней в году:

$$n_{ДПГ} := \begin{cases} 118 & \text{if } n_{ДРН} = 5 \\ 66 & \text{if } n_{ДРН} = 6 \end{cases}$$

$$n_{ДПГ} = 118$$

Относительное число праздничных и выходных дней в году:

$$\delta_{ПВ} := \frac{n_{ДПГ}}{365} \quad \delta_{ПВ} = 0.32$$

Относительное число дней, теряемых за год по метеорологическим причинам:

$$\delta_{МП} := \frac{n_{ДМП}}{365} \quad \delta_{МП} = 0.05$$

Относительное, выраженное в долях рабочего времени, значение затрат времени на перебазировку ведущей машины:

$$\Delta_{ПБ} := \frac{t_{ПБ}}{t_{ОБ}} \cdot t_{СМ} \cdot K_{СМ} \quad \Delta_{ПБ} = 0.19$$

Относительное, выраженное в долях рабочего времени, значение затрат времени на техническое обслуживание и текущие ремонты ведущей машины:

$$\Delta_{ОР} := K_{ОР} \cdot t_{СМ} \cdot K_{СМ} \quad \Delta_{ОР} = 0.14$$

Рисунок 2.13 - Документ *Mathcad* с решением задачи определения временного режима работы ведущей машины. Блок «Блок решения»

3) Результаты решения

Определение дневного фонда рабочего времени ведущей машины

$$t_{РД} := \frac{1 - \delta_{ПВ} - \delta_{МП}}{1 + \Delta_{ПБ} + \Delta_{ОР}} \cdot t_{СМ} \cdot K_{СМ} \quad t_{РД} = 7.47 \text{ час}$$

Определение годового фонда рабочего времени ведущей машины

$$t_{РМГ} := 365 \cdot t_{РД} \quad t_{РМГ} = 2726.25 \text{ час}$$

Годовая выработка строительной машины

$$V_{МГ} := Q_{ЭСЧ} \cdot t_{РМГ} \quad V_{МГ} = 14994.35 \text{ м}^3$$

Рисунок 2.14 - Документ *Mathcad* с решением задачи определения временного режима работы ведущей машины. Блок «Результаты решения»

2.5. Моделирование технологического процесса возведения насыпи железнодорожного земляного полотна

2.5.1. Теоретические основы

Основные понятия марковских случайных процессов. Из теории случайных процессов известно, что функция $X(t)$ называется *случайной*, если ее значение при любом аргументе t является случайной величиной. Случайная функция $X(t)$, аргументом которой является время, называется *случайным процессом* [4].

Для математического описания многих операций, развивающихся в форме случайного процесса, может быть с успехом применён математический аппарат, разработанный в теории случайных процессов для *марковских случайных процессов* [4].

Одним из распространенных видов случайных процессов и последовательностей, широко используемых в практике анализа динамики вероятностных свойств различных объектов, служит простейший поток событий, основанный на *марковских процессах с дискретными состояниями и непрерывным временем* [4].

Следует отметить, что случайный процесс с дискретными состояниями и непрерывным временем называется марковским, если для любого момента времени t условные вероятности всех состояний рассматриваемой системы в будущем зависят только от того, в каком состоянии находится система в настоящем (при $t=t_0$), но не зависит от того, когда и каким образом она пришла в это состояние [4].

Переход может осуществляться в любой момент. Например, выход из строя (отказ) технологической операции может произойти в любой момент времени;

Окончание ремонта (восстановления) этого элемента также может произойти в заранее не зафиксированный момент и т.д.

Потоком событий называется последовательность однородных событий, появляющихся в случайные моменты времени. «Поток событий» представляет собой в общем случае просто последовательность случайных точек $\Theta_1, \Theta_2, \dots, \Theta_n, \dots$ на оси времени $0t$ (рисунок 2.15) с разделяющими их случайными интервалами $T_1, T_2, \dots, T_{n-1}, T_n, \dots$, так что

$$T_1 = \Theta_2 - \Theta_1, T_2 = \Theta_3 - \Theta_2, \dots, T_n = \Theta_{n+1} - \Theta_n.$$

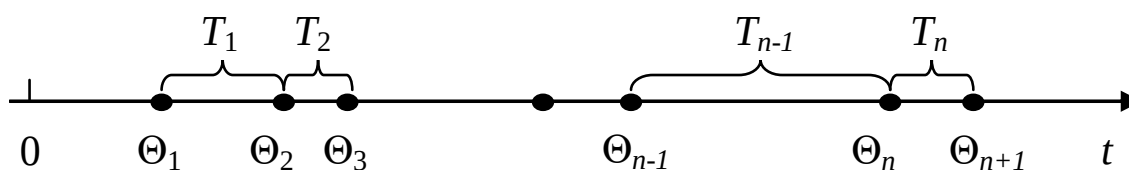


Рисунок 2.15 - Последовательность однородных событий во времени

На основе закона Пуассона процессы этого типа характеризуются свойствами ординарности, отсутствия последействия и стационарности.

1. Ординарность. Поток событий является ординарным, если вероятность появления двух и более событий на малом промежутке времени Δt пренебрежимо мала по сравнению с вероятностью появления только одного события. Иными словами, появление двух или более событий одновременно – практически невозможное событие. Важной характеристикой ординарности потока является интенсивность потока.

2. Отсутствие последействия. Поток событий является потоком без последействия, если вероятность $P_{\Delta}(k)$ появления k событий в течение произвольного промежутка времени Δt не зависит от того, появлялись или нет события в моменты времени, предшествующие началу

рассматриваемого промежутка времени. Это означает, что количества появления событий на непересекающихся промежутках времени представляют независимые события.

3. Стационарность. Поток событий называется стационарным, если все его вероятностные характеристики не меняются со временем. Таким образом, сущность стационарности потока событий заключается в том, что вероятность появления k событий в течение произвольного промежутка времени Δt зависит только от k и Δt и не зависит от момента начала отсчета этого промежутка времени. Другими словами, указанная вероятность $P_{\Delta t}(k)$ не зависит от места расположения промежутка Δt на оси времени. Таким образом, фиксируется однородность вероятностных свойств потока событий на оси времени. В частности для стационарного потока событий его интенсивность $\lambda(t)$ постоянна [4]:

$$\lambda(t)=\lambda=const. \quad (2.33)$$

Простейшим этот поток является в связи с тем, что исследование систем, находящихся под воздействием простейших потоков, проводится самым простым образом.

Таким образом, вероятность перехода системы из одного состояния, в котором она находилась в момент t , в другое состояние за элементарный промежуток времени Δt , непосредственно примыкающий к t , приближенно равна $\lambda_{ij}(t)\Delta t$, где $\lambda_{ij}(t)$ – интенсивность пуассоновского потока событий, переводящего систему из одного состояния в другое.

Рассматривая технологический процесс отсыпки и уплотнения грунта в насыпи как объект моделирования, примем следующее:

- под моделью понимается совокупность состояний и элементов технологического процесса, а под системой – технологический процесс как множество элементов (состояния, интенсивности отказов и восстановлений), находящихся в отношениях и связях друг с другом, образующие целостную и единую структуру;
- технологический процесс (система) рассматривается как марковский процесс с дискретными состояниями и непрерывным временем, т.е. переходы в системе из состояния в состояние могут происходить не в фиксированные моменты времени, а в случайные моменты;
- процесс обладает свойствами ординарности, отсутствия последействия и стационарности.

Постановка задачи. Строительное производство как вероятностная система характеризуется определенной степенью надежности. В ее функционировании участвуют технические средства, материальные элементы и трудовые ресурсы. Под надежностью технологического процесса подразумевается вероятность того, что он в течение своего функционирования сохранит работоспособность. Одной из характеристик надежности является понятие отказа. В общей теории надежности отказ трактуется как утрата объектом необходимого качества [4].

Причинами возникновения отказов в процессе функционирования технологических процессов могут быть:

- отказы технических средств (поломки машин и механизмов);
- выход из строя объектов инженерного обеспечения (энергосетей, водоснабжения);
- нарушение норм эксплуатации технических средств;
- нарушение длительности технологических процессов и операций;
- некомплектность поставки строительных материалов и изделий, нарушение сроков их поставок;
- непредвиденные работы;
- простой из-за природно-климатических и погодных условий;
- отсутствие рабочих требуемой специальности и квалификации и т.д.

Технология возведения железнодорожной насыпи представляет собой совокупность процессов:

- контроля качества уплотнения предыдущего (нижележащего, подстилающего) слоя грунта,
- отсыпки текущего (очередного) слоя,
- укатки очередного слоя несколькими проходами катка.

Из практики строительства известно, что качество железнодорожной насыпи в текущий момент времени t окажется неудовлетворительным в случаях:

- завышения толщины отсыпаемого слоя,
- укладки несоответствующего проектным требованиям грунта,
- недостаточности количества проходов катка,
- неудовлетворительного качества уплотнения нижележащего слоя грунта.

Таким образом, необходимо рассмотреть модель из пяти состояний, которая раскрывает развитие ситуации при уплотнении слоев грунта насыпи земляного полотна в части отказов технологического процесса. При этом состояния будут рассматриваться, как условно самостоятельные этапы процесса.

S_0 – все процессы в момент t достигают результата;

S_1 – недоуплотнение в момент t верхнего слоя грунта вследствие завышенной толщины слоя;

S_2 – недоуплотнение в момент t верхнего слоя грунта вследствие недостаточного количества проходов грунтоуплотнителя;

S_3 – состояние, когда в момент t отсыпается несоответствующий проектным требованиям грунт;

S_4 – снижение плотности основания (подстилающего слоя) в момент t превысило допустимый предел.

Входными параметрами при формировании и формализации модели технологического процесса уплотнения грунта являются интенсивности отказов технологий (отдельных состояний (операций) технологического процесса) – λ . В соответствии со свойствами потока событий, среднее число событий потока, наступающих в единицу времени, называется интенсивностью или средней плотностью потока.

Интенсивность отказов может быть отождествлена со средним числом выбросов в единицу времени. Экспоненциальный закон функции надежности характеризуется постоянной интенсивностью отказов. Однако отмечается, что функция надежности технологического процесса не подчиняется экспоненциальному закону. Для них важен срок эксплуатации технологии или ее элементов [4].

В результате, физическим смыслом интенсивности потока событий (отказов или восстановлений) является среднее число событий, приходящееся на единицу времени. Интенсивность потока событий может быть любой неотрицательной функцией времени и имеет размерность [1/время]:

$$\lambda = \frac{1}{T_o}, \quad (2.34)$$

где T_o – время безотказного функционирования технологической операции;

Процесс определения интенсивности отказов технологии и представлен на рисунке 2.16.

При рассмотрении технологического процесса уплотнения грунта, а именно этапов уплотнения, интенсивности отказов технологий являются основной характеристикой при осуществлении перехода из одного состояния в другое.

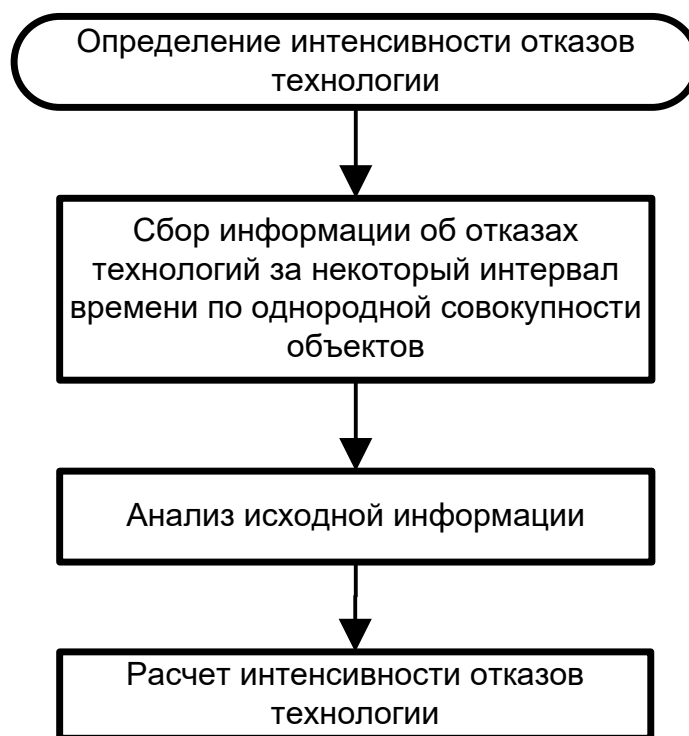


Рисунок 2.16 - Порядок определения интенсивностей отказов технологии

При этом переход процесса из состояния S_i в состояние S_j за время Δt с точностью до бесконечно малых высших порядков происходит с вероятностью:

$$\dot{P}_{ij}(t) = \lambda_{ij} \Delta t, \quad (2.35)$$

где λ_{ij} - плотность вероятности перехода (интенсивность отказа технологии).

При определении величины интенсивностей отказов и состояний технологического процесса отсыпки и уплотнения грунта следует учитывать длину фронта работ, а также результаты вычисления интенсивности потока событий или данные статистического анализа. В частности значение интенсивности отказов технологии зависит от времени безотказной работы составляющих элементов этапа технологического процесса и влияния окружающей среды. Важно отметить, что значение интенсивности отказа и восстановления технологии относится ко всему фронту работ, так как средства механизации, трудовые ресурсы и природно-климатические условия оказывают влияние на весь рабочий участок в целом. Это связано с тем, что если бы данные факторы не оказывали влияние на технологический процесс уплотнения грунта в пределах фронта работ, то данный участок насыпи не претерпевал бы нежелательных изменений (деформации, дефекты) в своей структуре на протяжении последующих лет эксплуатации [4].

В результате примем следующие плотности вероятности перехода:

λ_1 – интенсивность отказов технологии, связанная с неудовлетворительным качеством уплотнения очередного слоя грунта (1/час);

λ_2 – интенсивность отказов технологии, связанная с завышенной толщиной очередного слоя грунта (1/час);

λ_3 – интенсивность отказов технологии, связанная с несоответствующим качеством отсыпаемого грунта (1/час);

λ_4 - интенсивность отказов технологии, связанная с неудовлетворительным качеством уплотнения грунта нижележащего слоя (1/час);

В случаях систематического недоуплотнения текущих (очередных, в данный момент - верхних) слоев грунта интенсивность отказов λ_4 увеличивается на величину λ_5 .

Тогда переходные вероятности системы:

- из состояния S_0 за время Δt система перейдет в состояние S_1 с вероятностью $\lambda_1 \Delta t$, если будет завышена толщина слоя;
- из состояния S_0 за время Δt система перейдет в состояние S_2 с вероятностью $\lambda_2 \Delta t$, если будет занижено число проходов грунтоуплотнителя;
- из состояния S_0 за время Δt система перейдет в состояние S_3 с вероятностью $\lambda_3 \Delta t$, если будет отсыпан несоответствующий проектным требованиям грунт;
- из состояния S_0 за время Δt система перейдет в состояние S_4 с вероятностью $\lambda_4 \Delta t$, если снижение плотности основания (подстилающего слоя) превысит допустимый предел при удовлетворительном качестве уплотнения верхнего слоя;
- с вероятностью $(\lambda_4 + \lambda_5) \Delta t$ система перейдет из состояния S_1 в состояние S_4 или из состояния S_2 в состояние S_4 или из состояния S_3 в состояние S_4 , если снижение плотности подстилающего слоя превысит допустимый предел при неудовлетворительном качестве уплотнения верхнего слоя.

Ориентированный граф пяти состояний и возможные переходы системы показаны на рисунке 2.17.

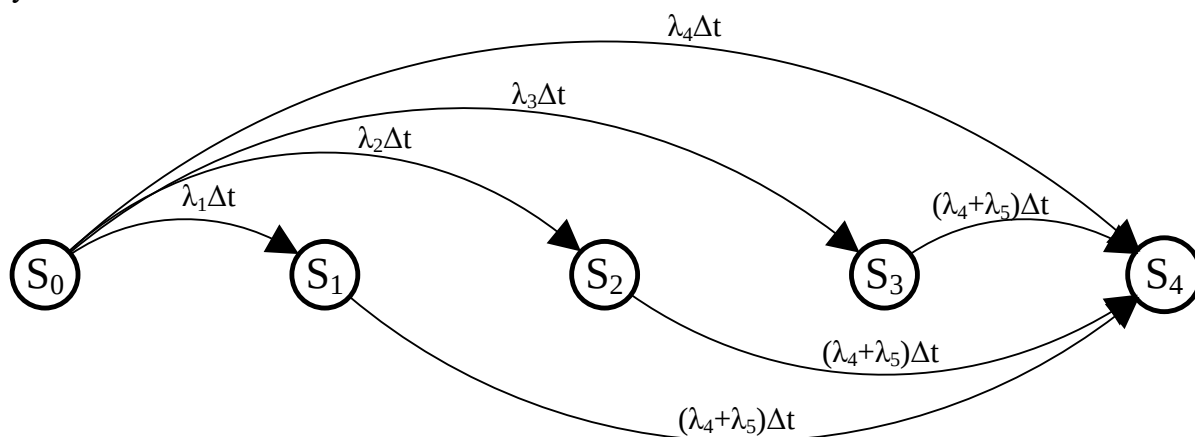


Рисунок 2.17. Граф состояний и переходов

Для этого графа система дифференциальных уравнений Колмогорова, определяющих вероятность каждого состояния системы в текущий момент времени t , имеет вид:

$$\begin{cases} \frac{dP_0}{dt} = -(\lambda_1 + \lambda_2 + \lambda_3 + \lambda_4)P_0(t); \\ \frac{dP_1}{dt} = \lambda_1 P_0(t) - (\lambda_4 + \lambda_5)P_1(t); \\ \frac{dP_2}{dt} = \lambda_2 P_0(t) - (\lambda_4 + \lambda_5)P_2(t); \\ \frac{dP_3}{dt} = \lambda_3 P_0(t) - (\lambda_4 + \lambda_5)P_3(t); \\ \frac{dP_4}{dt} = \lambda_4 P_0(t) + (\lambda_4 + \lambda_5)P_1(t) + (\lambda_4 + \lambda_5)P_2(t) + (\lambda_4 + \lambda_5)P_3(t); \\ P_0(t) + P_1(t) + P_2(t) + P_3(t) + P_4(t) = 1 \end{cases} \quad (2.36)$$

После того, как составлены дифференциальные уравнения для каждого состояния процесса, определяют вероятности нахождения процесса в каждом из состояний в момент времени t при заданных начальных ненулевых условиях с учетом того, что сумма вероятностей всех состояний процесса равна единице.

В начальный момент времени $t=0$ все этапы технологического процесса уплотнения грунта функционировали без отказов, то есть $P_0(0) = 1, P_1(0) = P_2(0) = P_3(0) = P_4(0) = 0$.

Решением системы уравнений (2.36), с учетом принятых начальных условий, является система функций (решение получено операторным методом с применением обратного преобразования Лапласа):

$$\begin{cases} P_0(t) = e^{-(\lambda_1 + \lambda_2 + \lambda_3 + \lambda_4)t}; \\ P_1(t) = \frac{\lambda_1 (e^{-(\lambda_4 + \lambda_5)t} - e^{-(\lambda_1 + \lambda_2 + \lambda_3 + \lambda_4)t})}{\lambda_2 + \lambda_3 - \lambda_5 + \lambda_1}; \\ P_2(t) = \frac{\lambda_2 (e^{-(\lambda_4 + \lambda_5)t} - e^{-(\lambda_1 + \lambda_2 + \lambda_3 + \lambda_4)t})}{\lambda_2 + \lambda_3 - \lambda_5 + \lambda_1}; \\ P_3(t) = \frac{\lambda_3 (e^{-(\lambda_4 + \lambda_5)t} - e^{-(\lambda_1 + \lambda_2 + \lambda_3 + \lambda_4)t})}{\lambda_2 + \lambda_3 - \lambda_5 + \lambda_1}; \\ P_4(t) = 1 - \frac{\lambda_1 e^{-(\lambda_4 + \lambda_5)t} + \lambda_2 e^{-(\lambda_4 + \lambda_5)t} + \lambda_3 e^{-(\lambda_4 + \lambda_5)t}}{\lambda_2 + \lambda_3 - \lambda_5 + \lambda_1} + \frac{\lambda_5 e^{-(\lambda_1 + \lambda_2 + \lambda_3 + \lambda_4)t}}{\lambda_2 + \lambda_3 - \lambda_5 + \lambda_1} \end{cases} \quad (2.37)$$

Для численного решения системы дифференциальных уравнений (2.36) остается подставить в полученные формулы (2.37) значения интенсивностей отказов операций технологического процесса возведения железнодорожной насыпи.

2.5.2. Пример решения

Рассматривая технологический процесс отсыпки и уплотнения насыпи железнодорожного земляного полотна как марковский случайный процесс с дискретными состояниями и непрерывным временем, определить изменения вероятностей нахождения процесса в различных состояниях. Для решения задачи использовать систему *Mathcad*.

Исходные данные:

$T_1 = 5$ час; $T_2 = 20$ час; $T_3 = 10$ час; $T_4 = 15$ час.

Следовательно:

$$\lambda_1 = \frac{1}{5}, (1/\text{час}); \lambda_2 = \frac{1}{20}, (1/\text{час}); \lambda_3 = \frac{1}{10}, (1/\text{час}); \lambda_4 = \frac{1}{15}, (1/\text{час}),$$

если недоуплотнение текущих (очередных, в данный момент - верхних) слоев грунта носит систематический характер, то $\lambda_5 = 0,03, (1/\text{час})$.

В качестве временного интервала рассмотрены сутки: $t=24$ час.

По результатам расчетов, выполненных системой компьютерной математики *Mathcad* установлено (таблица 2.5, рисунок 2.18):

1. На интервале $[0;1]$ резкое увеличение значений вероятности недоуплотнения верхнего слоя грунта вследствие завышенной толщины основания на влиянии интенсивности отказов технологии, связанной с неудовлетворительным качеством уплотнения слоя грунта (λ_1), а дальнейшее развитие графика связано с влиянием интенсивности отказов технологии, связанной с неудовлетворительным качеством уплотнения грунта нижележащего слоя (λ_4). Это подтверждается значением тангенса угла наклона графика функции $P_1(t)$. На интервале $[1;4]$ тангенс угла наклона изменяется и, начиная с $t=4$ (час) меняет свое направление; значения вероятности уменьшаются.

Таблица 2.5 - Результаты расчета изменения значений
вероятностей состояний технологического
процесса

t	$P_0(t)$	$P_1(t)$	$P_2(t)$	$P_3(t)$	$P_4(t)$
0	1	0	0	0	0
1	0,659	0,155	0,039	0,078	0,069
2	0,435	0,243	0,061	0,122	0,139
3	0,287	0,289	0,072	0,144	0,208
4	0,189	0,306	0,077	0,153	0,275
5	0,125	0,308	0,077	0,154	0,337
6	0,082	0,299	0,075	0,149	0,395
7	0,054	0,284	0,071	0,142	0,449
8	0,036	0,266	0,067	0,133	0,499
9	0,024	0,247	0,062	0,124	0,544
10	0,016	0,228	0,057	0,114	0,585
11	0,010	0,209	0,052	0,105	0,623
12	0,007	0,192	0,048	0,096	0,658
13	0,004	0,175	0,044	0,088	0,689
14	0,003	0,160	0,040	0,080	0,718
15	0,002	0,145	0,036	0,073	0,744
16	0,0013	0,132	0,033	0,066	0,767
17	0,0008	0,120	0,030	0,060	0,789
18	0,0006	0,109	0,027	0,055	0,808
19	0,0004	0,099	0,025	0,050	0,826
20	0,0002	0,090	0,023	0,045	0,842
21	0,0002	0,082	0,020	0,041	0,856
22	0,0001	0,074	0,019	0,037	0,870
23	0,0001	0,068	0,017	0,034	0,882
24	0,0000	0,061	0,015	0,031	0,893

2. На интервале $[0;2]$ увеличение значений вероятности отсыпки несоответствующего проектным требованиям грунта основано на влиянии интенсивности отказов технологии, связанной с отсыпкой несоответствующего проектным требованиям грунта (λ_3), а дальнейшее развитие графика связано с влиянием интенсивности отказов технологии, связанной с неудовлетворительным качеством уплотнения грунта нижележащего слоя (λ_4). Это подтверждается тангенсом угла наклона графика функции $P_3(t)$. Значение тангенса угла наклона графика функции $P_3(t)$ меньше, чем у графика функции $P_1(t)$, что объясняется меньшим влиянием интенсивности отказов технологии, связанной с несоответствием проектным требованиям грунта (λ_3) в сравнении с интенсивностью отказов, связанной с неудовлетворительным качеством уплотнения грунта (λ_1). На интервале $[2;4]$ тангенс угла наклона графика функции $P_3(t)$ изменяется и, начиная с момента времени $t=5$ (час) меняет свое направление, график начинает плавно снижаться и стремиться к нулевому значению.

3. На интервале $[0;3]$ увеличение значений вероятности недоуплотнения очередного слоя грунта вследствие недостаточного количества проходов грунтоуплотнителя основано на влиянии интенсивности отказов технологии, связанной с завышением толщины отсыпаемого слоя грунта (λ_2), а дальнейшее развитие графика связано с влиянием интенсивности отказов технологии, связанной с неудовлетворительным качеством уплотнения грунта нижележащего слоя (λ_4). Это подтверждается тангенсом угла наклона графика функции $P_2(t)$. Значение тангенса угла наклона графика функции $P_2(t)$ меньше, чем у графиков функций $P_1(t)$ и $P_3(t)$, что объясняется меньшим влиянием интенсивности отказов технологии, связанной с завышением толщины отсыпаемого слоя грунта (λ_2) в сравнении с $-\lambda_1$ и λ_3 . На интервале $[3;4]$ тангенс угла наклона графика функции $P_2(t)$ изменяется и, начиная с момента времени $t=5$

(час) меняет свое направление, значения вероятностей начинают уменьшаться и стремятся к нулевому значению.

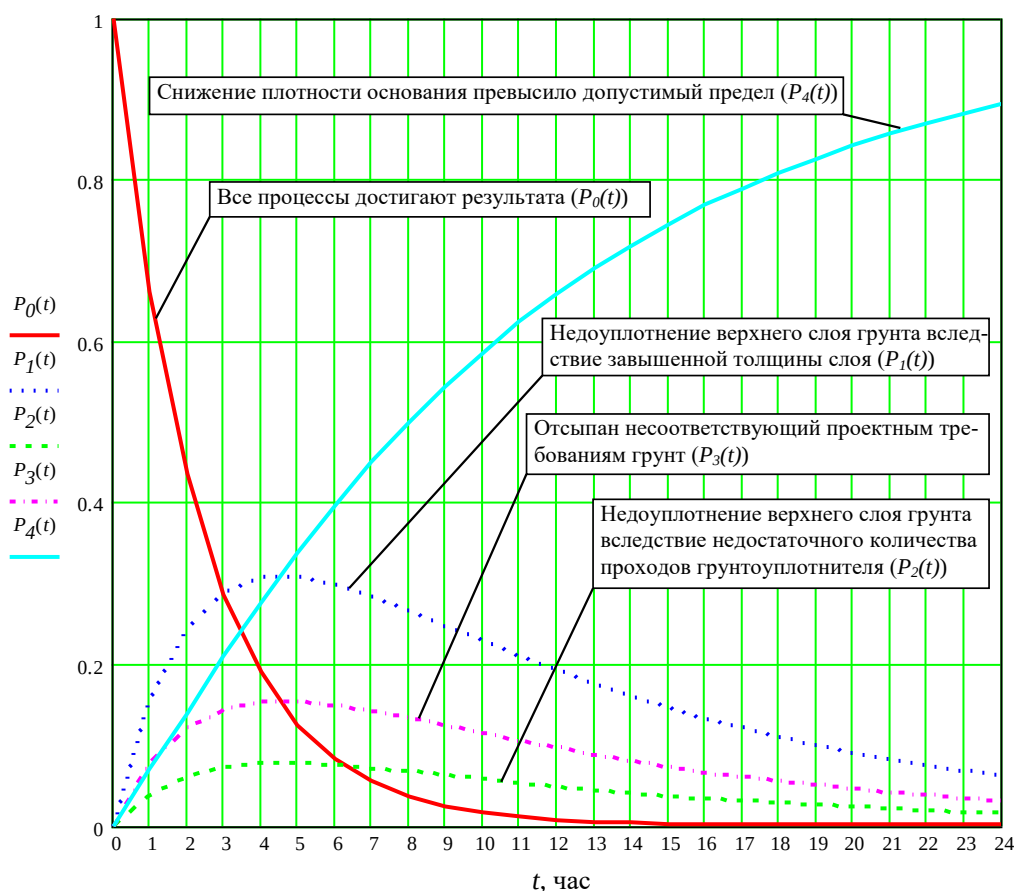


Рисунок 2.18 - График изменения значений вероятностей состояний технологического процесса

4. На увеличении значений функции $P_4(t)$ сказывается возможность перехода из состояний недоуплотнения верхнего слоя грунта вследствие завышенной толщины слоя S_1 , недоуплотнения верхнего слоя грунта вследствие недостаточного количества проходов грунтоуплотнителя S_2 , отсыпки несоответствующего проектным требованиям грунта S_3 в состояние, когда снижение плотности основания (подстилающего слоя) превысило допустимый предел S_4 . Вероятность снижения плотности основания (подстилающего слоя) $P_4(t)$ на протяжении всего временного интервала увеличивается, что объясняется влиянием интенсивности отказов технологии, связанной с неудовлетворительным качеством уплотнения грунта нижележащего слоя.

По результатам моделирования технологического процесса возведения железнодорожной насыпи, как Марковского случайного процесса, установлено, что особое внимание необходимо обращать при принятии управленческих решений на состояние S_1 (недоуплотнение в момент t верхнего слоя грунта вследствие завышенной толщины слоя), поскольку здесь максимальная вероятность и, следовательно, максимальные риски. Этому этапу соответствует конкретная временная отметка ($t=5$ час, $P_1(t)=0,308$).

Снижения плотности подстилающего слоя при неудовлетворительном качестве уплотнения верхнего слоя S_4 , оказывает влияние на все остальные состояния. Влияние состояния S_4 за счет соответствующих интенсивностей отказов позволяет утверждать, что состояния S_1 , S_2 , S_3 достигнув максимальной вероятности ($P_1(t)=P_2(t)=P_3(t)=const$) деградируют, т.е. перестают оказывать какое-либо влияние на технологический процесс.

Решение задачи с применением системы компьютерной математики *Mathcad* представлено на рисунках 2.19-2.20.

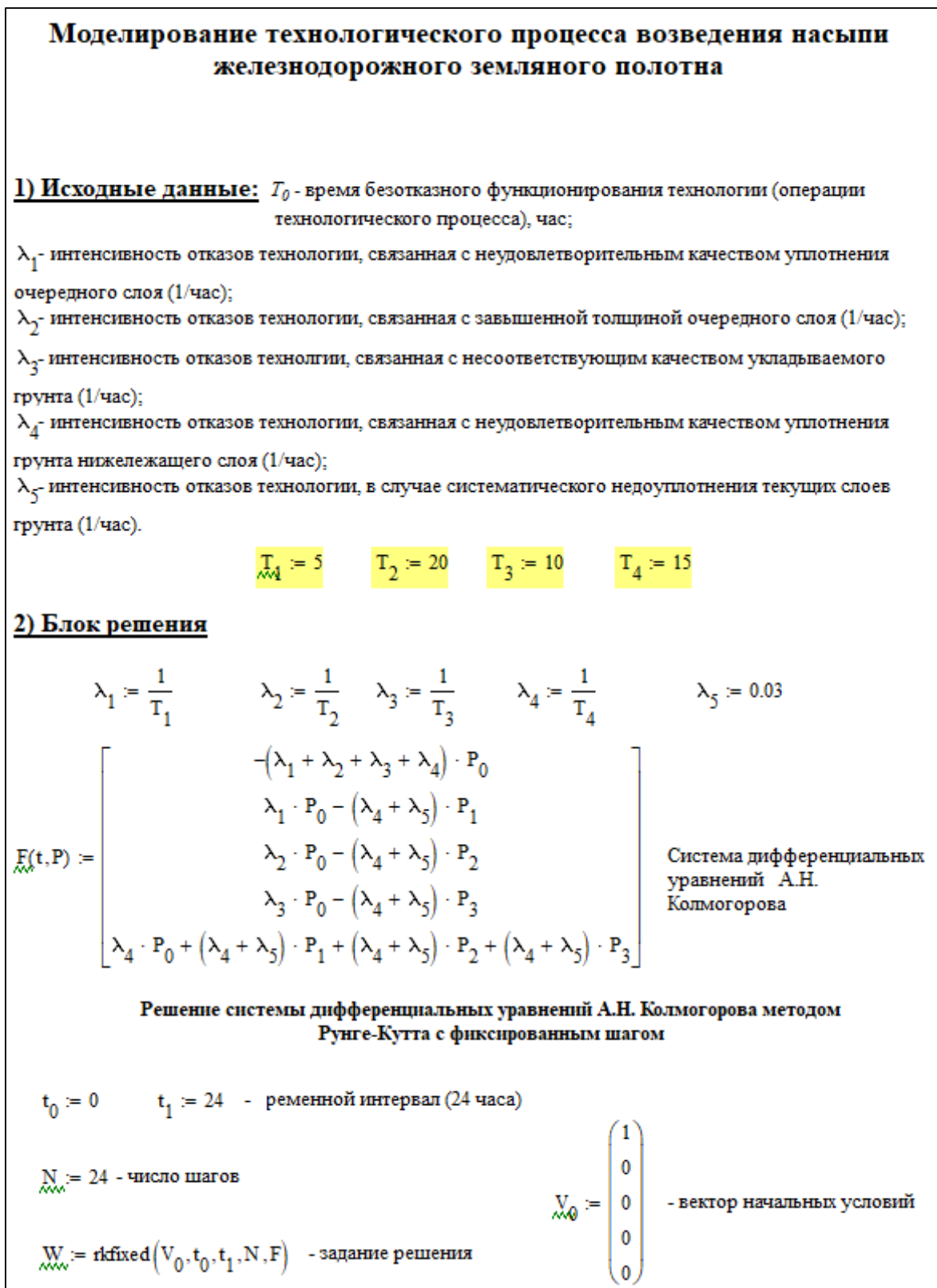


Рисунок 2.19 – Документ *Mathcad* с решением задачи моделирования технологического процесса возведения насыпи железнодорожного земляного полотна. Блоки «Исходные данные» и «Блок решения»

3) Результаты решения

$$t := W^{(0)} \quad P_0(t) := W^{(1)} \quad P_1(t) := W^{(2)} \quad P_2(t) := W^{(3)} \quad P_3(t) := W^{(4)} \quad P_4(t) := W^{(5)}$$

	0	1	2	3	4	5
0	0	1	0	0	0	0
1	1	0.659	0.155	0.039	0.078	0.069
2	2	0.435	0.243	0.061	0.122	0.139
3	3	0.287	0.289	0.072	0.144	0.208
4	4	0.189	0.306	0.077	0.153	0.275
5	5	0.125	0.308	0.077	0.154	0.337
6	6	0.082	0.299	0.075	0.149	0.395
7	7	0.054	0.284	0.071	0.142	0.449
8	8	0.036	0.266	0.067	0.133	0.499
9	9	0.024	0.247	0.062	0.124	0.544
10	10	0.016	0.228	0.057	0.114	0.585
11	11	0.01	0.209	0.052	0.105	0.623
12	12	$3.75 \cdot 10^{-3}$	0.192	0.048	0.096	0.658
13	13	$4.51 \cdot 10^{-3}$	0.175	0.044	0.088	0.689
14	14	$9.34 \cdot 10^{-3}$	0.16	0.04	0.08	0.718
15	15	$9.35 \cdot 10^{-3}$	0.145	0.036	0.073	0.744
16	16	$2.76 \cdot 10^{-3}$	0.132	0.033	0.066	0.767
17	17	$4.11 \cdot 10^{-4}$	0.12	0.03	0.06	0.789
18	18	$5.46 \cdot 10^{-4}$	0.109	0.027	0.055	0.808
19	19	$6.56 \cdot 10^{-4}$	0.099	0.025	0.05	0.826
20	20	$4.11 \cdot 10^{-4}$	0.09	0.023	0.045	0.842
21	21	$1.59 \cdot 10^{-4}$	0.082	0.02	0.041	0.856
22	22	$0.48 \cdot 10^{-4}$	0.074	0.019	0.037	0.87
23	23	$3.91 \cdot 10^{-5}$	0.068	0.017	0.034	0.882
24	24	$5.56 \cdot 10^{-5}$	0.061	0.015	0.031	0.893

График изменения значений вероятностей

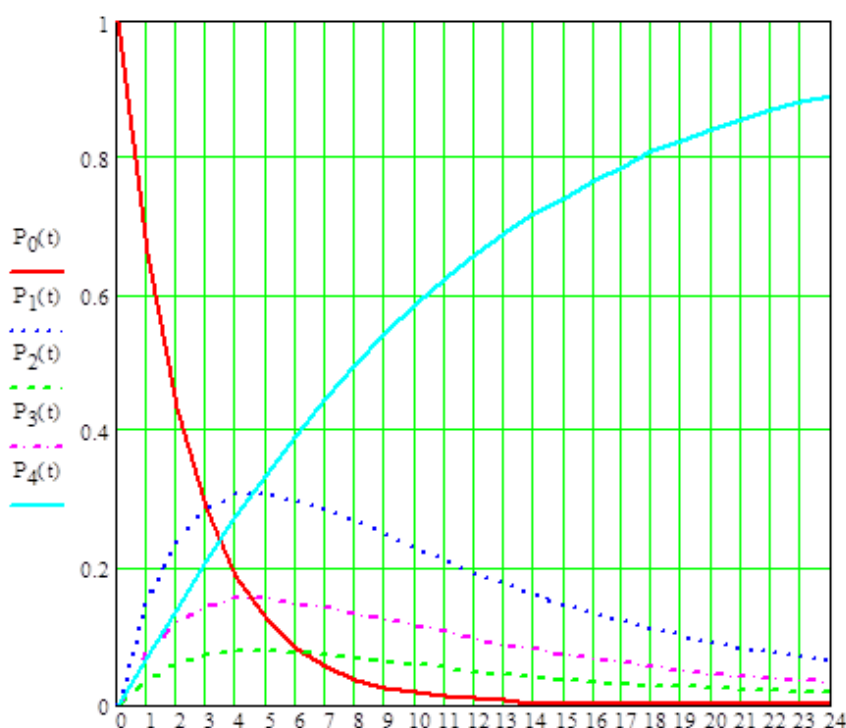


Рисунок 2.20 – Документ *Mathcad* с решением задачи моделирования технологического процесса возведения насыпи железнодорожного земляного полотна. Блок «Результаты решения»

Таким образом, вмешательство в технологический процесс для устранения отказа становится невозможным для рассматриваемой модели в случае одновременного сочетания вероятностей отказов $P_1(t)$, $P_3(t)$ и $P_4(t)$. Поэтому в течение всего технологического процесса необходимо контролировать, в первую очередь, соответствующие этапы технологического процесса, а именно отсыпку грунта, соответствующего проектным требованиям, толщину слоя и плотность подстилающего слоя (нижележащего) по отношению к только что уплотненному.

2.6. Выбор оптимальной стратегии управления технологическим процессом возведения железнодорожного земляного полотна

2.6.1. Теоретические основы

При принятии управленческих решений о функционировании и развитии строительного технологического процесса необходимо учитывать важную характеристику внешней среды – неопределенность.

Неопределенность обуславливает появление ситуаций, не имеющих однозначного исхода (решения).

Рассмотрим основные подходы принятия решений в условиях неопределенности на примере.

В результате решения предыдущей задачи (п. 2.5) были получены вероятности нахождения технологического процесса отсыпки и уплотнения грунта в различных состояниях S_j , а именно:

P_0 – все процессы в момент t достигают результата (S_0);

P_1 – недоуплотнение в момент t верхнего слоя грунта вследствие завышенной толщины слоя (S_1);

P_2 – недоуплотнение в момент t верхнего слоя грунта вследствие недостаточного количества проходов грунтоуплотнителя (S_2);

P_3 – состояние, когда в момент t отсыпается несоответствующий проектным требованиям грунт (S_3);

P_4 – снижение плотности основания (подстилающего слоя) в момент t превысило допустимый предел (S_4).

Решение может быть принято в целом ко всему технологическому процессу отсыпки грунта в тело железнодорожной насыпи и его последующего уплотнения:

- x_0 – ликвидация отклонений в технологическом процессе за счет увеличения времени использования грунтоуплотняющей машины с целью достижения проектной величины,
- x_1 – ликвидация отклонений в технологическом процессе путем замены менее производительной грунтоуплотняющей машины на более производительную,
- x_2 – ликвидация отклонений в технологическом процессе за счет увеличения времени использования и замены грунтоуплотняющей машины на более производительную,
- x_3 – ликвидация отклонений в технологическом процессе с применением всех основных ресурсов строительной организации,
- x_4 – ликвидация отклонений в технологическом процессе с применением основных и привлечением дополнительных ресурсов строительной организации.

2.6.2. Пример решения

Затраты на проведение операции даны в матрице (таблица 2.6). Вероятности нахождения процесса в том или ином состоянии соответствуют $t = 4$ час. В качестве примера задана матрица затрат 5×5 .

Таблица 2.6 - Затраты на проведение восстановительных работ

	P_j	x_0	x_1	x_2	x_3	x_4
S_0	0,189	7	5	8	9	5
S_1	0,306	2	9	7	3	4
S_2	0,077	2	9	7	7	6
S_3	0,153	6	8	6	6	4
S_4	0,275	4	5	5	3	4

Для решения указанной задачи возможны три различных подхода.

1. *Принцип максимального правдоподобия.* В соответствии с этим принципом выбирается такое состояние объекта, которое наиболее вероятно, т.е. из вектора P_j выбирается максимальная компонента и считается, что объект будет находиться в этом состоянии. Для данного примера наиболее вероятное состояние – недоуплотнение в момент t (4 час) верхнего слоя грунта вследствие завышенной толщины слоя $P_1 = 0,306$. Функция затрат должна быть минимизирована: $\min_x F(x, S_1) = \min_i \{2, 9, 7, 3, 4\} = 2$ и оптимальная стратегия – ликвидация отклонений в технологическом процессе за счет увеличения времени использования грунтоуплотняющей машины с целью достижения проектной величины (x_0). На практике чаще всего выбирают принцип максимального правдоподобия, если максимальная вероятность значительно больше вероятности других состояний.

2. *Принцип Байеса* состоит в том, что оперирующая сторона рассчитывает на минимум средних затрат. В этом случае при применении стратегии x_0 средние затраты составят

$$\bar{F}(x_i) = \sum_j F(x_i, S_j) P_j, \quad (2.36)$$

тогда с учетом исходных данных

$$\bar{F}(x_0) = 0,189 \cdot 7 + 0,306 \cdot 2 + 0,077 \cdot 2 + 0,153 \cdot 6 + 0,275 \cdot 4 = 4,107.$$

Соответственно для других стратегий оперирующей стороны имеем $\bar{F}(x_1) = 6,991$, $\bar{F}(x_2) = 6,486$, $\bar{F}(x_3) = 4,901$ и $\bar{F}(x_4) = 4,343$. Минимизация средних затрат дает $\min_x \bar{F}(x) = \min_i \{4,107, 6,991, 6,486, 4,901, 4,343\} = 4,107$ и оптимальную стратегию – ликвидацию отклонений в технологическом процессе за счет увеличения времени использования грунтоуплотняющей машины с целью достижения проектной величины.

3. *Принцип гарантированной оценки.* Если неприемлемы по тем или иным причинам предыдущие подходы, например объект может находиться в равновероятных состояниях, то можно применить гарантированную оценку. В этом случае считается, что объект будет реализовывать такой вектор P_j , чтобы принести возможно больший вред, максимизировав функцию потерь, т.е. объект рассматривается как противник, реализующий наиболее выгодную для себя стратегию. Рассмотрим поведение оперирующей стороны с точки зрения противника. Если будет реализована стратегия x_0 , то противник должен применить стратегию, максимизирующую затраты (усреднение снизу):

$$\underline{F}(x_i) = \max F(x_i, S_j). \quad (2.37)$$

Соответственно $\underline{F}(x_0) = \max \{7, 2, 2, 6, 4\} = 7$, $\underline{F}(x_1) = 9$, $\underline{F}(x_2) = 8$, $\underline{F}(x_3) = 9$, $\underline{F}(x_4) = 6$. Оперирующая сторона выбирает свою стратегию как минимальную из оценок $\min_x \underline{F}(x) = \min_i \{7, 9, 8, 9, 6\} = 6$, что соответствует стратегии x_4 , а именно ликвидации отклонений в технологическом процессе с применением основных и привлечением дополнительных ресурсов строительной организации.

Подводя итог, можно видеть, что при различных принципах принятия решений оптимальные из них могут быть различны. Первый подход отражает оптимистическую точку зрения на развитие событий, ей соответствуют минимальные затраты, которые могут быть существенно превышены при неблагоприятном стечении обстоятельств. Третий подход демонстрирует осторожную позицию; он гарантирует, что затраты не превысят расчетного значения в самом неблагоприятном случае, однако в реальности могут оказаться существенно меньше. Наконец, второй подход занимает среднее положение и рассчитан на средний результат при проведении большого количества подобных операций.

Решение задачи с применением системы компьютерной математики *Mathcad* представлено на рисунках 2.21-2.22.

**Выбор оптимальной стратегии управления технологическим процессом
возведения железнодорожного земляного полотна**

1) Исходные данные: X - затраты на проведение восстановительных работ;
P - вероятности отказов технологической операции в момент времени t

$$X := \begin{pmatrix} 7 & 5 & 8 & 9 & 5 \\ 2 & 9 & 7 & 5 & 4 \\ 2 & 9 & 7 & 7 & 6 \\ 6 & 8 & 6 & 6 & 4 \\ 4 & 5 & 5 & 3 & 4 \end{pmatrix}$$

$$P := \begin{pmatrix} 0.189 \\ 0.306 \\ 0.077 \\ 0.153 \\ 0.275 \end{pmatrix}$$

Res := $\left(\begin{array}{l} \text{"Решение №1 - ... за счет увеличения времени использования грунтоуплотняющей машины..."} \\ \text{"Решение №2 - ... путем замены менее производительной грунтоуплотняющей машины на..."} \\ \text{"Решение №3 - ... за счет увеличения времени использования и замены грунтоуплотняющей..."} \\ \text{"Решение №4 - ... с применением всех основных ресурсов строительной организации"} \\ \text{"Решение №5 - ... с применением основных и привлечением дополнительных ресурсов..."} \end{array} \right)$

FindIndex(M, key) :=

$$\begin{array}{l} r \leftarrow \text{rows}(M) - 1 \\ c \leftarrow \text{cols}(M) - 1 \\ v \leftarrow \begin{pmatrix} -1 \\ -1 \end{pmatrix} \\ \text{for } i \in 0..r \\ \quad \text{for } j \in 0..c \\ \quad \quad \text{if } M_{i,j} = \text{key} \\ \quad \quad \quad \begin{array}{l} v_1 \leftarrow i + 1 \\ v_0 \leftarrow j + 1 \\ \text{break} \end{array} \end{array}$$

v_1

- программа определения номера строки, соответствующие первому вхождению элемента, равного заданному значению. Если такой элемент не найден, искомый номер строки равен -1.

Рисунок 2.21 – Документ *Mathcad* с решением задачи выбора оптимальной стратегии управления технологическим процессом возведения железнодорожного земляного полотна.
Блок «Исходные данные»

ORIGIN := 1

2) Блок решения

1-й принцип (принцип максимального правдоподобия)

$$\text{ind1} := \max(P) = 0.306 \quad \text{Num1} := \text{FindIndex}(P, \text{ind1}) = 2 \quad \text{zn} := \min \left[(X^T)^{\langle \text{Num1} \rangle} \right] = 2$$

$$\text{Num2} := \text{FindIndex} \left[(X^T)^{\langle \text{Num1} \rangle}, \text{zn} \right] = 1 \quad \text{Reshenie1} := \text{Res}_{\text{Num2}}$$

Reshenie1 = "Решение №1 - ... за счет увеличения времени использования грунтоуплотняющей машины..."

2-й принцип (принцип Байеса)

$$i := 1..5 \quad j := 1..5 \quad F_i := \sum_{j=1}^5 (P_j \cdot X_{j,i}) \quad F^T = (4.107 \quad 6.991 \quad 6.486 \quad 5.513 \quad 4.343)$$

$$\text{ind2} := \min(F) = 4.107 \quad \text{Num3} := \text{FindIndex}(F, \text{ind2}) = 1 \quad \text{Reshenie2} := \text{Res}_{\text{Num3}}$$

Reshenie2 = "Решение №1 - ... за счет увеличения времени использования грунтоуплотняющей машины..."

3-й принцип (принцип гарантированной оценки)

$$A_j := \max(X^{(j)}) \quad A^T = (7 \quad 9 \quad 8 \quad 9 \quad 6)$$

$$\text{ind3} := \min(A) = 6 \quad \text{Num4} := \text{FindIndex}(A, \text{ind3}) = 5 \quad \text{Reshenie3} := \text{Res}_{\text{Num4}}$$

Reshenie3 = "Решение №5 - ... с применением основных и привлечением дополнительных ресурсов..."

3) Результаты решения

$$\text{Result} := \begin{cases} \text{Reshenie1} & \text{if Num2} = \text{Num3} \\ \text{Reshenie3} & \text{otherwise} \end{cases}$$

Result = "Решение №1 - ... за счет увеличения времени использования грунтоуплотняющей машины..."

Рисунок 2.22 – Документ *Mathcad* с решением задачи выбора оптимальной стратегии управления технологическим процессом возведения железнодорожного земляного полотна.
Блоки «Блок решения» и «Результаты решения»

Проведенные вычисления показали, что при различных принципах принятия решений оптимальные из них различаются. Расчеты по первому и второму принципам показали одинаковые результаты. А расчет по третьему принципу дал отличный результат от результатов, полученных в ходе расчетов. С учетом рекомендаций по применению результатов выбора оптимальной стратегии управления окончательным решением предлагается считать решение подтвержденное первым и вторым принципами, а именно ликвидацию отклонений в технологическом процессе за счет увеличения времени использования грунтоуплотняющей машины с целью достижения проектной величины (x_0).

Литература

1. Автоматизированное проектирование организации строительства железных дорог / Под ред. С. П. Першина. – М.: Транспорт, 1991. – 261 с.
2. ГСН 81-05-02-2007 «Сборник сметных норм дополнительных затрат при производстве строительно-монтажных работ в зимнее время», -М., 2007.
3. Полянский, А. В. Автоматизированное решение задач проектного управления железнодорожным строительством : учебное пособие / А. В. Полянский. – Москва : Общество с ограниченной ответственностью "Издательство "Мир науки", 2021. – 75 с. – ISBN 978-5-6045772-0-2. – EDN QUAQJM.
4. Полянский, А. В. Мониторинг технологического процесса возведения насыпей земляного полотна : специальность 05.23.11 "Проектирование и строительство дорог, метрополитенов, аэродромов, мостов и транспортных тоннелей" : диссертация на соискание ученой степени кандидата технических наук / Полянский Алексей Викторович. – Москва, 2006. – 190 с. – EDN NNQSOZ.
5. Полянский, А. В. Технология строительных процессов и возведения зданий и сооружений : краткий курс : учебное пособие для студентов специальностей 270115 "Экспертиза и управление недвижимостью" и 270204 "Строительство железных дорог, путь и путевое хозяйство" / А. В. Полянский ; Московский гос. ун-т путей сообщ. (МИИТ), Каф. "Организация, технология и управление строительством". – Москва : Московский гос. ун-т путей сообщ., 2009. – 209 с. – EDN QNOGCN.
6. Симонов, К. В. Решение задач планирования железнодорожного строительства с применением системы Mathcad / К. В. Симонов, А. В. Полянский ; Московский гос. ун-т путей сообщ. (МИИТ), Каф. "Орг., технологии и упр. стр-вом". – Москва : МИИТ, 2006. – 225 с. – EDN QRQDRZ.
7. СП 131.13330.2020 «Актуализированная редакция СНиП 23-01-2003 «Строительная климатология», М., 2012.
8. Спиридонова, М. А. Методы обоснования эффективной организации строительно-путевых работ : специальность 05.23.11 "Проектирование и строительство дорог, метрополитенов, аэродромов, мостов и транспортных тоннелей" : диссертация на соискание ученой степени кандидата технических наук / Спиридонова Марина Анатольевна. - Москва, 2003. – 150 с.
9. Спиридонова, М. А. Решение задач климатологии железнодорожного строительства с применением системы Mathcad: Учеб. пособие / М. А. Спиридонова, А. В. Полянский. – М.: МГУПС (МИИТ), 2016. – 145 с.

Полянский Алексей Викторович

**Автоматизированное решение организационно-технологических задач
железнодорожного строительства**

Часть 1

Учебное пособие издано в авторской редакции

Сетевое издание

Ответственный за выпуск – Алимова Н.К.

Учебное издание

Системные требования:

операционная система Windows XP или новее, macOS 10.12 или новее, Linux.

Программное обеспечение для чтения файлов PDF.

Объем данных 3 Мб

Принято к публикации «21» ноября 2024 года

Режим доступа: <https://izd-mn.com/PDF/47MNNPU24.pdf> свободный. – Загл. с экрана. –
Яз. рус., англ.

ООО «Издательство «Мир науки»

«Publishing company «World of science», LLC

Адрес:

Юридический адрес — 127055, г. Москва, пер. Порядковый, д. 21, офис 401.

Почтовый адрес — 127055, г. Москва, пер. Порядковый, д. 21, офис 401.

<https://izd-mn.com/>

**ДАННОЕ ИЗДАНИЕ ПРЕДНАЗНАЧЕНО ИСКЛЮЧИТЕЛЬНО ДЛЯ ПУБЛИКАЦИИ НА
ЭЛЕКТРОННЫХ НОСИТЕЛЯХ**