

ФЕДЕРАЛЬНОЕ АГЕНТСТВО ЖЕЛЕЗНОДОРОЖНОГО ТРАНСПОРТА
КРАСНОЯРСКИЙ ИНСТИТУТ ЖЕЛЕЗНОДОРОЖНОГО ТРАНСПОРТА –
ФИЛИАЛ ФЕДЕРАЛЬНОГО ГОСУДАРСТВЕННОГО БЮДЖЕТНОГО
ОБРАЗОВАТЕЛЬНОГО УЧРЕЖДЕНИЯ ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ
«ИРКУТСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ ПУТЕЙ
СООБЩЕНИЯ» в г. КРАСНОЯРСКЕ

А.Г. ТУЙГУНОВА

**ОСНОВЫ КОМПЬЮТЕРНОГО ПРОЕКТИРОВАНИЯ И
МОДЕЛИРОВАНИЯ УСТРОЙСТВ ЭЛЕКТРОСНАБЖЕНИЯ**

**Учебно-методическое пособие
для выполнения лабораторных работ**
для студентов очной и заочной форм обучения
специальности 23.05.05 «Системы обеспечения движения поездов»
специализация 1 «Электроснабжение железных дорог»

КРАСНОЯРСК 2018

УДК 681.3:621.331.3

Туйгунова А.Г.

Основы компьютерного проектирования и моделирования устройств электроснабжения: Учебно-методическое пособие для выполнения лабораторных работ. – Красноярск: КрИЖТ ИрГУПС, 2018. – 82 с.

Учебно-методическое пособие для выполнения лабораторных работ по дисциплине «Основы компьютерного проектирования и моделирования устройств электроснабжения» для студентов очной и заочной форм обучения специальности 23.05.05 «Системы обеспечения движения поездов» специализация 1 «Электроснабжение железных дорог» и соответствуют рабочей программе курса. В пособии изложены основные теоретические сведения об элементах имитационного моделирования, выполнение тягового расчета, приведены примеры использования программы моделирования для решения практических задач, возникающих при проектировании и электрификации расчетного участка железной дороги и проверки его пропускной способности.

Ил. 60. Табл. 6. Библиогр. 4 назв.

Автор: А.Г. Туйгунова, доцент кафедры «Системы обеспечения движения поездов» КрИЖТ ИрГУПС.

Печатается по решению методического совета Красноярского института железнодорожного транспорта – филиала ФГБОУ ВО «Иркутский государственный университет путей сообщения» в г. Красноярске.

© Красноярский институт железнодорожного транспорта – филиал ФГБОУ ВО «ИрГУПС»

© А.Г. Туйгунова, Красноярск, 2018

Содержание

Введение	4
Общие сведения о программе моделирования	5
Запуск программы и завершение ее работы	6
Цель лабораторного практикума	6
Оформление отчета	7
Выбор варианта лабораторной работы	7
Лабораторная работа №1. Формирование базы данных для тягового расчета. Основные характеристики проектируемого участка	8
Лабораторная работа №2. Формирование имитационной модели расчетного участка. Выполнение тягового расчета	24
Лабораторная работа №3. Формирование имитационной модели расчетного участка. Редактор схем системы тягового электроснабжения	45
Лабораторная работа №4. Расчет пропускной способности участка	55
Лабораторная работа № 5. Расчет пропускной способности участка при использовании методов усиления	68
Лабораторная работа №6. Сравнительный анализ двух систем электрической тяги для расчетного участка	76
Заключение	77
Библиографический список	78
Приложение	79

Введение

Развитие автоматизированного проектирования опирается на научно-техническую базу: современные средства вычислительной техники, новые способы представления и обработки информации, создание новых численных методов решения инженерных задач и оптимизации.

Основы компьютерного проектирования и моделирования устройств электроснабжения железных дорог дают возможность на основе новейших достижений фундаментальных наук отрабатывать и совершенствовать методологию проектирования, стимулировать развитие математической теории проектирования сложных систем и объектов электроснабжения.

Расчеты режимов систем тягового электроснабжения (СТЭ) относятся к классу задач имитационного моделирования и включают следующие этапы:

- моделирование графика движения поездов;
- формирование мгновенных схем и определение потокораспределения для каждой схемы;
- обработка данных по каждой мгновенной схеме для формирования интегральных характеристик работы СТЭ.

Моделирование перемещающихся тяговых нагрузок базируется на графике движения, связывающем координату положения поезда со временем. Величины тяговых нагрузок определяются на основе тяговых расчетов или экспериментально. Обычно тяговые нагрузки задаются величинами токов, однако такой подход недостаточно адекватно описывает физику протекающих процессов. Машинист поезда должен поддерживать заданную скорость движения, т.е. заданную механическую мощность, поэтому изменение напряжения на токоприемнике приводит к необходимости регулирования тока электровоза. Следовательно, задание тяговой нагрузки в качестве потребляемой мощности является более правильным. Задание тяговых нагрузок источниками тока приводит к погрешностям, возрастающим при увеличении отклонений напряжения на токоприемнике электровоза от номинального значения.

Разработанные программные средства расчетов режимов СТЭ ориентированы на детерминированные графики движения поездов.

Учебно-методическое пособие выполнено на основе работы [3].

Общие сведения о программе моделирования

Программа моделирования предназначена для решения на персональных ЭВМ в среде Windows 98/Me/2000/XP различных расчётных задач, связанных с выбором параметров, определением характеристик режимов и нагрузочной способности систем тягового электроснабжения и их отдельных элементов.

Среди новых основных возможностей, реализованных в программе моделирования, можно отметить следующие:

- ✧ определение тяговой нагрузки с учётом рекуперации энергии, а также кратности тяги по отдельным перегонам участка;
- ✧ выполнение электрических расчётов на основе моделирования графика движения поездов различных категорий – пассажирских, грузовых (в том числе повышенной массы), пригородных и др.;
- ✧ расчёт схем питания фидерных зон от нескольких тяговых подстанций при наличии примыкающих участков;
- ✧ учёт реальной схемы подключения фидеров подстанций и постов секционирования к контактной сети при заданном расположении воздушных промежутков.

Программа моделирования имеет гибкую структуру и включает в себя программные модули различного назначения, связанные общими базами данных и способами управления. Набор модулей может пополняться компонентами для решения специфических задач как в области проектирования систем электроснабжения, так и их эксплуатации.

Все данные (файлы), относящиеся, например, к отдельной дороге, дистанции электроснабжения или проекту, располагаются в любой доступной папке (директории) диска и образуют каталог данных. Большинство программ комплекса работает только с фиксированным каталогом, заданным при её запуске. Этот принцип предотвращает “распыление” файлов, используемых одновременно несколькими модулями, по пространству диска.

Каждый модуль программы моделирования предназначен для работы с определёнными типами данных, которые различаются расширением имени файла. В зависимости от выбранного типа данных программа KtMain формирует список файлов в рабочем каталоге и предоставляет возможность запуска необходимого модуля для обработки рабочего файла из указанного списка. Например, в задаче «Расчёты системы переменного тока 27,5 кВ» общие модули используются для редактирования параметров участка, выполнения тяговых расчётов, корректировки их результатов и формирования базового графика движения поездов; специальные программы

предназначены для управления базами данных устройств электроснабжения постоянного тока, построения схем питания участка и выполнения необходимых расчётов этих схем.

Работа программы моделирования строится на основе развитой системы диалога с пользователем. Ход тягового расчета отображается графиками скорости, токов двигателя и электровозов, температуры перегрева обмоток двигателя от пройденного пути с указанием текущего режима ведения поезда. Экранный справочник содержит список клавиш для быстрого переключения между разделами программы.

Запуск программы и завершение её работы

Бесплатную версию программы моделирования студент может получить на сайте интернет [6]. Запуск программы осуществляется из управляющего модуля KtMain или автономно (из среды Windows).

При автономном запуске программы рабочим каталогом по умолчанию становится папка демонстрационных файлов. При работе с файлами допускается изменение рабочего каталога данных.

Если в управляющем модуле выбран рабочий файл тяговой нагрузки, то он открывается непосредственно после запуска программы. Если же рабочий файл не задан или имеет другой тип, то программа переходит в режим ввода новых параметров тяговой нагрузки. Необходимые файлы можно открыть непосредственно в программе.

Для завершения работы программы используется пункт меню «Файл - Выход».

Цель лабораторного практикума

Цель работы - приобретение следующих начальных навыков студентов работы в программе моделирования: формирование базы данных для тягового расчета; выполнение тягового расчета; формирование имитационной модели для систем тягового электроснабжения СТЭ 25 кВ и СТЭ 3 кВ; расчет пропускной способности; применение различных методов усиления слабой межподстанционной зоны, сравнительный анализ двух систем электрической тяги при электрификации расчетного участка.

Оформление отчета

Лабораторные работы выполняются в соответствии с учебной программой дисциплины «Основы компьютерного проектирования и моделирования устройств электроснабжения железных дорог», согласно Федерального государственного образовательного стандарта. Термин «компьютерное моделирование» подразумевает использование ЭВМ при выполнении работы, следовательно, освоение этой дисциплины предполагает, помимо изучения теоретического курса, получение навыков работы с персональным компьютером и соответствующим программным обеспечением, имеющим широкое распространение в профессиональном проектном деле.

При защите студент должен показать следующие навыки работы с ЭВМ в программном моделировании:

- копирование файла с переносного носителя (флеш-накопитель, лазерный диск и др.) на жесткий диск компьютера преподавателя;
- открытие своих файлов и сохранение их в заданных каталогах;
- умение копирования окна модуля программы в документ (*.doc).

По заданию преподавателя студент должен выполнить любую операцию, которая использовалась при проектировании системы тягового электроснабжения для расчетного участка, таким образом, показать свое умение работать в программе моделирования.

Выбор варианта лабораторной работы

В Приложении указаны варианты задания лабораторной работы. Номер варианта выдает преподаватель студенту индивидуально по списку журнала.

В данных методических указаниях указаны часы выполнения каждой лабораторной работы для студентов очного отделения. Для студентов заочной формы обучения на выполнение лабораторных работ предусмотрено меньшее количество часов, поэтому на одном занятии в аудитории студенты выполняют работы в различных редакторах программы моделирования, большую часть работ выполняя самостоятельно (см. рабочую программу для студентов заочной формы обучения).

Лабораторная работа №1. Формирование базы данных для тягового расчета. Основные характеристики проектируемого участка

Цель работы – сформировать основные характеристики проектируемого участка (раздельные пункты, продольный профиль, категории и типы поездов, ограничение скоростей).

Лабораторная работа выполняется 2 часа.

Ознакомиться с программным комплексом можно, загрузив демонстрационную модель (рис.1.1) участка Нечаевская – Жданово.

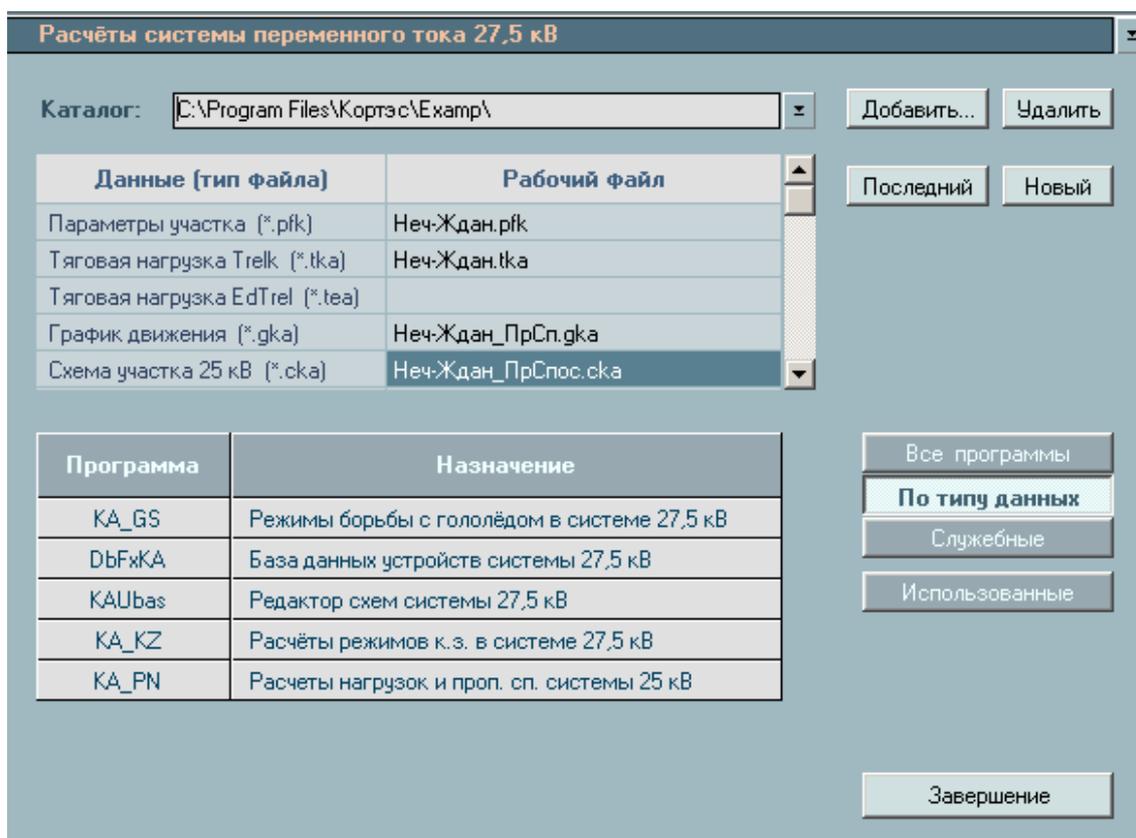


Рисунок 1.1 – Демонстрационная модель участка «Нечаевская – Жданово»

Центр управления (панель данных) (рис.1.2) является основным окном программы моделирования. Служит панель для ввода основных характеристик участка и выбора таблиц для редактирования.

После загрузки демонстрационной модели участка Нечаевская – Жданово необходимо приступить к созданию нового участка, следовательно, нового файла. Для этого в поле «Рабочий файл» щелкнуть на кнопку «Новый» (рис. 1.2).

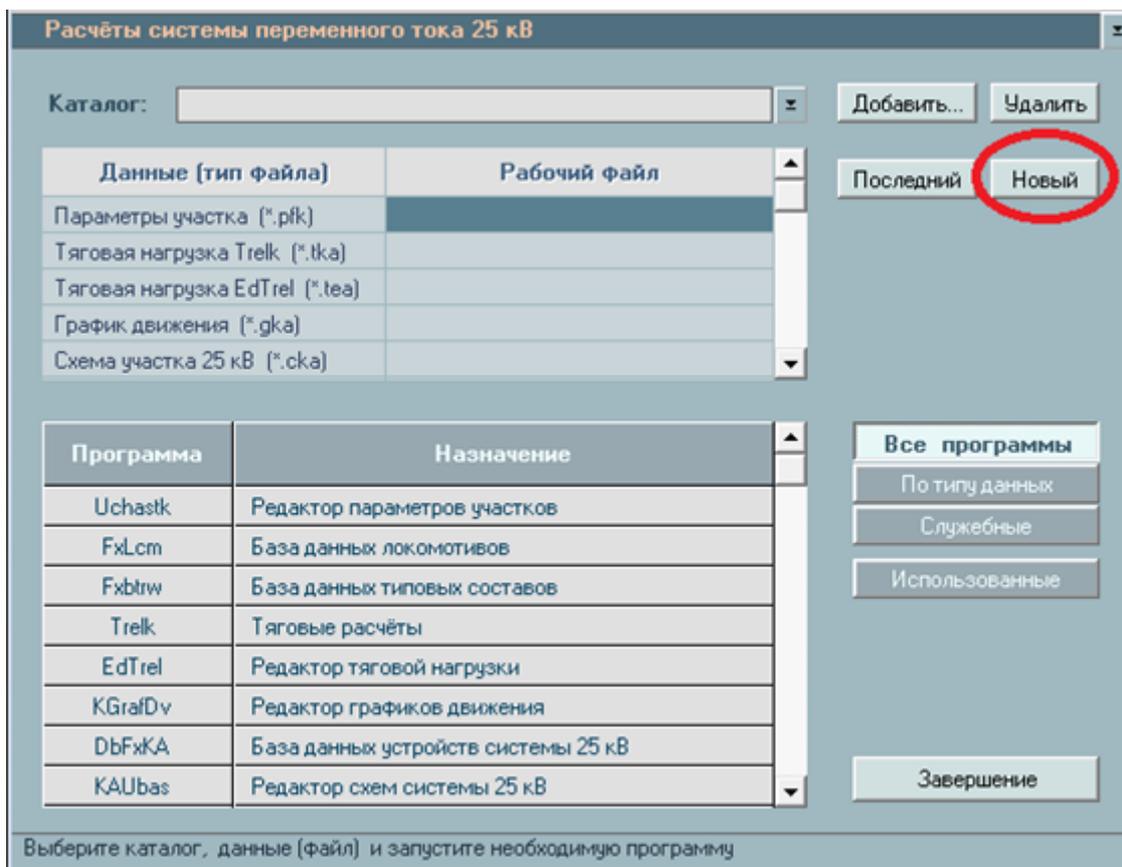


Рисунок 1.2 – Центр управления программой моделирования

Ввод основных характеристик участка осуществляется в модуле Uchastk «Редактор параметров участка». К основным параметрам относятся: число главных путей, названия и координаты расположения отдельных пунктов, спрямленный продольный профиль пути с учётом фиктивных уклонов от кривых, категории и типы обращающихся на участке поездов, ограничения скорости для каждой категории поезда и др. данные.

Перечисленные параметры записываются в двоичный файл типа *.pfk, который затем используется в программах тяговых расчетов и редактирования тяговой нагрузки.

Исходные данные могут быть также преобразованы из файлов предыдущих версий, созданных с помощью программ пакета NORD: TRELX (типа *.pfs) и TRELС (типа *.pfu).

Далее необходимо загрузить программу Uchastk «Редактор параметров участка» (рис. 1.3).

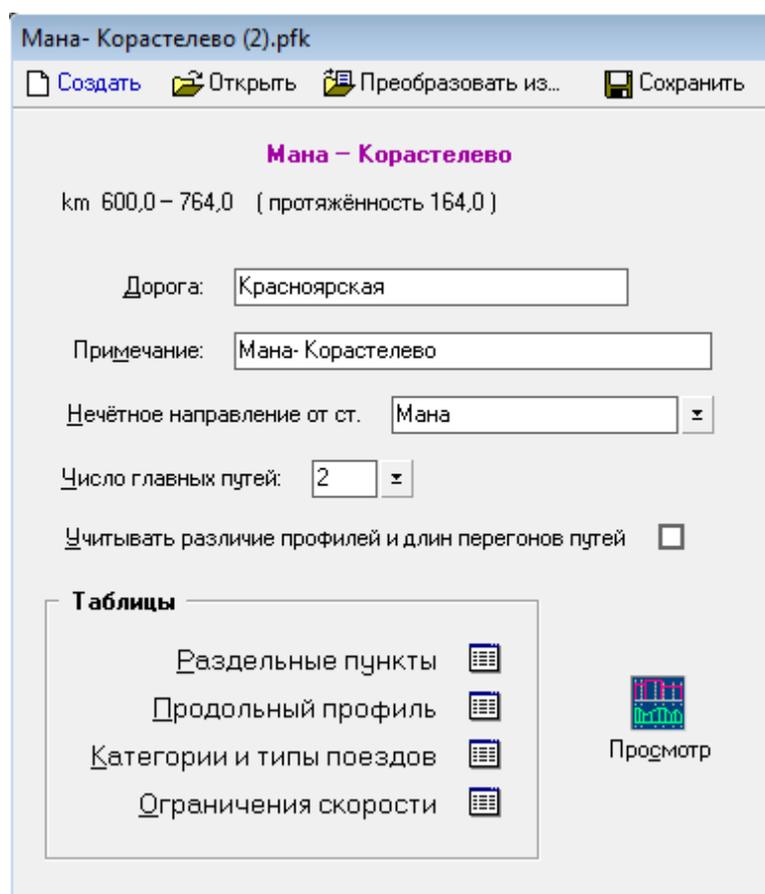


Рисунок 1.3 – Редактор параметров участка

Программа запрашивает следующую информацию:

- 1) наименование дороги, к которой относится участок;
- 2) нечётное направление от ст. – выбирается наименование первой или последней станции согласно данным таблицы модуля «Раздельные пункты». Выбор разрешён только при корректном заполнении этой таблицы;
- 3) «Число главных путей» – по умолчанию принимается равным двум; выбирается из списка в диапазоне значений от 1 до 4;
- 4) «Примечание» – любой текст, указывающий, например наименование расчётного участка;
- 5) «Учитывать различие профилей и длин перегонов путей». Установка флажка позволяет учитывать различие профилей и длин перегонов путей. Флажок следует устанавливать только для участков, на которых:
 - а) существенно отличаются профили путей, расположенных на разных полотнах;
 - б) имеется существенное различие фактических координат отдельных пунктов и их пикетов на плане;

с) наличие фиктивных уклонов от кривых учтено в значениях уклонов продольного профиля отдельно по каждому направлению движения (в т. ч. и на однопутных участках).

Изменение указанных характеристик (кроме наименования дороги и примечания) после ввода или загрузки данных может потребовать значительной корректировки таблиц параметров участка, о чём выдаётся соответствующее предупреждение.

Выбор таблиц для редактирования осуществляется с помощью “всплывающих” кнопок в нижней части Панели данных.

При корректно введённых параметрах, значок на соответствующей кнопке принимает вид заполненной таблицы (рис. 1.4, а), в противном случае, а также при необходимости повторной проверки параметров, отображается знак вопроса (рис. 1.4, б).

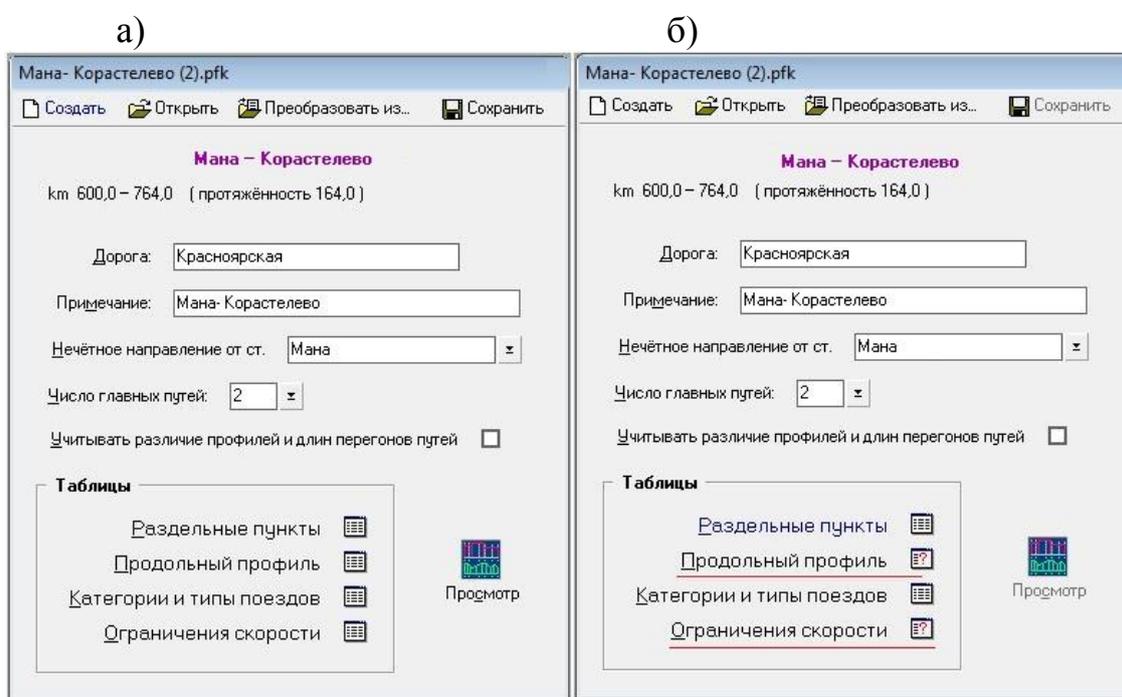


Рисунок 1.4 – Окно параметров участка: а) пример правильного заполнения, б) пример неправильного заполнения параметров участка

Доступ к таблице продольного профиля разрешён при наличии данных по отдельным пунктам, а к таблице ограничений скорости – после ввода категорий и типов поездов.

В правой нижней части Панели данных находится кнопка Просмотр, которая открывает окно отображения отдельных пунктов, рельефа пути и ограничений скорости по категориям поездов и направлениям движения (четное и нечетное).

Для ввода основных характеристик расчетного участка необходимо выбрать «Новый» (верхняя часть окна Центра

управления), щелкнув мышкой в поле «Рабочий файл». При этом загрузятся новые (не демонстрационные) модули: Параметры участка (*.pfk), Тяговая нагрузка Trelk (*.tka), График движения (*.gka), Схема участка (*.ска).

Далее переходим к выбору основных характеристик участка.

Раздельные пункты. Таблица модуля «Раздельные пункты» служит для ввода (редактирования) списка раздельных пунктов и их характеристик (рис. 1.5).

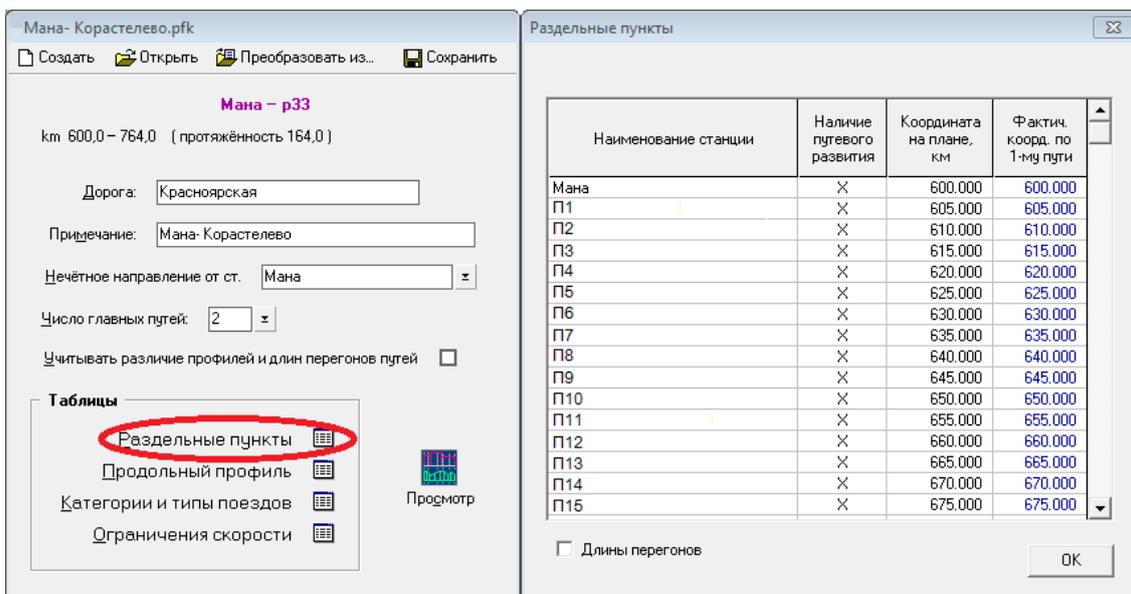


Рисунок 1.5 – Окно редактирования списка раздельных пунктов в соответствии с координатами на плане

Раздельные пункты вводят последовательно в четном и нечетном направлениях (при условии, если продольный профиль в направлениях различен). Таблица должна содержать не менее двух и не более 60 станций. Рекомендуется вводить только те раздельные пункты, на которых предусмотрены остановки поездов, а также разрешены их обгон и скрещение. Общая длина участка по граничным фактическим координатам не должна превышать 320 км. При отсутствии названия станции ее наименование принимается по номеру километра на плане, например, «1234-й км».

К основным характеристикам раздельных пунктов относятся:

- «Наименование станции» – строка до 24 символов. Одинаковые названия (без различия строчных и прописных букв) не допускаются;
- «Наличие путевого развития» – признак «X», который служит для определения возможности обгона и скрещения поездов при построении графика движения. Устанавливается/снимается двойным щелчком мыши или клавишей «Enter»;

- «Координата на плане, км» – число от -500 до 9999 км. Значения для двух первых станций в таблице определяют ход километров на участке. Координаты остальных станций должны соответствовать этому ходу. По умолчанию принимается, что значения возрастают в направлении от начала к концу участка;

- «Фактич. коорд. по 1-му пути» – фактическая координата по 1-му пути – определяет истинные расстояния между отдельными пунктами. Если на Панели данных флажок учёта различия профилей и длин перегонов путей не установлен, то фактическая координата приравнивается к координате на плане и не редактируется. Если указанный флажок установлен, то допускается редактирование значений фактических координат по каждому пути, причём количество колонок в таблице для этих координат соответствует введённому числу главных путей.

Для копирования значения фактической координаты из предыдущей колонки необходимо очистить соответствующую ячейку (дважды нажав клавишу (кл.) <← Backspace>) и завершить её редактирование кл. <Enter>.

При наличии в таблице двух и более строк появляется возможность редактирования длин перегонов участка.

После установки соответствующего флажка (под таблицей слева) в колонке вместо фактической координаты указывается длина перегона, следующего за отдельным пунктом (по каждому пути, если учитывается различие их профилей). В последней строке колонки после знака «=» приводится общая длина участка.

В данном режиме таблицы допускается только редактирование значений параметров и добавление строк правой кнопкой мыши. Удаление строки производится кл. <Esc>. При изменении координаты на плане соответственно изменяются значения длин двух смежных перегонов, а при изменении длины перегона – координаты следующих отдельных пунктов.

Перед добавлением новой строки рекомендуется сначала вместо общей длины участка ввести расстояние до нового отдельного пункта, что обеспечит автоматический ввод его координаты на плане.

Перед закрытием таблицы (кнопкой (кн.) [OK] или клавишей (кл.) <Esc>) производится контроль параметров.

После внесения изменений в параметры отдельных пунктов потребуется проверка таблиц профиля и ограничений скорости.

Продольный профиль. Окно параметров продольного профиля участка модуля «Профиль» содержит меню «Правка», поле выбора «Типа пути» («Бесстыковой», «Звеньевой») и таблицу для редактирования значений характеристик элементов профиля

При учёте различия профилей путей параметры заполняются для каждого пути отдельно. Выбор номера пути осуществляется специальными кнопками, которые в данном режиме находятся над таблицей (рис. 1.6).

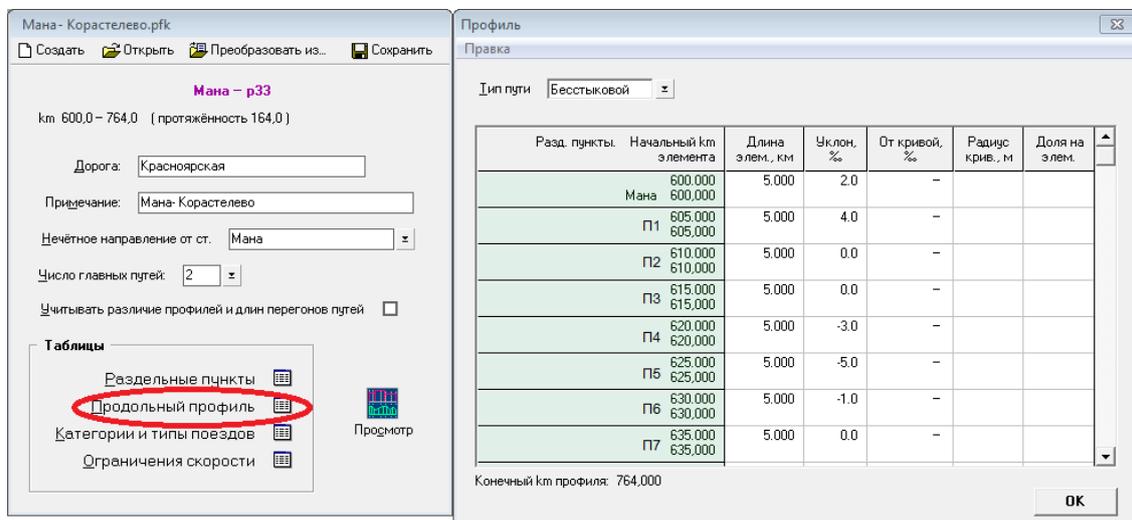


Рисунок 1.6 – Окно редактирования модуля «Продольный профиль»

В таблице модуля «Профиль» имеются следующие характеристики элементов профиля (до 1500 строк):

- «Разд. пункты. Начальн. km элемента» – указывается начальная координата элемента, вычисленная, исходя из суммы длин предыдущих элементов с учётом принятого хода километров. Если на данном элементе находится ось отдельного пункта, то указывается также его наименование и фактическая координата. При наличии нескольких отдельных пунктов на элементе отображается только последний из них. Значения в колонке не редактируются, но изменяются автоматически при корректировке длин элементов.

В первом столбце таблицы профиля участка автоматически указываются начальные пикеты элементов, а также координаты отдельных пунктов, если они расположены на данном элементе:

- «Длина элемента, км» – положительное значение в километрах;
- «Уклон» – в пределах $-30 \dots 30 \%$. Отрицательные значения соответствуют спускам;
- «От кривой» – эквивалентный уклон от кривых на данном элементе ($0 \dots 4,0 \%$). Вводится непосредственно либо рассчитывается по данным из следующих колонок;
- «Радиус крив.» – радиус кривой в метрах. Может быть равен нулю либо по абсолютному значению находится в пределах $300 \dots 50000 \text{ м}$;

универсальном формате, пригодном для переноса данных в другие документы, например, на лист Excel;

✧ «Вставить копию перед выделенной строкой» – содержимое буфера обмена помещается перед выделенной строкой, начиная со столбца «Длина элем.» Если в буфере содержится больше строк, чем имеется свободных в таблице, то “лишние” строки отсекаются, о чём выдаётся соответствующее предупреждение. Данный пункт блокируется при целиком заполненной или пустой таблице;

✧ «Добавить копию в конец таблицы» – то же, что выше, но данные помещаются за последней строкой или заполняют пустую таблицу;

✧ «Удалить выделенные строки» – при удалении первых строк таблицы начальный km профиля переносится к координате первого оставшегося элемента. При удалении промежуточных и последних строк точка отсчёта профиля сохраняется;

✧ «Скопировать из таблицы профиля...» – пункт доступен только при учёте различия профилей путей. Производится замещение всей текущей таблицы значениями из таблицы (не пустой) другого пути, выбранного из соответствующего подпункта меню;

✧ «Переместить профиль к началу участка» – точка отсчёта всего профиля переносится к координате первого отдельного пункта; «Искл. элементы / изм. длину до начала уч-ка» – удаляются элементы или их части между точкой отсчёта профиля и координатой первого отдельного пункта. Координаты остальных элементов не изменяются;

✧ «Искл. элементы / изм. длину за концом уч-ка» – удаляются все элементы за координатой последнего отдельного пункта;

✧ «Отменить» – восстанавливается исходный вариант таблицы, сохранённый перед последним закрытием данного окна или переходом к другому пути.

Выход из таблицы осуществляется кн. [ОК] или кл. <Esc>. При этом производится проверка параметров на допустимость значений. Определяется корректность построения профиля: его начальная и конечная координаты должны совпадать с пикетами соответственно первого и последнего отдельных пунктов. При невыполнении этих условий выдаются рекомендации по редактированию таблицы.

На каждом элементе участка (задание согласно табл.1.0) задаёте уклон, эквивалентный уклон от кривой, радиус кривой.

Категории и типы поездов. Категорией называется группа поездов, имеющих общий набор ограничений скоростей, заданный приоритет пропуска при формировании графика движения и базовую

массу, для которой выполняется тяговый расчет. Максимальное число категорий - 6.

Типы поездов для каждой категории и направления движения задаются таблицами масс составов, характерных для данного участка. Эти таблицы используются в других программах для ускорения ввода параметров поездов.

Список категорий находится в окне модуля «Категории и типы поездов» слева (рис. 1.8).

Наименования категорий следует вводить в порядке убывания приоритета пропуска поездов в графике движения. Поезд, находящийся в начале списка, имеет большее преимущество (приоритет) при проследовании отдельных пунктов.

С помощью кнопок со стрелками (под списком) можно изменить положение выделенной категории и, следовательно, её приоритет. При этом связанная с данной категорией таблица ограничений скоростей сохранится.

При добавлении (удалении) строки списка появятся (исчезнут) соответствующие разделы таблиц типов поездов, а также ограничений скоростей.

При заданном числе главных путей, большем двух, и при учёте различия их профилей допускается введение специализации путей. Для каждой категории поездов можно выбрать из списка номера путей следования.

Если после установленной ранее специализации путей учёт различия профилей был отменён, то для категорий поездов, которые предполагалось пропускать по 3-му и 4-му путям, необходимо ввести допустимые пути следования (вместо не опр.).

В таблицу (рис. 1.8, окно справа) для всех категорий поездов, кроме пригородных (содержащих в наименовании буквосочетание «Приг.»), необходимо ввести одно или более значений масс составов в нечётном и чётном направлениях движения. Допустимые значения масс от 200 до 30000т.

Массы поездов по их типам задаются преподавателем согласно табл. 1.0.

Для выхода из раздела используйте кн. [OK] или кл. <Esc>. После внесения изменений в список категорий потребуется проверка или корректировка таблицы ограничений скоростей.

Для редактирования выделенных ячеек таблицы можно воспользоваться меню «Правка масс», в котором имеются стандартные пункты: «Очистить», «Вырезать», «Копировать», «Вставить» и «Отменить» с помощью правой кнопки мыши.

Заполните таблицу выбора категорий и типа поездов на расчетном участке (табл. 1.1).

Таблица 1.0 – Массы поездов по их типам

№ п/п	Типы поездов	Массы поездов, т
1	Пассажирский	1000 – 1600
2	Грузовой	3200 – 3600
3	Грузовой (тяжеловесный)	5400 – 9000

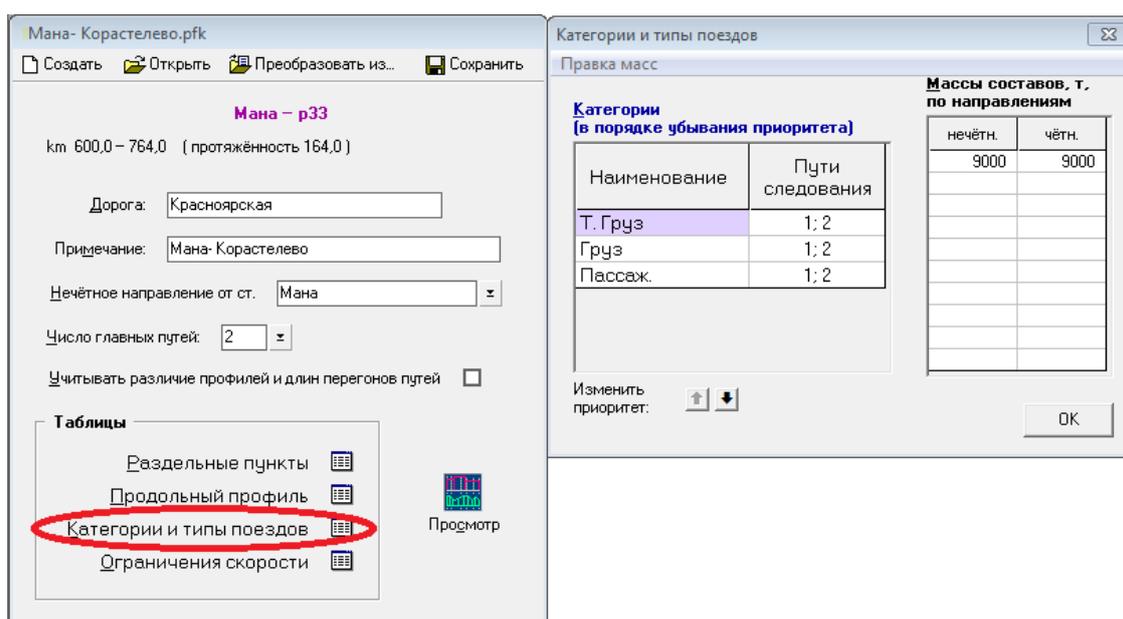


Рисунок 1.8 – Окно редактирования «Категории и типы поездов»

Ограничение скорости. Этот раздел открывает таблицу максимально допустимых скоростей движения поездов каждой отдельной категории на заданных участках в нечётном и чётном направлениях. Категории выбирают из списка слева от таблицы, а направления – с помощью кнопок над списком (рис.1.9).

Список категорий поездов готовится в соответствующем разделе и здесь не редактируется.

Участки ограничений скорости (максимальное количество 150) задают начальными фактическими координатами (km) последовательно по ходу движения поезда. Начало первого участка автоматически устанавливается на оси начального (по ходу движения) раздельного пункта. Концом любого участка является начало следующего участка или ось конечного пункта движения.

Для каждого участка вводят значение допустимой скорости движения в диапазоне 5 ... 200 км/ч.

Таблица 1.1 – Категории и типы поездов расчетного участка

Тип поезда	Массы поездов по направлению, т	
	в нечетном	в четном
Пассажирский		
Грузовой		
Грузовой (тяжеловесный)		

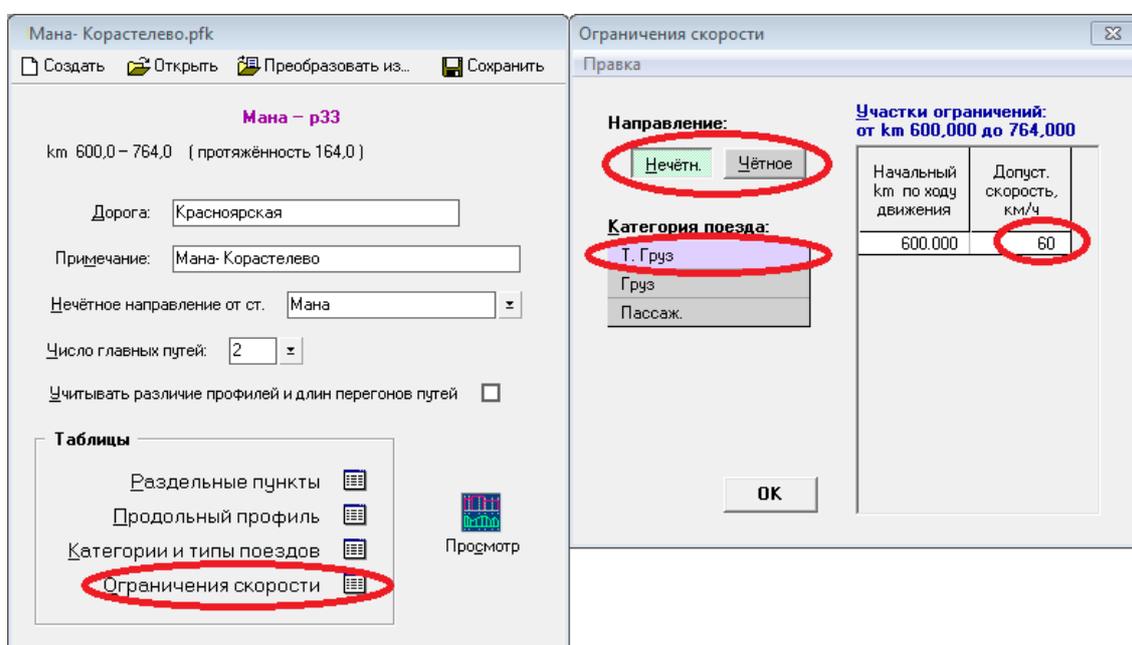


Рисунок 1.9 – Вид таблицы модуля «Ограничения скорости»

Допустимые скорости поездов по их типам задаются из табл.1.2.

Таблица 1.2 – Ограничение скорости по типу поездов

№ п/п	Типы поездов	Скорость, км/ч
1	Пассажирский	90-110
2	Грузовой	60-70
3	Грузовой (тяжеловесный)	60-70

В графе «Скорость, км/ч» указан допустимый диапазон скорости для выбранного направления движения. При отсутствии предупреждений об ограничении скоростей таблица должна содержать одну строку с заданной допустимой скоростью на всем участке.

Меню «Правка» служит для автоматизации заполнения таблицы (рис. 1.10).

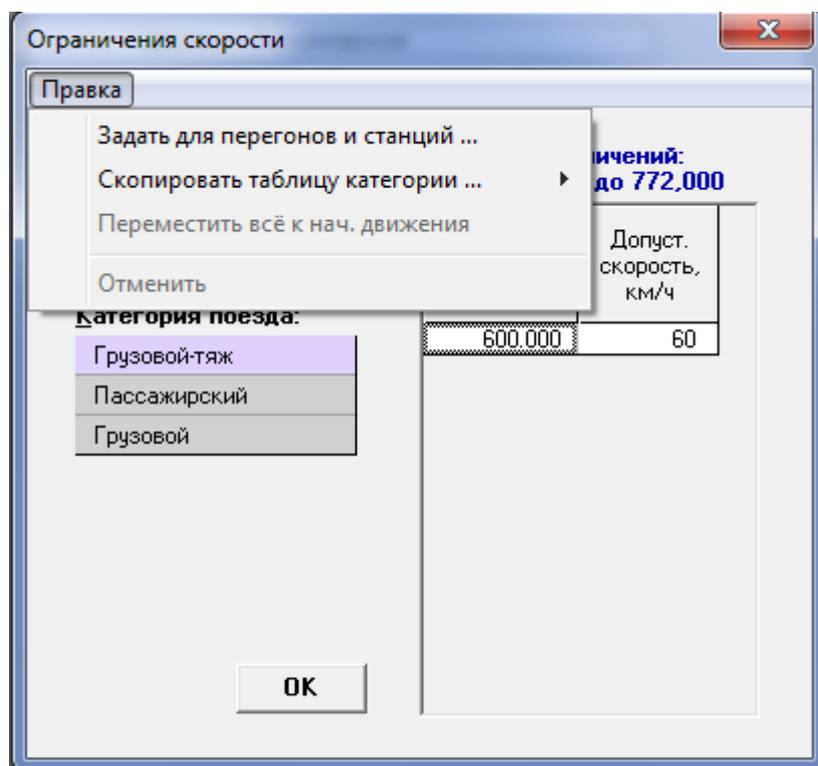


Рисунок 1.10 – Меню «Правка» в окне «Ограничение скорости»

В нём имеются следующие пункты:

✧ «Задать для перегонов и станций ...» – открывается вспомогательная панель ввода значений допустимых скоростей для всех перегонов и отдельных пунктов;

✧ «Скопировать таблицу категории ...» – предоставляется возможность копирования всех значений из таблицы для другой категории данного направления;

✧ «Переместить всё к нач. движения» – начальный пикет первого участка ограничения скорости переносится к координате первого по ходу движения отдельного пункта при сохранении длин остальных участков;

✧ «Отменить» – восстанавливается исходный вариант таблицы, сохранённый перед последним закрытием данного окна либо выбором другого направления или категории.

Просмотр участка. С помощью кнопки Просмотр на панели данных открывается окно визуального контроля параметров участка (рис. 1.11).

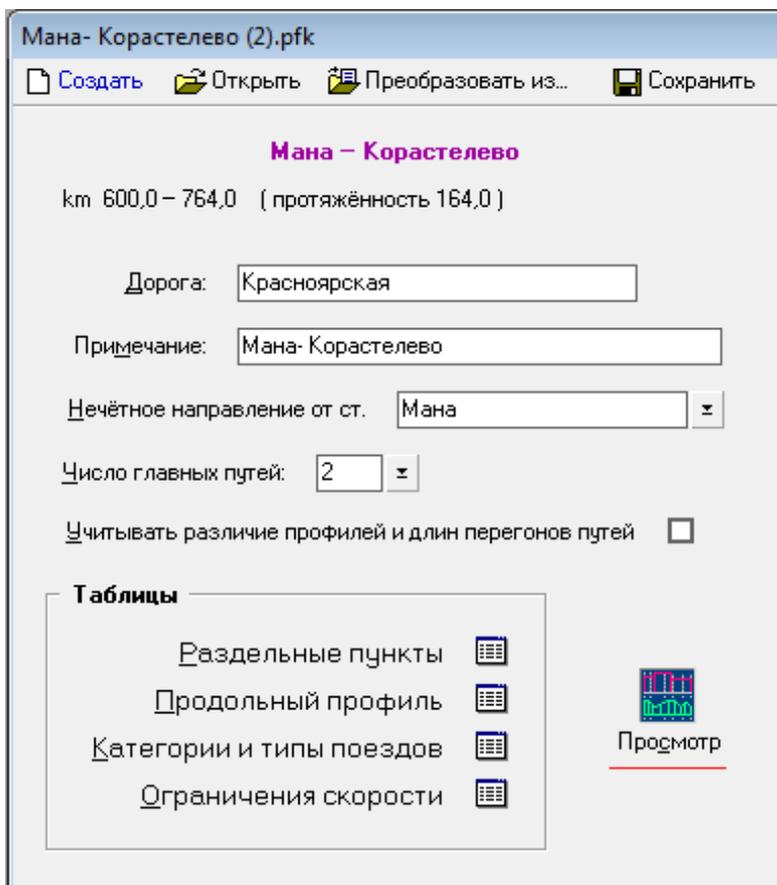


Рисунок 1.11 – Активная кнопка «Просмотр» для просмотра профиля пути

Эта кнопка становится доступной после корректного заполнения таблиц данных модуля «Раздельных пунктов», «Продольного профиля», «Категории и типы поездов».

В окне отображается линейка километража участка, названия и координаты раздельных пунктов, продольный профиль (в виде рельефа), значения фиктивных уклонов от кривых и участки ограничения скорости.

Кнопки [+] и [-] в правом нижнем углу окна (или те же клавиши в правой части клавиатуры) служат для изменения горизонтального масштаба картины. Например, для показа значений уклонов элементов малой протяженности следует увеличить изображение (кн. или кл. [+]).

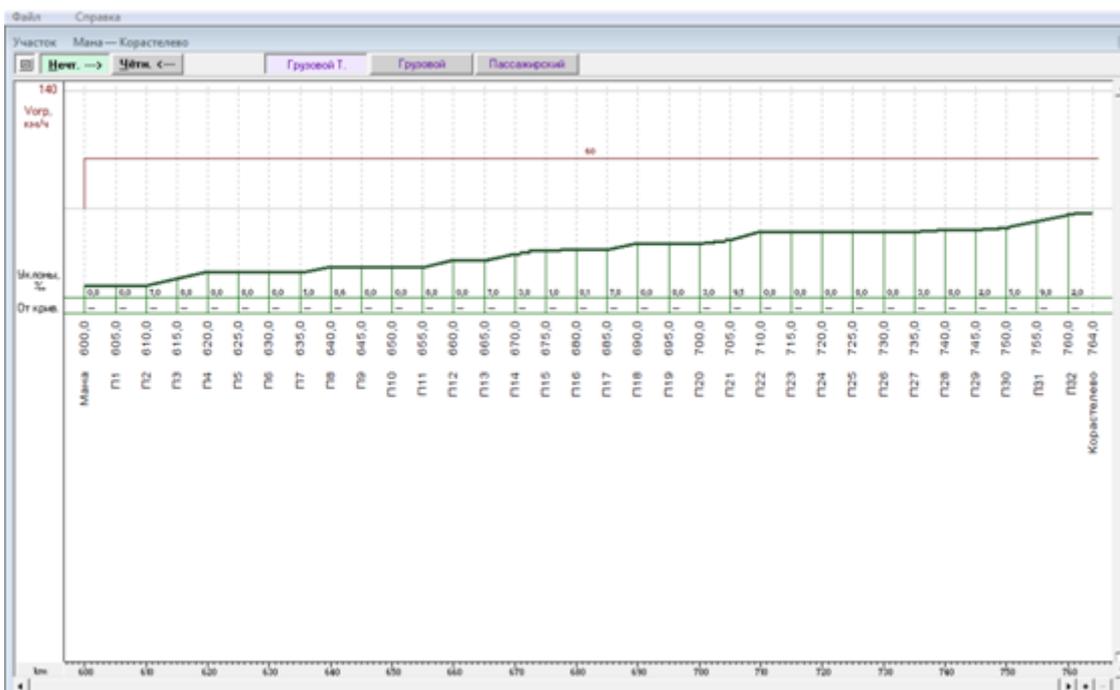


Рисунок 1.12 – Окно просмотра данных участка

В верхней части окна расположены кнопки выбора направления движения и категории поездов.

Данное окно предоставляет возможность быстрого перехода к редактированию параметров участка. Щелчком мыши по элементу рельефа открывается таблица Продольного профиля и в ней выделяется соответствующая ячейка.

То же относится и к участкам ограничений скорости, если соответствующая таблица заполнена корректно.

Для проверки правильности формирования базы данных для тягового расчета необходимо в главном окне «Пульт управления» открыть в меню «Рабочий файл» -«Параметры участка» созданный файл (*.pfk).

Для каждой из категории поездов и направления движения с учетом допустимой скорости движения, продольного профиля пути выполните «Просмотр» заданного участка.

Контрольные вопросы

1. Какие расчеты выполняются в программе моделирования?
2. Назовите основные характеристики отдельных пунктов.
3. Назовите характеристики элементов профиля.
4. Какие типы поездов используются в работе?
5. Как вводятся наименования категорий поездов в графике движения?

6. Как задают ограничение скоростей на расчетном участке?
7. Какие допустимые скорости поездов по их типам используются в работе?
8. Как осуществляется ведение поезда по выбранному направлению?
9. От каких параметров зависит режим ведения поезда?
10. Какой профиль используется при проведении расчетов в лабораторной работе?

Лабораторная работа №2. Формирование имитационной модели расчетного участка. Выполнение тягового расчета

Цель работы – выполнение тягового расчета для каждого типа поезда, расчет тяговой нагрузки, формирование графика движения поездов.

Лабораторная работа выполняется 4 часа.

Сформировав базу данных, необходимо выполнить тяговый расчет. Тяговые расчёты являются прикладной частью теории тяги поездов и позволяют решать многочисленные практические задачи, возникающие при проектировании и эксплуатации железных дорог.

К числу важнейших задач относятся: определение массы грузовых составов при заданном типе локомотива в соответствии с профилем, скоростью движения и временем хода по участкам и отдельным перегонам; определение необходимых параметров локомотива для обеспечения заданной пропускной и провозной способности участка; составление графика движения поездов – основного документа работы железнодорожного транспорта; выбор наиболее рационального размещения станций, остановочных и отдельных пунктов при проектировании железных дорог; определение параметров системы энергоснабжения при электрификации железной дороги: размещение тяговых подстанций и определение их мощности, расчёт тяговой сети и другое.

На железнодорожном транспорте России методы производства тяговых расчётов и необходимые для их выполнения нормативы регламентируются Правилами тяговых расчётов (ПТР) для поездной работы. В настоящее время тяговые расчёты выполняются преимущественно на ЭВМ по имеющимся программам в банках ВЦ. Однако для математической формулировки задач необходимо понимать физическую сущность явлений, сопровождающих процесс движения поезда, и знать основные приёмы и способы тяговых расчётов.

Основными исходными данными для расчетов являются сокращенный (спрямленный) продольный профиль участка, расположение отдельных пунктов, тип пути (звеньевой или бесстыковой) и таблица ограничений скорости в прямом и обратном направлениях движения. Эти данные вводятся непосредственно в ходе работы модуля программы Trell «Тяговый расчет» и могут быть сохранены на диске.

К расчетным параметрам поезда относятся тип состава и серия локомотива, которые вводятся из постоянной базы данных

подвижного состава. Кратность тяги, масса и длина состава корректируются перед выполнением расчета.

Ведение поезда по заданному направлению осуществляется согласно уставкам регулирования скорости, выбираемых автоматически в зависимости от уклона текущего элемента профиля и ограничения скорости. Режим ведения поезда выбирается в соответствии с заданными параметрами движения (начальная скорость, напряжение в контактной сети, максимальная позиция контроллера, шаг изменения позиций и пр.). Имеется возможность перехода на ручное управление движением поезда.

Далее выполняется тяговый расчет. Для этого загрузите модуль Trelk «Тяговый расчет» (рис. 2.0)

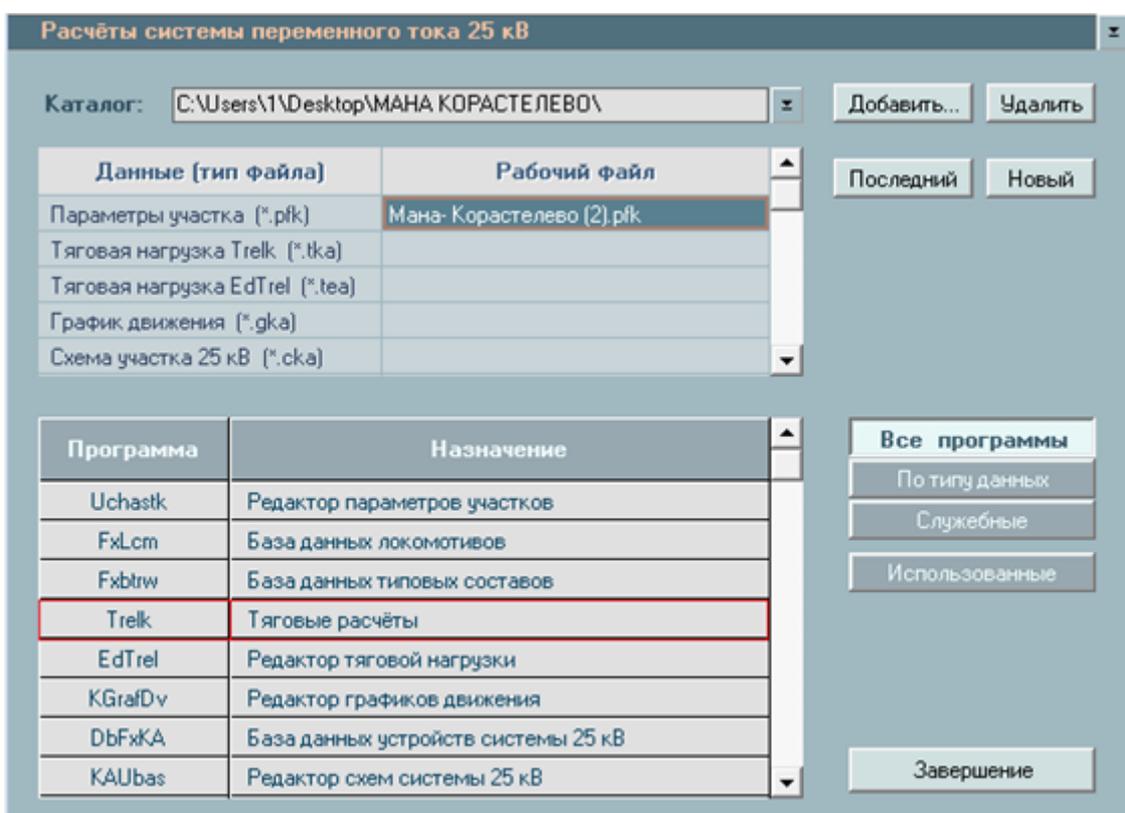


Рисунок 2.0 – Модуль «Тяговый расчет»

Программа моделирования предусматривает выполнение тягового расчета и тяговой нагрузки в два этапа следующими модулями:

1) Использование программы Trelk для выполнения тяговых расчётов. В этом случае требуется:

а) проверить в базе данных наличие параметров необходимых локомотивов и основных составов поездов, используя соответствующие программы FxLcm, FxBtrw. При отсутствии

указанных параметров их можно с помощью этих же программ преобразовать из соответствующих каталогов пакета TRELX (NORD);

б) с помощью программы Uchastk создать (или импортировать из NORD) файл участка, содержащий список отдельных пунктов, данные о профиле, категориях поездов и об ограничениях скорости;

в) в программе KtMain из списка Данные (тип файла) выбрать Параметры участка (*.pfk), а в качестве Рабочего файла – тот, который был создан Вами в программе Uchastk;

г) запустить программу тяговых расчётов Trelk, выбрать локомотив соответствующего рода тока, открыть Задание на расчёт для графика движения и выполнить расчёты для всех вариантов исходных данных по категориям поездов и направлениям движения; выбрать необходимый период усреднения тока и сохранить файл тяговой нагрузки. Заданный период усреднения тока тяговой нагрузки будет использован в качестве шага моделирования графика движения при электрических расчётах.

2) Использование программы EdTrel для создания файла тяговой нагрузки. Эта программа позволяет преобразовать в требуемую форму результаты опытных поездок либо тяговых расчётов, выполненных как программой TRELX пакета NORD, так и по программам сторонних производителей. Кроме того, тяговую нагрузку можно задать упрощённо в виде отрезков пути, на которых скорость и ток поезда принимаются неизменными.

При этом можете использовать параметры уже имеющегося участка, подготовленные программой Uchastk, для этого требуется выполнить пункты б) и в), либо сформировать параметры участка непосредственно в процессе ввода данных тяговой нагрузки. В этом случае следует отменить автозагрузку текущего рабочего файла *.pfk с помощью кнопки [Новый].

Далее запустите программу EdTrel, выберите требуемый род тока тяговой нагрузки, задайте период усреднения тока и выполните необходимые действия в соответствии с инструкцией к этой программе. Сохраните файл тяговой нагрузки.

Введите следующие расчетные данные: категорию поезда (грузовой (тяжеловесный), пассажирский, грузовой); тип локомотива и число секций; массу состава и поезда.

Например, выполните расчет для грузового поезда в нечетном направлении, выбрав тип локомотива, число секций, массу состава, массу поезда. Нажмите кн. [Выполнить<F8>] (рис.2.1); получите для этого поезда и направления движения графики тока и также скоростное ограничение в соответствии с профилем пути.

Расчетные данные измените для каждого типа поезда: пассажирского и грузового (тяжеловесного). Выполните тяговый расчет для каждого типа поезда в нечетном направлении.

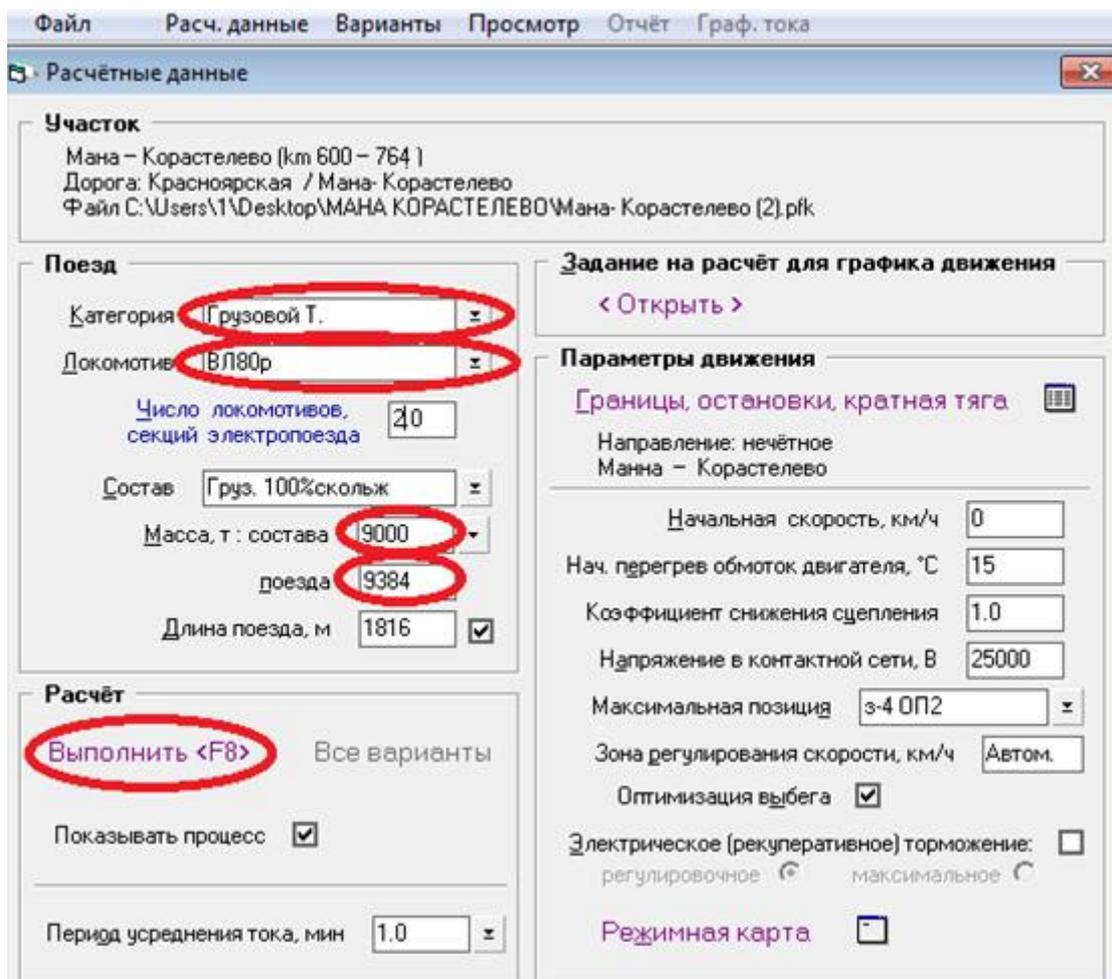


Рисунок 2.1 – Окно редактирования «Расчетные данные»

Нажмите кнопку «Отчет» (рис. 2.2) и получите отчет тягового расчета «Отчет о поездке» (рис. 2.3). В нём представлены основные параметры поезда - удельный расход электроэнергии за время хода поезда по участку, максимальные значения тока поезда и температуры перегрева обмоток двигателя, техническая скорость – а также таблица перегонных времен хода и расхода энергии с отметкой (*) наличия остановки в конце перегона или её продолжительности. В последней строке таблицы содержатся итоговые значения результатов по всему участку движения. Далее нажимаем кнопку [Таблица LVI] (рис. 2.4) и получаем зависимости от времени координаты поезда L , скорости V , полного I , и активного I_a токов поезда с заранее заданным периодом усреднения. Сохраните отчет.

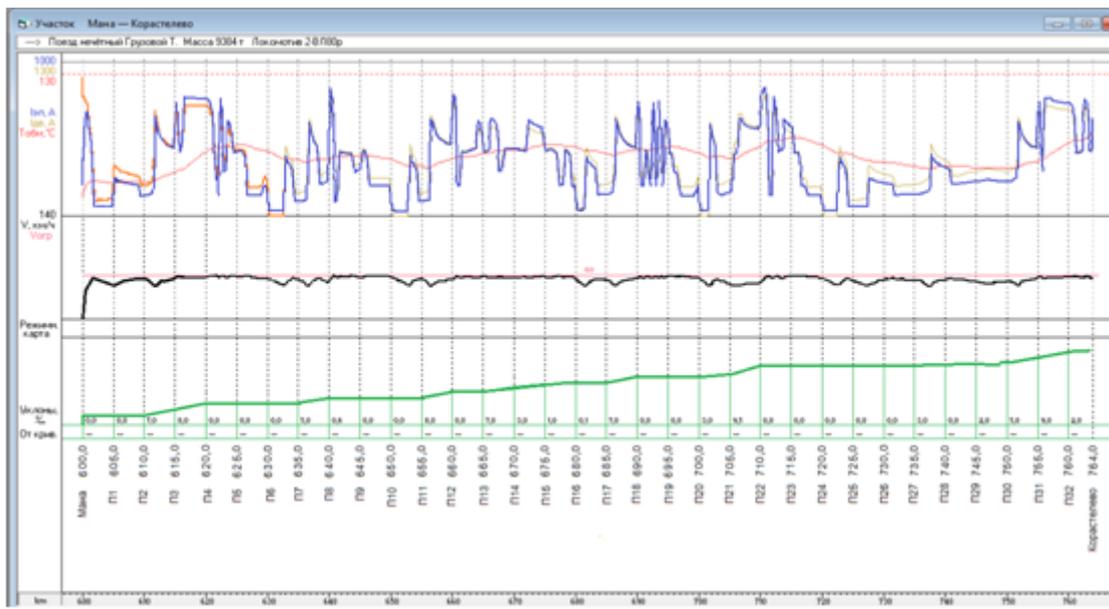


Рисунок 2.2 – Окно просмотра результатов тягового расчета

Отчёт о поездке

Полный Таблица LVI Разделитель

П3 - П4	5,0	5,3	5,3	1232,9	1553,3
П4 - П5	5,0	5,2	5,2	887,6	1103,5
П5 - П6	5,0	5,3	5,3	413,3	508,8
П6 - П7	5,0	5,8	2,8	278,5	340,8
П7 - П8	5,0	5,8	5,8	559,6	695,3
П8 - П9	5,0	5,3	5,3	715,8	882,0
П9 - П10	5,0	5,2	5,2	435,3	541,3
П10 - П11	5,0	5,8	2,6	274,3	335,2
П11 - П12	5,0	5,9	5,9	804,7	991,1
П12 - П13	5,0	5,3	5,3	822,8	1015,8
П13 - П14	5,0	5,3	5,3	828,8	1017,2
П14 - П15	5,0	5,3	5,3	921,7	1134,7
П15 - П16	5,0	5,3	5,3	622,8	763,9
П16 - П17	5,0	5,8	5,8	370,6	450,3
П17 - П18	5,0	5,8	5,8	801,5	980,8
П18 - П19	5,0	5,3	5,3	746,9	933,7
П19 - П20	5,0	5,2	5,2	380,9	468,3
П20 - П21	5,0	5,9	4,1	398,6	490,0
П21 - П22	5,0	6,3	6,3	1095,3	1344,7
П22 - П23	5,0	5,4	5,4	1023,2	1278,1
П23 - П24	5,0	5,2	5,2	417,2	515,3
П24 - П25	5,0	5,8	2,9	271,6	329,8
П25 - П26	5,0	6,1	6,1	298,0	372,0
П26 - П27	5,0	5,5	5,5	297,7	370,1
П27 - П28	5,0	6,0	6,0	505,8	609,6
П28 - П29	5,0	5,6	5,6	430,2	535,0
П29 - П30	5,0	6,0	6,0	454,0	571,1
П30 - П40	5,0	5,9	5,9	788,1	970,7
П40 - П41	5,0	5,3	5,3	1226,6	1545,8
П41 - Корастелево	4,0	4,2	4,2	796,6	990,4

Мана - Корастелево	164,0	184,3	173,3	20824,8	25783,3

Рисунок 2.3 – Окно просмотра отчета тягового расчета

Отчёт о поездке

Полный Таблица LVI Разделитель

(Полностью таблицу Вы можете записать/добавить в файл или скопировать)

L	Iз	Iа
1,0		
185	6384	
600,11	378	288
600,67	564	452
601,55	41	32
602,43	36	28
603,27	36	28
604,05	131	103
604,86	222	176
605,74	214	170
606,63	213	170
607,52	212	169
608,41	211	168
609,31	210	167
610,22	310	247
611,17	380	303
612,12	381	307
613,07	423	347
614,03	368	302
614,99	334	276
615,94	362	298

Рисунок 2.4 – Таблица LVI

Выполнение тягового расчета в четном направлении. Для каждого типа поезда измените направление движения с «нечетного» на «четное». Для этого необходимо изменить параметры движения в модуле «Границы, остановки, кратная тяга» (рис. 2.5), в нижней части окна нажмите кнопку «Четное» (рис.2.6).

Расчётные данные

Участок
 Мана – Корастелево (км 600 – 764)
 Дорога: Красноярская / Мана- Корастелево
 Файл C:\Users\1\Desktop\МАНА КОРАСТЕЛЕВО\Мана- Корастелево (2).pik #k

Поезд

Категория: Грузовой Т.
 Локомотив: ВЛ80р
 Число локомотивов, секций электропоезда: 2.0
 Состав: Груз. 100%скольж
 Масса, т: состава: 9000
 поезда: 9384
 Длина поезда, м: 1816

Расчёт (№ 1)

Выполнить <F8> Все варианты
 Показывать процесс
 Период усреднения тока, мин: 1.0

Задание на расчёт для графика движения
 < Открыть >

Параметры движения

Границы, остановки, кратная тяга

Направление: нечетное
 Мана – Корастелево

Начальная скорость, км/ч: 0
 Нач. перегрев обмоток двигателя, °C: 15
 Коэффициент снижения сцепления: 1.0
 Напряжение в контактной сети, В: 25000
 Максимальная позиция: з-4 ОП2
 Зона регулирования скорости, км/ч: Автом.
 Оптимизация выбег
 Электрическое (рекуперативное) торможение:
 регулировочное максимальное
 Режимная карта

Рисунок 2.5 – Окно «Границы остановки, кратная тяга»

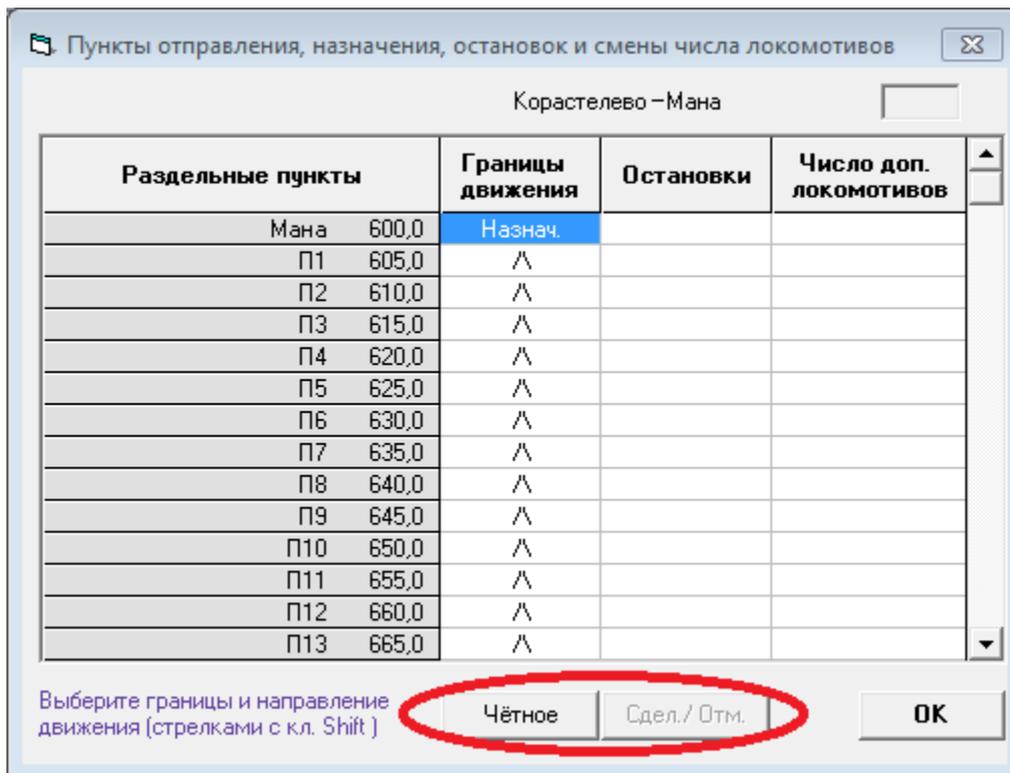


Рисунок 2.6 – Окно для смены направления движения

«Проведите» каждый тип поезда в четном направлении. Выполните аналогичный расчет для грузового (тяжеловесного), пассажирского и грузового поездов (по приоритету) в четном и нечетном направлениях. Сохраните файл с соответствующим расширением*тка.

Вторым этапом расчета является расчет тяговой нагрузки. Данные и параметры остаются прежними; откройте Задание на расчет для графика движения (рис. 2.7) и выполните расчёты для всех вариантов исходных данных по категориям поездов и направлениям движения; выберите необходимый период усреднения тока и сохраните файл тяговой нагрузки. Заданный период усреднения тока тяговой нагрузки будет использован в качестве шага моделирования графика движения при электрических расчётах.

Нажмите кнопкой мыши на первую строчку, сделайте выбор данных, не выходя из модуля, нажмите «Выполнить», после выполнения расчета сохраните в блокноте. Закройте окно (рис. 2.8). Далее поставьте галочку на следующей строке, т.е.«прогоните» поезд в четном направлении. Нажмите кн. «Выбрать», не закрывая окно, измените массу состава. Нажмите кн. «Выбрать» и сохраните.

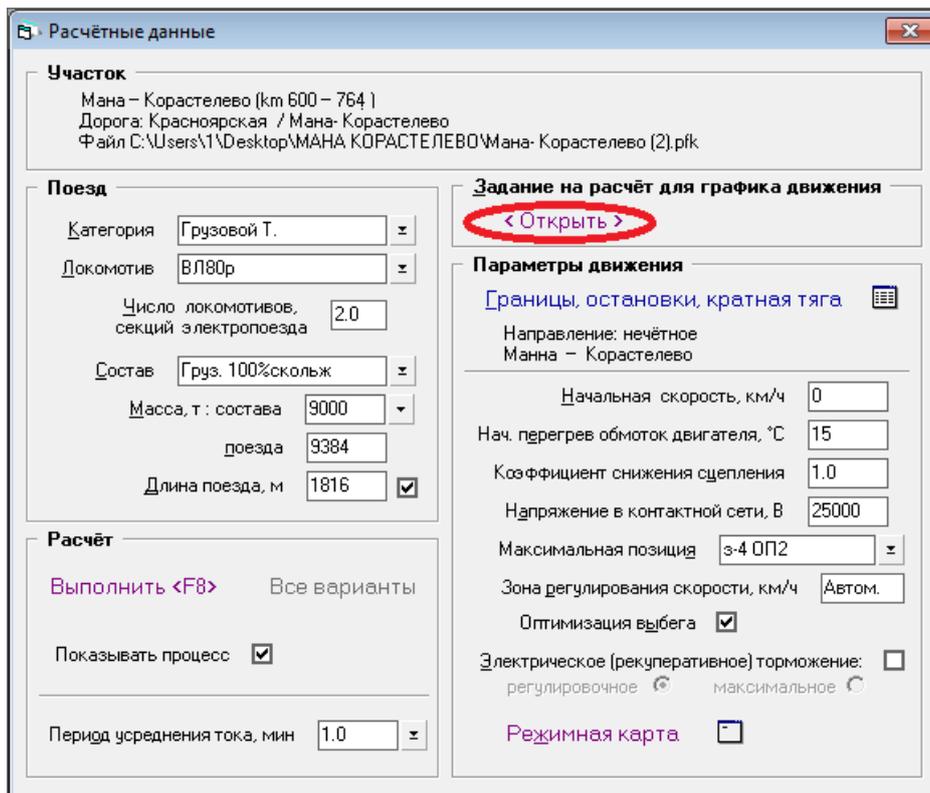


Рисунок 2.7 – Окно «Задание на расчет для графика движения»

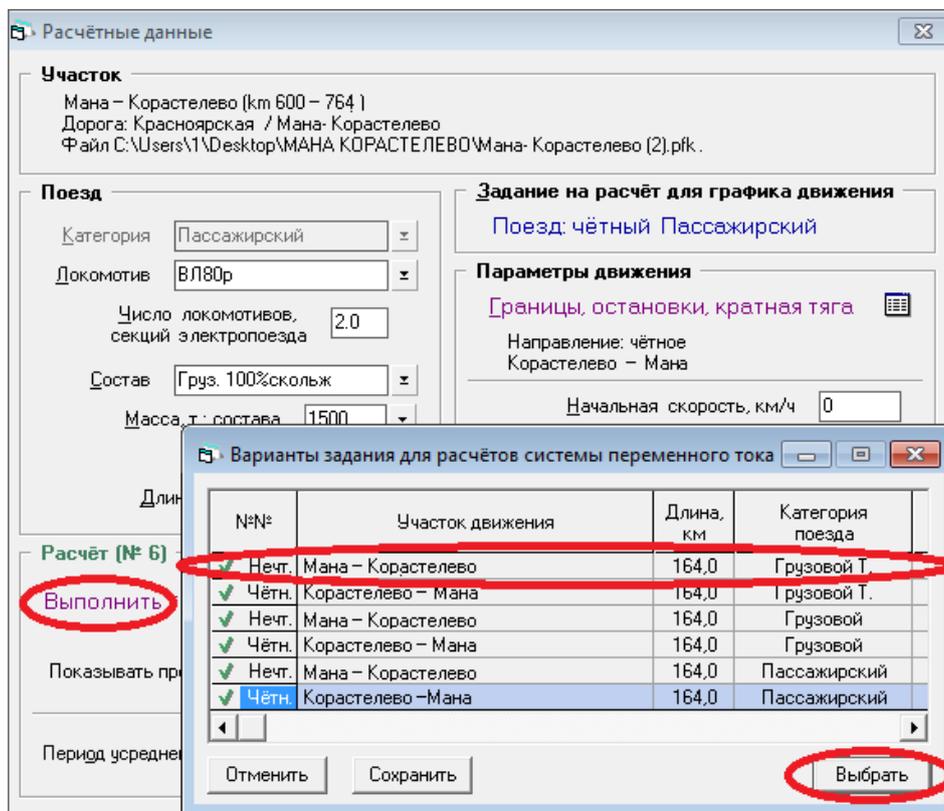


Рисунок 2.8 – Варианты задания для расчетов

Результатами тягового расчета являются перегонные расходы энергии (полные и активные при переменном токе), времена хода(полные и под током), максимальный перегрев обмоток двигателя и ток поезда, а также таблицы зависимостей от времени координат расположения и усредненных за заданный период значений токов поезда.

Сохраняйте только с расширением (*.tka), иначе в дальнейшем расчет не получится.

По окончании всех расчетов сохраните общий тяговый расчет (рис. 2.9).

Выполните просмотр в Центре управления (рис. 2.10).

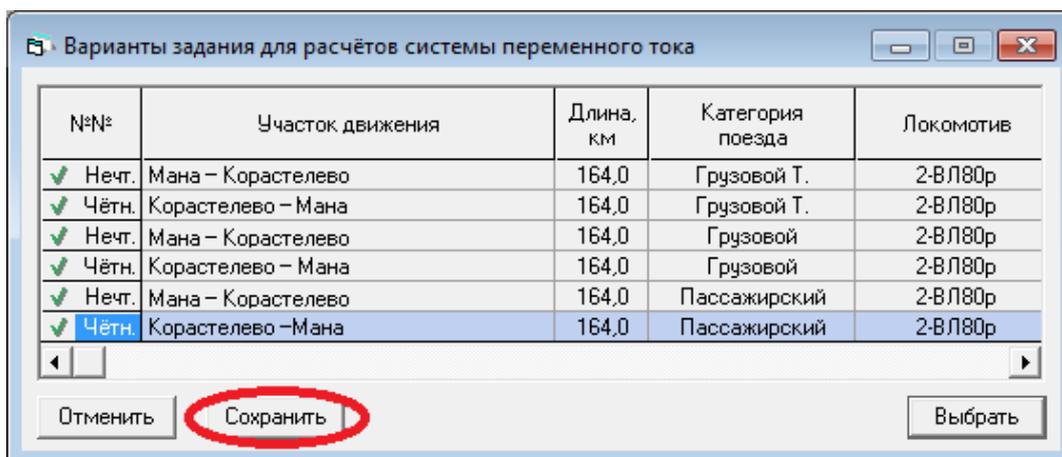


Рисунок 2.9 – Пример сохранения тягового расчета

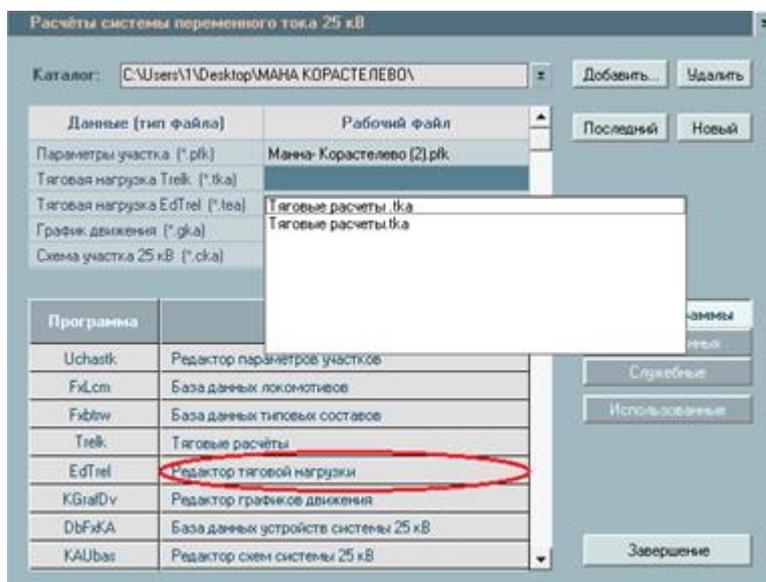


Рисунок 2.10 – Просмотр выполненной тяговой нагрузки

Расчет тяговой нагрузки. Для выполнения тяговой нагрузки откройте модуль EdTrel «Редактор тяговой нагрузки» (рис. 2.11).

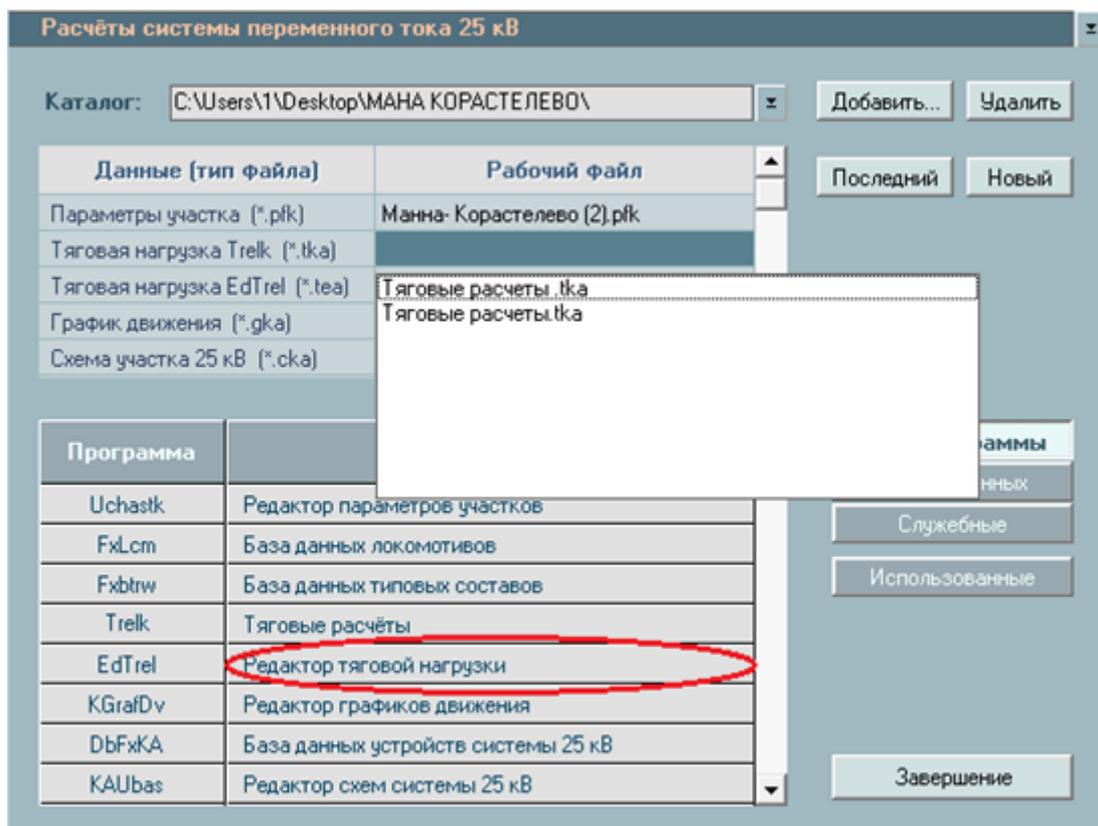


Рисунок 2.11 – Модуль EdTrel «Редактор тяговой нагрузки»

Программа EdTrel программы моделирования предназначена для формирования и редактирования данных тяговой нагрузки, используемых при электрических расчётах на базе моделирования графиков движения поездов.

С помощью программы решаются следующие задачи:

- корректировка значений токов и отдельных параметров участка в существующих файлах тяговой нагрузки, созданных программой тяговых расчётов Trelk;
- создание новых и дополнение имеющихся файлов на основе преобразования результатов опытных поездок либо тяговых расчётов, выполненных по программе TRELX пакета NORD или по другим программам;
- то же, на основе упрощённого представления тяговой нагрузки в виде отрезков пути, на которых скорость и ток поезда принимаются неизменными.

Файлы тяговой нагрузки содержат данные расчётного участка, необходимые для формирования графика движения: наименования и координаты отдельных пунктов, а также список предусмотренных на участке категорий и типов поездов. Для каждой категории поезда в обоих направлениях движения тяговая нагрузка задается таблицей значений координат расположения поезда и потребляемого им тока

через равные промежутки времени, соответствующие периоду усреднения тока. При электрических расчётах этот период является шагом моделирования графика движения.

Для определения тяговой нагрузки в программе моделирования имеются специальные программы: Uchastk (редактор параметров участков) и Trelk (тяговые расчёты). Программа EdTrel расширяет возможности КОРТЭС, позволяя использовать внешние данные в виде результатов опытных поездок или тяговых расчётов, выполненных по другим программам. Эти данные требуют специального преобразования, поскольку тяговые расчёты общего назначения, согласно методике МПС, производятся на основе интегрирования уравнения движения поезда по пути, а не по времени, как это необходимо для анализа режимов работы систем тягового электроснабжения.

Программа EdTrel работает с данными тяговой нагрузки как постоянного, так и переменного тока. Во втором случае значения токов в каждой точке представляются в виде активной и реактивной составляющих. Реактивные токи для существующих типов ЭПС должны быть отрицательными.

В качестве исходных данных программа EdTrel может использовать следующие типы файлов:

- *.pfk – параметры расчётных участков, формируемые программой Uchastk. Существует также возможность преобразования файлов участков, используемых в программах TRELX (*.pfs) и TRELС (*.pfu). Данные участков могут быть использованы для создания новых файлов тяговой нагрузки;

- *.tk3, *.tka – данные тяговой нагрузки соответственно постоянного и переменного тока, созданные программой тяговых расчётов Trelk. Используются для редактирования. Эти файлы содержат необходимые параметры участка, и поэтому загрузка файлов типа *.pfk в данном случае не требуется;

- *.tr3, *.tra – данные тяговой нагрузки из пакета NORD (программа TRELX). Импортируются для дополнения существующих файлов или создания новых данных в необходимом формате. В случае дополнения требуется, чтобы импортируемые данные относились к тому же участку, что и существующие.

В результате работы программы EdTrel формируются файлы типа *.te3 (при постоянном токе) и *.tea (при переменном). Так же, как файлы *.tk3, *.tka, они содержат параметры участка и могут быть открыты для редактирования. Отличаются от *.tk3, *.tka они тем, что в них отсутствуют исходные данные для выполнения тяговых расчётов.

В специальном окне программы (рис. 2.12) осуществляется выбор Рода тока тяговой нагрузки, значения Периода усреднения тока (только при создании нового файла) и редактирование Примечания к данным.

В этом же окне находится сводная таблица интегральных показателей тяговой нагрузки по направлениям движения и категориям поездов. Она содержит название участка движения, его длину, массу поезда, время хода по участку, а также значения энергии – израсходованной на тягу (при переменном токе активной и полной), удельной и возвращённой при использовании рекуперации.

Перечисленные показатели рассчитываются по данным основных таблиц тяговой нагрузки для каждого из поездов. Открываются эти таблицы двойным щелчком мыши в выделенной строке сводной таблицы или кнопкой [Редактировать].

Корректно введённые параметры тяговой нагрузки поезда отмечаются “галочкой” в первой графе сводной таблицы. В противном случае графа Участок движения содержит в угловых скобках только значения граничных координат положения поезда.

При отсутствии данных для какой-либо категории поезда их следует ввести в таблицы, описанные ниже. Можно также импортировать их из файла форматов *.tr3 (*.tra), созданных программой TRELX пакета NORD. После загрузки этих файлов следует открыть основную таблицу для проверки данных.

В данном расчете ничего править не нужно. Сохраните его как показано в примерах ниже (рис. 2.12, рис. 2.13, рис. 2.14).

Далее заполните основную таблицу тяговой нагрузки, где задав координаты поезда, получите полный, активный и реактивный ток и коэффициент мощности, в зависимости от времени с шагом, равным заданному периоду усреднения тока. Допускается редактирование только значений токов. И затем по этим заданным значениям строится график, на котором отложены значения полного и активного тока поезда, скорости движения поезда. Построение графика производится для каждого из категорий поезда и направления движения (рис. 2.13).

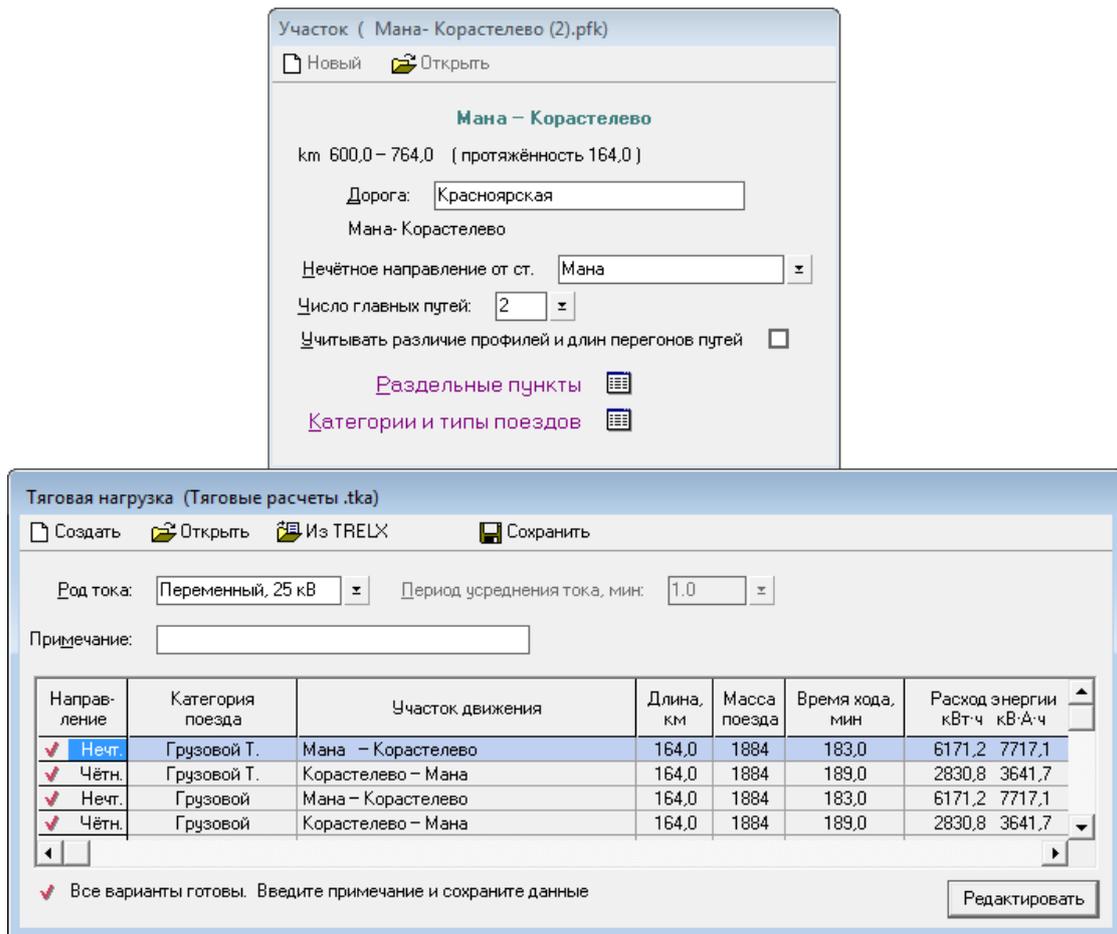


Рисунок 2.12 – Пример расчета тяговой нагрузки

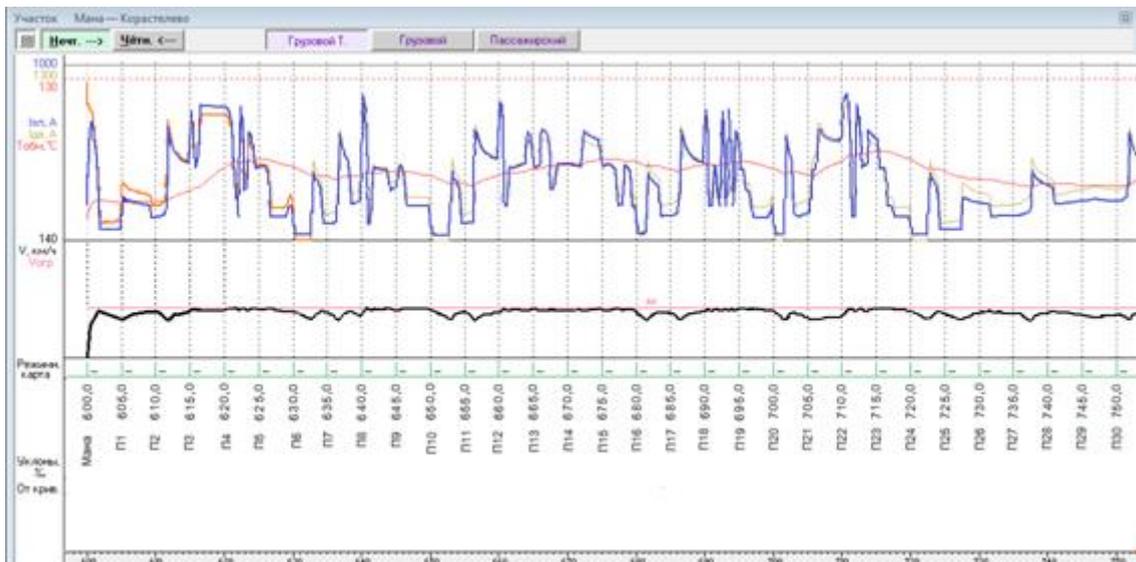


Рисунок 2.13 – Пример основной таблицы тяговой нагрузки

В заголовке первой графы основной таблицы имеется переключатель, позволяющий отображать в ней вместо времени средние значения скорости на каждом шаге положения поезда. Во второй графе указывается наименование отдельного пункта, находящегося между соседними координатами поезда.

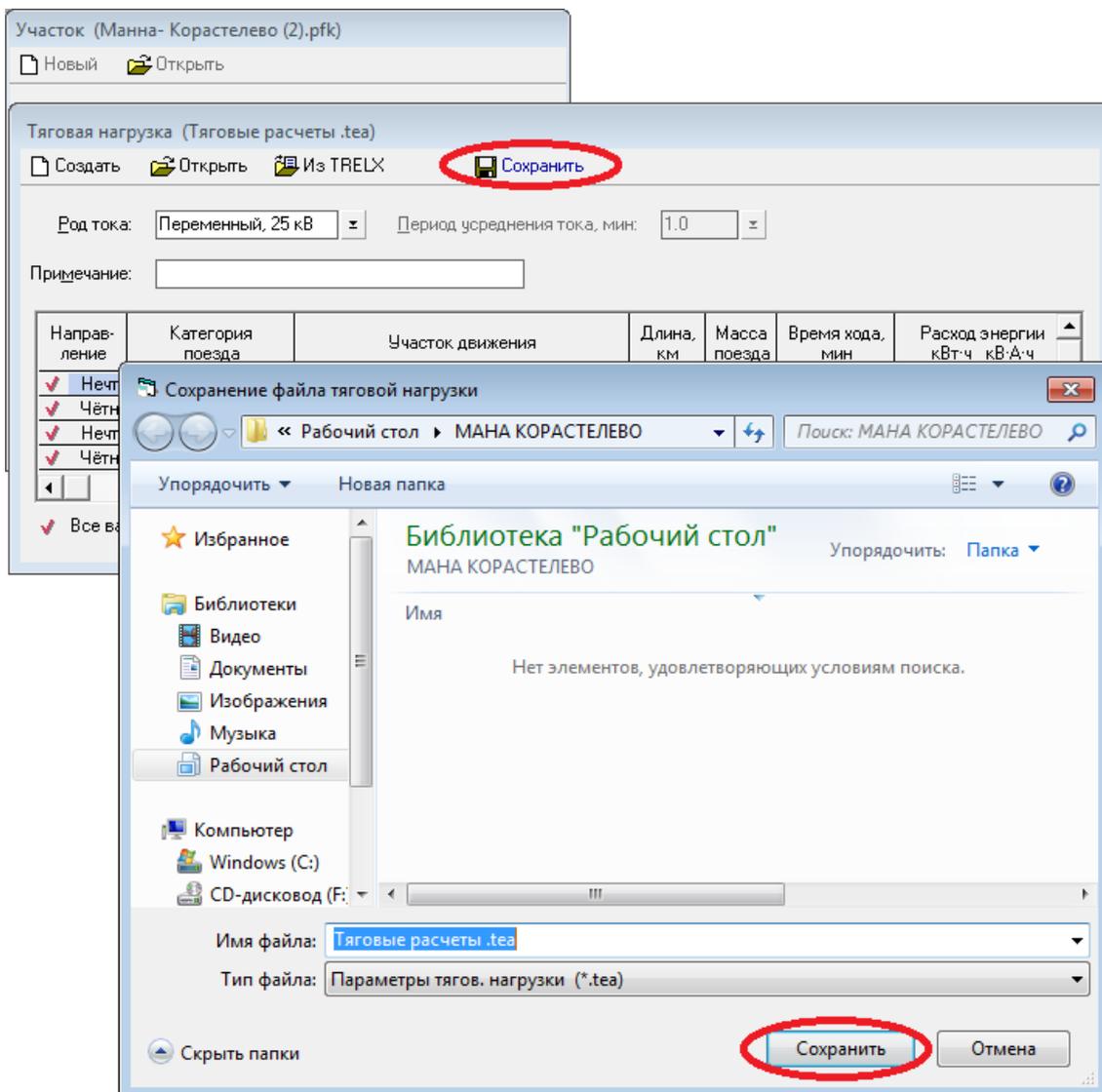


Рисунок 2.14 – Пример оформления и сохранения файла

Пример заполнения основной таблицы тяговой нагрузки показан на рис. 2.15.

Для формирования графика движения поездов необходимо, чтобы крайние точки тяговой нагрузки находились вблизи отдельных пунктов не далее чем на шаг пути, соответствующий заданной на нём скорости. Если это условие не соблюдается (например, после изменения координат отдельных пунктов), то основную таблицу

можно сократить до ближайших станций, воспользовавшись соответствующим пунктом меню Правка. В том случае, если тяговая нагрузка не занимает целиком ни одного перегона, данные считаются некорректными.

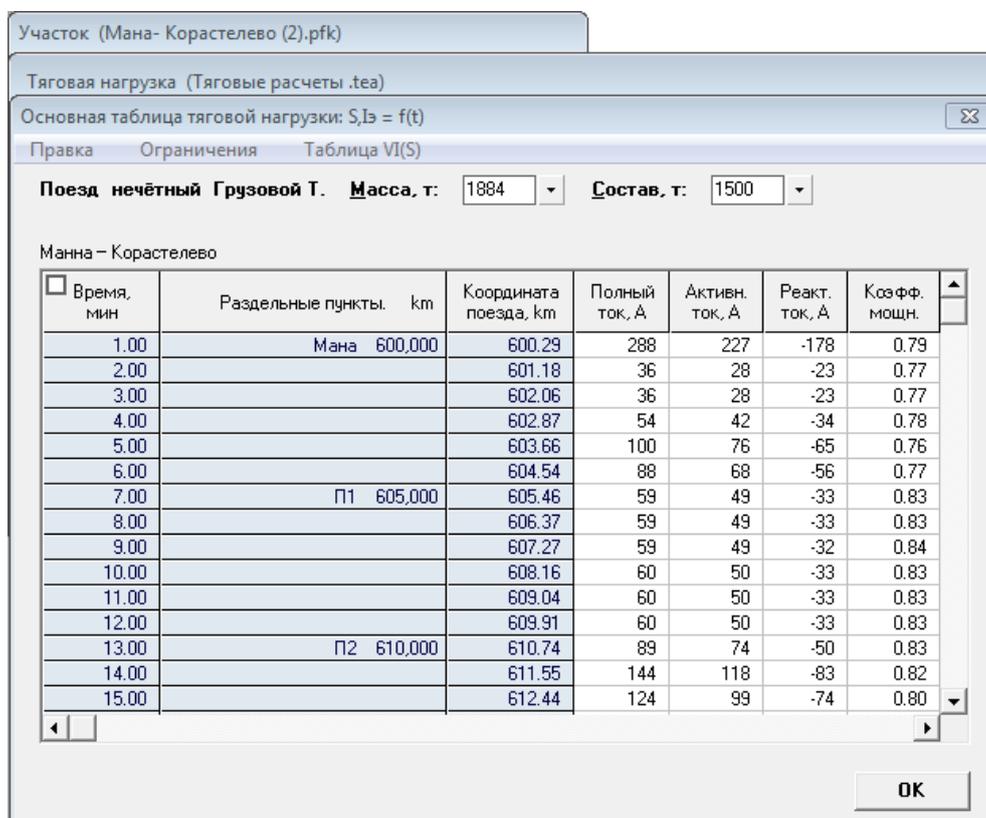


Рисунок 2.15 – Пример заполнения основной таблицы тяговой нагрузки

Программа KGrafDv (рис. 2.16) программы моделирования предназначена для формирования файлов графиков движения, используемых совместно с данными тяговой нагрузки при электрических расчётах режимов систем тягового электроснабжения.

При построении графиков используются следующие характеристики участков и нормативы (элементы графика): список раздельных пунктов, на которых разрешены обгон и скрещение поездов, продолжительность графиков стоянок по каждой станции, значения станционных интервалов и перегонные времена хода поездов различных категорий. Параметры участка и времена хода поездов содержатся в файле тяговой нагрузки, который предварительно создаётся программами Trelk или EdTrel.

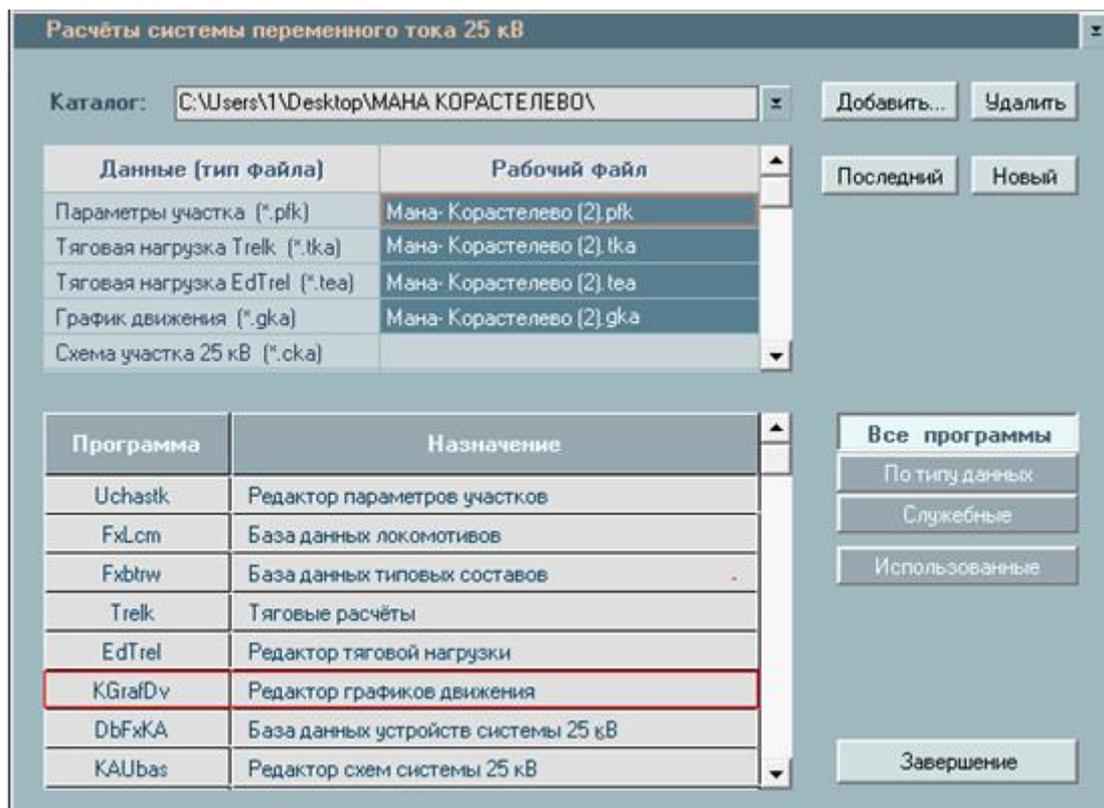


Рисунок 2.16 – Открытие модуля «Редактор графика движения»

В зависимости от рода тока тяговой нагрузки графики формируются отдельно для постоянного и переменного тока. Файл графика содержит для каждого пути участка таблицы времен отправлений поездов со всех предусмотренных на графике станций. Для каждой линии хода (нитки графика) задается категория и масса поезда, а также станции отправления и назначения в пределах участка движения, принятого при тяговом расчете.

По каждому пути многопутных участков может быть разрешено двустороннее движение поездов в нечётном и чётном направлении.

Отображаются графики в специальном масштабируемом окне в виде, близком к стандартному.

В программе KGrafDv предусмотрены два основных способа редактирования графика:

- 1) с помощью таблиц расписаний движения поездов по каждой станции;
- 2) путём прокладки и изменения линий хода поездов непосредственно в окне графика (экранный редактирование).

Имеется также возможность размножения имеющихся ниток исходного пакета поездов до требуемого их общего числа с заданным

межпоездным интервалом, а также создание случайных графиков по заданным размерам движения.

График является корректным, если в нем отсутствуют конфликтные ситуации, т.е. не имеется пересечений ниток на перегонах, соблюдаются все станционные интервалы и заданная продолжительность стоянок. В программе предусмотрена автоматическая корректировка графика согласно установленному приоритету пропуска поездов различных категорий: наибольшее преимущество имеет первая категория в списке. Допускается также только проверка отсутствия конфликтных ситуаций при ручной корректировке времён отправления поездов.

Создание нового графика. Доступ к основным функциям управления программой сосредоточен в окне данных (рис. 2.17). Оно разделено на три секции, соответствующие типам используемых параметров:

- «Участок» – содержит информацию о наименовании дороги, количестве категорий поездов и главных путей. Если в качестве данных тяговой нагрузки использованы результаты тяговых расчётов по программе Trelk, то указывается также имя соответствующего файла участка и примечание к нему;

- «Тяговая нагрузка» – кроме информации по этому виду данных, содержит поле для выбора рода тока и кнопку для открытия соответствующего файла;

- «График движения» – в этой секции расположены:
 - кнопки для обновления данных, открытия файла графика, доступа к окну редактирования графика и сохранения результатов при их готовности;
 - поле для ввода примечания к файлу;
 - кнопки доступа к таблицам отдельных пунктов и станционных интервалов;
 - поле задания максимального числа ниток на каждом пути участка;
 - флажок разрешения двустороннего движения по всем путям. Его можно устанавливать для двух- и многопутных участков, имеющих одинаковые профили и длины перегонов путей (задаётся в модулях Uchastk или EdTrel). На однопутных участках, а также на третьем пути трёхпутного участка двустороннее движение разрешается независимо от состояния флажка.

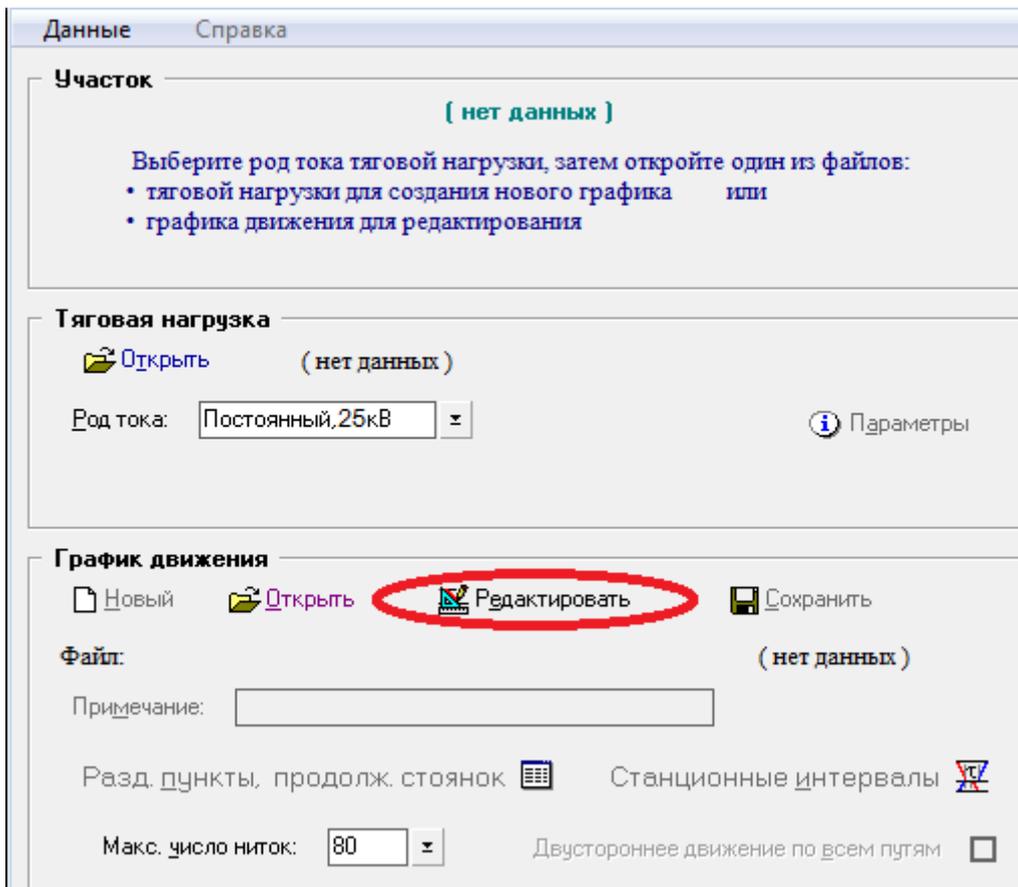


Рисунок 2.17 – Окно модуля «Редактор графиков движения поездов»

Выбор максимального числа ниток и установка флажка двустороннего движения допускаются только перед началом формирования нового графика.

Для создания графика в общем случае необходимо выполнить следующее:

- выбрать род тока и открыть используемый файл тяговой нагрузки, если он не был загружен при запуске программы;
- задать максимальное число ниток;
- откорректировать данные в таблицах Раздельные пункты, продолжительность стоянок и Станционные интервалы;
- кнопкой [Редактировать] (рис. 2.17) открыть окно графика и на каждом пути проложить требуемое количество линий хода поездов, используя описанные ниже способы. Следует иметь в виду, что возможность редактирования графика существует и в программах электрических расчётов;
- произвести корректировку графика каждого пути, если она не выполнялась автоматически;

- изменить при необходимости цветовую палитру отображения графика (в программах расчётов эта функция не предусмотрена);

- зарыть окно графика, ввести примечание и сохранить файл.

В зависимости от варианта созданного файла в таблице Данные (тип файла) (рис. 2.17) выберите Тяговая нагрузка Trelk (*.tk3) / (*.tka) или Тяговая нагрузка EdTrel (*.te3) / (*.tea) (здесь и далее обозначены варианты для рода тока – постоянного / переменного).

В графе Рабочий файл двойным щелчком мыши откройте список и выберите имя созданного файла.

Запустите программу KGravDv для формирования графика движения с использованием полученных данных тяговой нагрузки и параметров участка.

Рекомендуется в этой программе создать базовый график, проложив линии хода только необходимых для последующих расчётов поездов, задав их категории, массы, станции отправления и назначения. При выполнении электрических расчётов Вы сможете из этих базовых ниток сформировать конкретные графики движения в соответствии с решаемой задачей.

Постройте новые графики движения для обоих путей. В первую очередь, выберите направление, например, нечетное направление. Нажмите на кн. [Новый] и выберете необходимый путь (рис. 2.18). Появятся нитки поездов каждой категории. Увеличить пакеты поездов необходимо нажать на кн. [Размножение пакета] (рис.2.19).

Зайдя в расписание движения поездов, измените межпоездной интервал (рис.2.20), например, 8 – 15 мин.

Поставьте галочку в окне «Интервалы между поездами», происходит выделении всего столбца, кликнув мышью два раза на 0, задайте интервал 10 минут. Нажмите <Enter> и <Ok>.

Далее выполните аналогично для второго пути.

Закройте график движения поездов и сохраните его как «График движения 10 мин».

Тяговый расчет, расчет тяговой нагрузки и график движения необходимо выполнить для расчетного участка в системе тягового электроснабжения постоянного тока СТЭ 3 кВ.

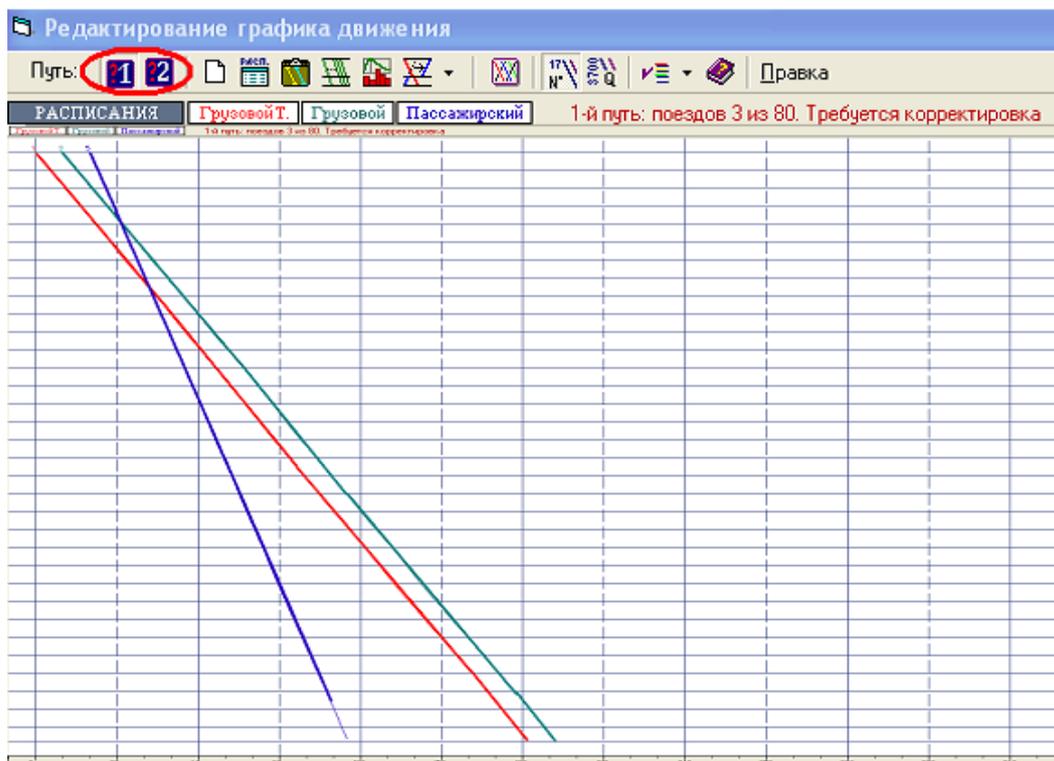


Рисунок 2.18 – Выбор пути при построении графика движения

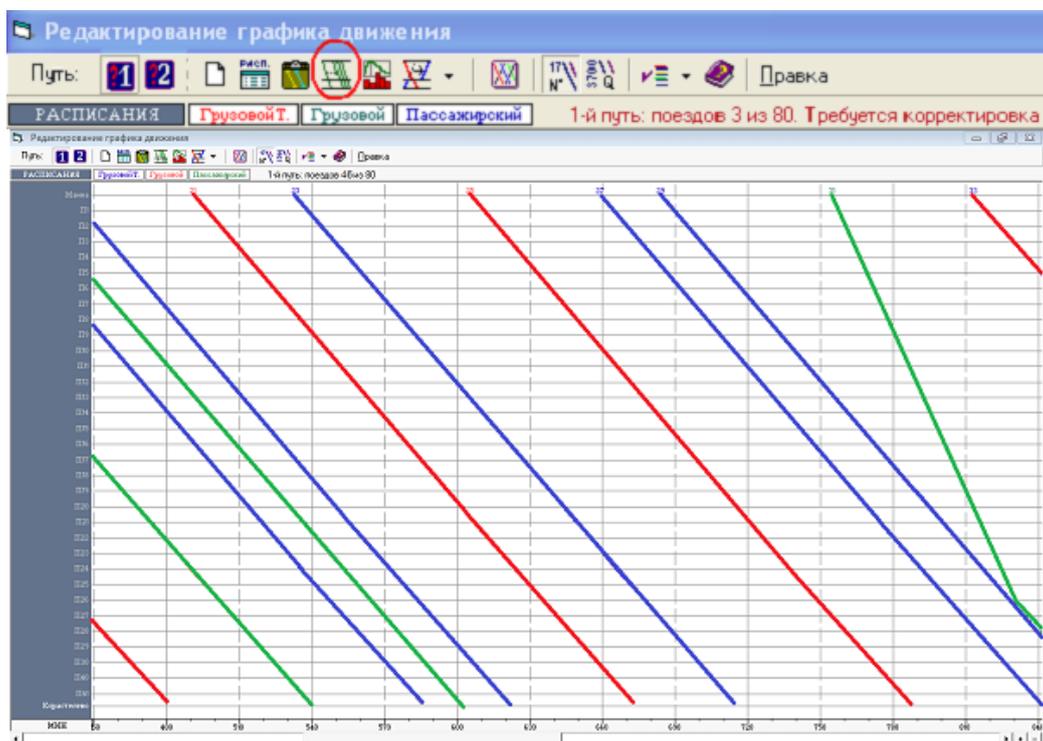


Рисунок 2.19 – Редактирование графика движения

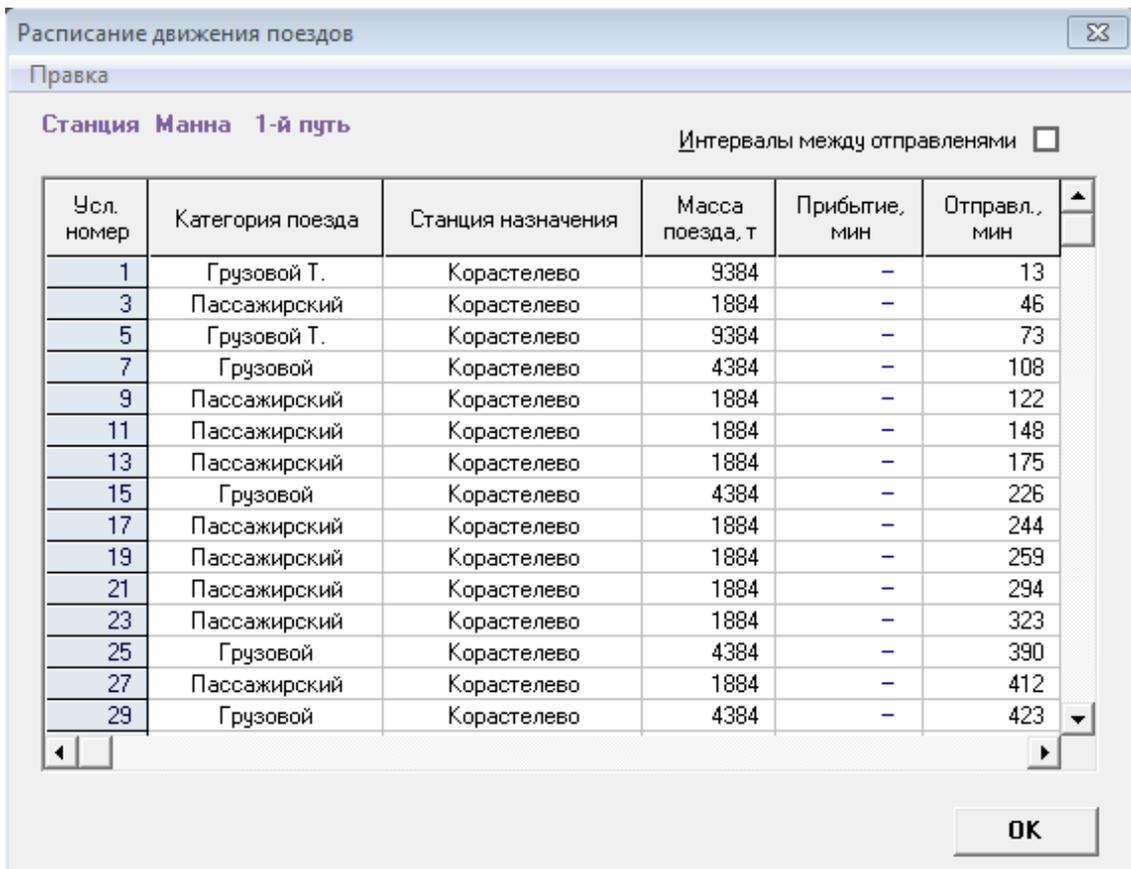


Рисунок 2.20 – Окно «Расписание движения поездов»

Контрольные вопросы

1. Какие данные являются исходными для производства тягового расчета?
2. Для каких типов поездов и в каких направлениях выполняется тяговый расчет в работе?
3. Какие параметры определяются в результате тягового расчета?
4. В каком редакторе можно выполнить тяговый расчет?
5. Назовите этапы выполнения тягового расчета.
6. Как выполняется график движения?
7. Какие параметры определяются в результате тягового расчета?
8. Какими проводами может быть оборудована тяговая сеть?
9. Как выполняются расчеты рабочих режимов?

Лабораторная работа №3. Формирование имитационной модели расчетного участка. Редактор схем системы тягового электроснабжения

Цель работы – Составление схемы тягового электроснабжения расчетного участка.

Лабораторная работа выполняется 4 часа.

Программа KAUBas является составной частью программы моделирования и предназначена для формирования схем, используемых при электрических расчётах системы тягового электроснабжения переменного тока 27,5 кВ.

Схема участка может содержать до четырёх путей и произвольное количество межподстанционных зон. В качестве граничных объектов схемы могут быть заданы как тяговые подстанции, так и другие объекты – пост секционирования, пункт параллельного соединения или продольные секционные разъединители. Учитывается реальная схема расположения воздушных промежутков и точек подключения фидеров ЭЧЭ, ПС к контактной сети. Все объекты схемы могут располагаться как по ходу километров, так и в обратном порядке.

Для выполнения работы запустите модуль KAUBas «Редактор схем системы 27,5 кВ» (рис. 3.0).

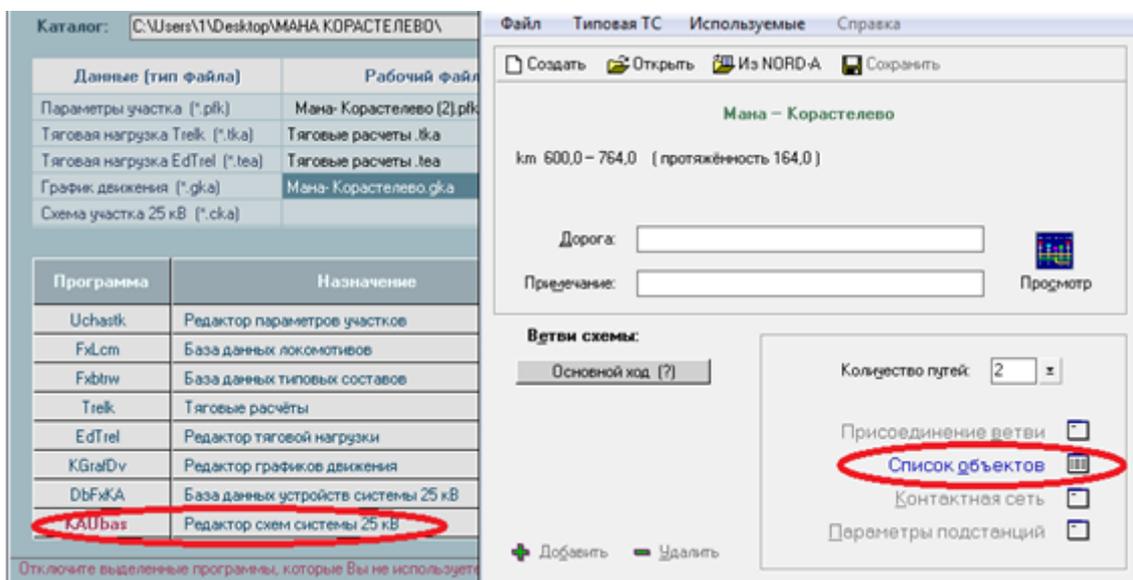


Рисунок 3.0 – Модуль KA_KZ «Редактор схем системы 27,5 кВ»

В редакторе схем системы вносится следующая информация (рис. 3.1):

- в диалоговом окне «Присоединение ветви» допускается наличие примыкающих ветвей к основной части схемы, называемой «Основной ход». Питание этих ветвей осуществляется от дополнительных фидеров ЭЧЭ и ПС. Кроме того, ветви могут присоединяться к любой точке контактной сети основного хода, для чего используется специальный объект «Ответвление» (ОТВ). Примыкающие участки могут иметь до четырёх путей и не более одной (граничной) подстанции.

- в диалоговом окне «Список объектов» вводятся наименование объектов (ЭЧЭ, ППС, ПС), и соответствующие этим объектам координаты на плане объекта;

- в диалоговом окне «Контактная сеть» выбирается контактная подвеска каждой межподстанционной зоны в соответствии с учётом параметров участка;

- в диалоговом окне «Параметры подстанций» выбирается тип и мощность трансформаторов каждой тяговой подстанции расчетного участка.

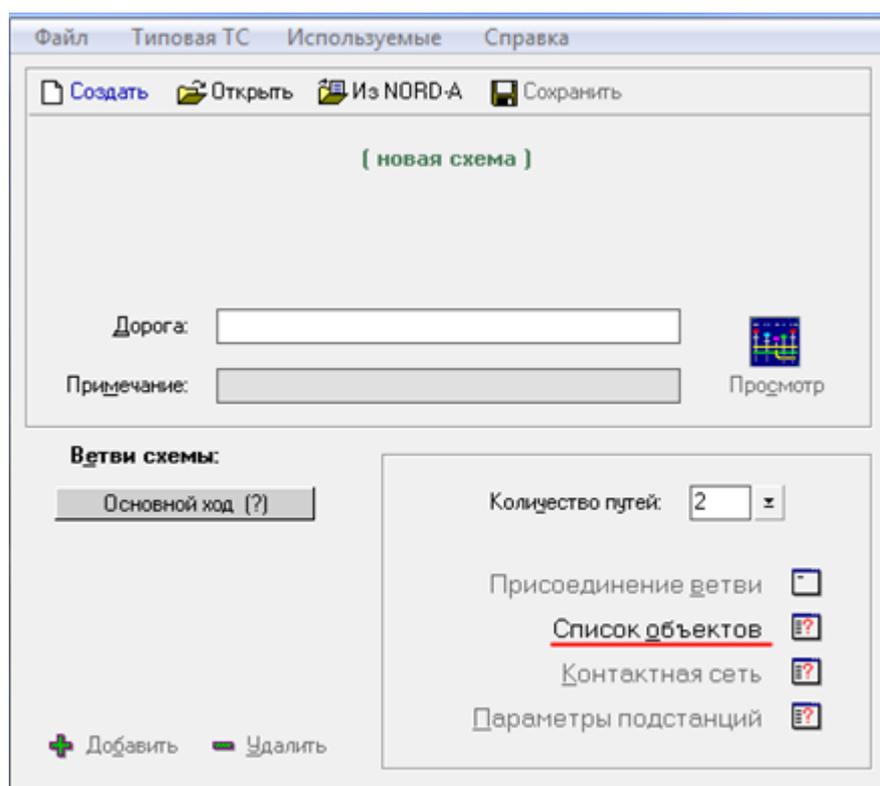


Рисунок 3.1 – Модуль КА_KZ «Редактор схем системы 27,5 кВ»

Допустимые расстояния между тяговыми подстанциями (ТП) выбираются в соответствии с табл.3.0.

Расстояние между тяговыми подстанциями определяется классом напряжения и родом тока в тяговой сети. На участках

электрифицированных на постоянном токе 3 кВ протяженность от одной подстанции до другой составляет примерно 20 км. На особо грузонапряженных участках это расстояние может быть от 15 до 18 км. Участки переменного тока 27,5 кВ позволяют располагать подстанции друг от друга на расстоянии от 40 до 60 км, в зависимости от плотности движения и особенности профиля пути.

Таблица 3.0 – Расстояния между тяговыми подстанциями

Вид системы тягового электроснабжения	Расстояние между тяговыми подстанциями, км
СТЭ 27,5 кВ	40 – 60
СТЭ 3 кВ	10 – 20

Следующим этапом выберите количество главных электрифицированных путей на основном ходу участка и заполните «Список объектов» (рис. 3.2). При необходимости для нужных объектов в этом списке откорректируйте принятые по умолчанию данные в таблице «Параметры фидерных линий», точек присоединения, КУ и УПК на ПС.

Окно содержит таблицу для ввода объектов в схему основного хода или выделенной ветви.

В таблице имеется выбор типа объекта:

- ЭЧЭ – тяговая подстанция;
- ПС – пост секционирования;
- ППС – пункт параллельного соединения. На однопутных участках не используется;
- ПРС – продольные секционные разъединители. Устанавливаются на всех путях и могут располагаться со смещением относительно друг друга;
- ОТВ – ответвление. Представляет собой воздушную стрелку с разъединителем в месте присоединения подвески примыкающей ветви к основному ходу. Пути расположения этих стрелок задаются в окне Присоединение ветви.

Список объектов

Расстояния

Тип объекта	Координ. оси, km	Наименование	Число примык.	Фидерные линии, точки присоед., КУ и УПК на ПС
ЭЧЗ	600.000	Мана	-	+
ППС	610.000	П2	-	{1-2}
ПС	620.000	П4	-	-
ППС	630.000	П6	-	{1-2}
ЭЧЗ	640.000	П8	-	+
ППС	650.000	П10	-	{1-2}
ПС	660.000	П12	-	-
ППС	670.000	П14	-	{1-2}
ЭЧЗ	680.000	П16	-	+
ППС	690.000	П18	-	{1-2}
ПС	700.000	П20	-	-
ППС	710.000	П22	-	{1-2}
ЭЧЗ	720.000	П24	-	+
ППС	730.000	П26	-	{1-2}
ПС	740.000	П28	-	-

OK

Рисунок 3.2 – Окно редактора «Список объектов»

Каталог тяговых сетей (рис. 3.3). Этот каталог является вспомогательным и содержит данные, необходимые для расчёта параметров тяговой сети. Для каждой марки провода (типа рельса) задается активное покилометровое сопротивление и эквивалентный радиус, а для проводов также допустимый длительный (20 мин и более) ток, допустимая длительная температура и расчётное значение постоянной времени нагрева.

Наименование марки провода и типа рельса должно быть уникальным: их дублирование не допускается. Символ “%” в марке контактного провода означает износ его сечения на 15%. Тип рельсов начинается с заглавной буквы “Р” русского алфавита.

Ввод и корректировка данных выполняется с использованием редактора таблиц.

С помощью меню всю таблицу можно заменить данными соответствующего каталога программ NORD-A. Для этого предварительно в специальном диалоговом окне требуется найти папку каталога (по умолчанию ... \NORD-A\NA_DATA), содержащую файл CTNR25.bfx.

Марки проводов подвесок и линий	$R_{тс}$, Ом/км	$X_{тс}$, Ом/км	Идоп, А
2К-016 ПБСМ-70+МФ-100+4Р65 ПБСМ-70+МФ-100+4Р65	0,195 0,195	0,441 0,441	825 825
2К-017 ПБСМ-70+МФ-100+А-185+4Р65 ПБСМ-70+МФ-100+А-185+4Р65	0,112 0,112	0,315 0,315	1360 1360
2К-018 ПБСМ-95+МФ-100+4Р65 ПБСМ-95+МФ-100+4Р65	0,182 0,182	0,428 0,428	884 884
2К-019 ПБСМ-95+МФ-100+А-185+4Р65 ПБСМ-95+МФ-100+А-185+4Р65	0,108 0,108	0,311 0,311	1403 1403
2К-020 ПБСМ-95+МФ-100+А-185+эА-185+4Р65 ПБСМ-95+МФ-100+А-185+эА-185+4Р65	0,107 0,107	0,238 0,238	1308 1308
2К-021 М-95+МФ-100+4Р65 М-95+МФ-100+4Р65	0,122 0,122	0,391 0,391	1170 1170
2К-022 М-95+МФ-100+А-185+4Р65 М-95+МФ-100+А-185+4Р65	0,087 0,087	0,297 0,297	1582 1582
2К-023 М-95+МФ-100+А-185+эА-185+4Р65 М-95+МФ-100+А-185+эА-185+4Р65	0,087 0,087	0,227 0,227	1450 1450

Просмотр **Выбрать** Закрыть

Рисунок 3.3 – Фрагмент таблицы Каталога тяговых сетей

При электрических расчётах системы переменного тока 27,5 кВ используются следующие основные параметры тяговой сети:

- $R_{тс}$, $X_{тс}$ – активное и реактивное сопротивления подвески каждого пути, Ом/км;
- $I_{доп}$ – допустимый длительный (20 мин и более) ток подвески пути, А;
- $t_{дл}$ – допустимая длительная температура нагрева лимитирующего провода в подвеске, °С;
- $T_{пр}$ – расчётное значение постоянной времени нагрева лимитирующего провода, мин;
- R_{mn} , X_{mn} – активная и реактивная составляющие полного сопротивления взаимной индуктивности между подвесками путей m и n , Ом/км.

В программе моделирования указанные параметры задаются единым набором данных для всех путей в пределах участка схемы электроснабжения с неизменным составом и сечением проводов (рис. 3.3). Это позволяет более строго учитывать взаимное влияние подвесок путей, особенно при несимметричном расположении (или при разном составе) проводов на двухпутных участках и в тяговой сети многопутных участков (рис. 3.4).

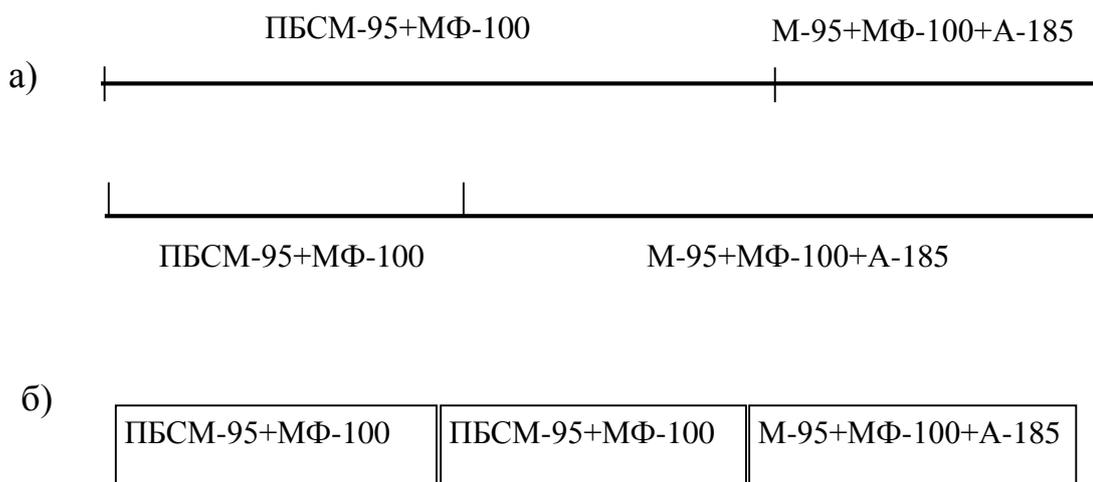


Рисунок 3.4 – Пример расположения границ секций подвесок двухпутного участка (а) и представление параметров тяговой сети (б)

При определении параметров тяговой сети каждый провод подвески (или ветвь расщеплённого провода) и рельсовая нить рассматриваются как отдельный элемент, для которого задаются координаты расположения на плоскости, перпендикулярной оси пути, а также выбираются необходимые данные из Каталога проводов и рельсов.

Исходные данные вводят в таблицу Составы сети. Несмотря на громоздкий вид таблицы, заполнить её несложно: большинство параметров можно принять по умолчанию.

В графе Назначение провода для контактной сети из списка выбирают требуемый пункт: Несущий (НТ), Контактный (КП), Усиливающий (УП), Экранирующий (ЭП) или Рельс (Р). Для фидерной линии доступны пункты Фидер (Ф), Экранирующий и Рельс. Вводить назначения элементов в таблицу можно в любом порядке. Важно, чтобы на каждом пути имелся как минимум один из проводов подвески – НТ, КП или УП (для фидерной линии – провод Ф).

Во второй графе указывают номер пути, к которому относится данный элемент. Для проводов наибольший номер соответствует числу путей; для рельсов допустимое значение от 1 до 4, а для фидера всегда 1.

Марку провода или тип рельса (третья графа) выбирают из соответствующего каталога. Основные параметры выбранного элемента отображаются в трёх следующих графах; их редактирование здесь не предусмотрено. По умолчанию для НТ принимается марка

ПБСМ-95, КП – МФ-100, для остальных проводов – А-185, тип рельсов Р65.

Расположение провода или рельса задают в соответствующих графах координатами (в метрах) – A по горизонтали от оси 1-го пути и H по высоте от уровня головок рельсов. По умолчанию первому элементу каждого назначения на данном пути присваиваются стандартные координаты согласно типовым схемам армировки опор. Учитываются также базовые габариты сети (высота подвески КП, ширина междупутий, габариты установки опор), заданные перед добавлением новой строки в Каталог. Для каждого следующего элемента того же назначения (например, второй ветви расщеплённого провода) требуется ввести свои координаты.

Над таблицей Составы сети имеются поля для редактирования значения проводимости земли и ввода примечания, которое отображается в Каталоге рядом с шифром подвески.

После заполнения или корректировки указанной таблицы следует выполнить расчёт параметров тяговой сети, нажав соответствующую кнопку. Результаты расчёта отображаются в нижней части окна. Кроме этого, в последнем столбце таблицы Составы сети приводятся коэффициенты распределения тока по элементам подвески того пути, который выбирают в нижней таблице. Доля тока в лимитирующем проводе отмечена звёздочкой.

Расчётные параметры вместе с исходными данными помещаются в Каталог нажатием соответствующей кнопки. Если производилась корректировка уже имеющейся сети, то предлагается заменить существующие данные в той же записи базы данных либо добавить их в новую строку Каталога. Особым видом подвески является Фидер, с помощью которого в электрической схеме участка учитываются характеристики питающих и отсасывающих линий. Использование, как в NORД-А, для этих целей контактной подвески с соответствующим набором проводов не допускается.

Каталог понижающих трансформаторов. Этот раздел содержит каталожные или паспортные данные силовых трансформаторов системы 27,5 кВ, включая наименование типа, значения номинальной мощности, напряжения короткого замыкания u_k , потерь холостого хода и короткого замыкания, а также ток холостого хода I_{xx} (рис. 3.5).

На рис.3.6 представлены конфигурации схем питания и секционирования контактной сети. Для создания параллельной схемы питания включены все объекты. Сделайте просмотр. Создайте следующие типы схем: узловая и раздельная. Сохраните их. Для создания раздельной схемы отключите посты секционирования контактной сети (ПС) и пункты параллельного соединения

(ППС)(зеленая лампочка – отключено, красная лампочка – включено)и сохранить ее как «раздельная».

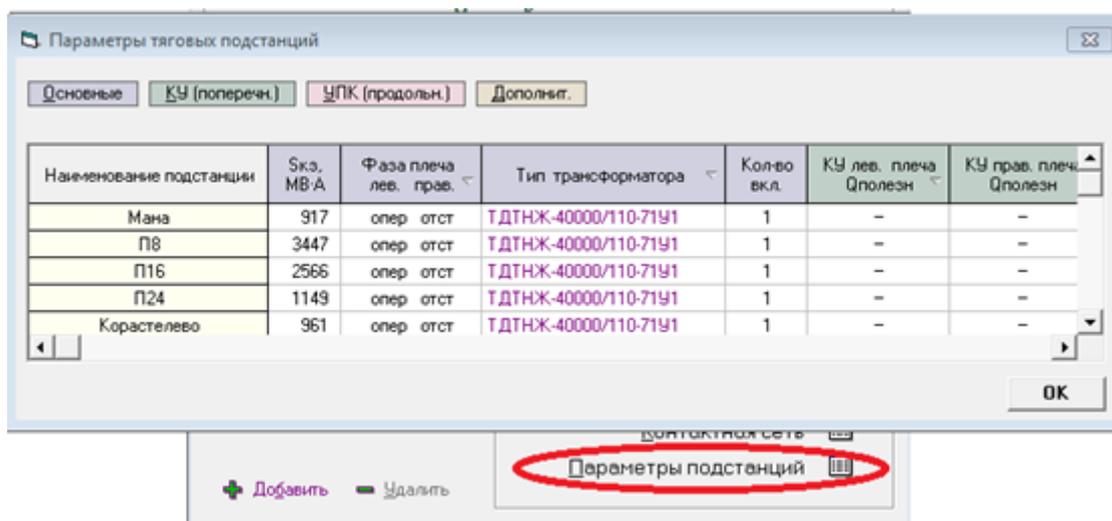


Рисунок 3.5 – Модуль «Параметры тяговых подстанций»

Откройте просмотр схемы участка (рис. 3.7).

Выполните аналогичное проектирование в «Редакторе схем системы 3 кВ» в программе K3Ubas.

При формировании схем системы 3 кВ используются файлы:

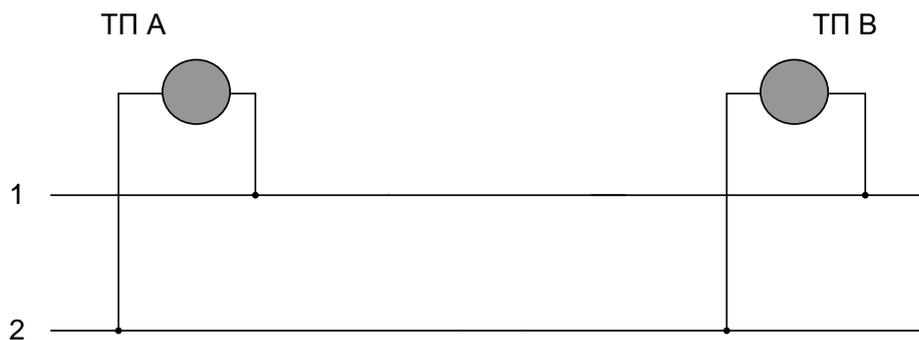
– Catnr3.bfk – Каталог тяговых сетей постоянного тока;

– Transf3.bfk – Каталог понижающих и преобразовательных трансформаторов.

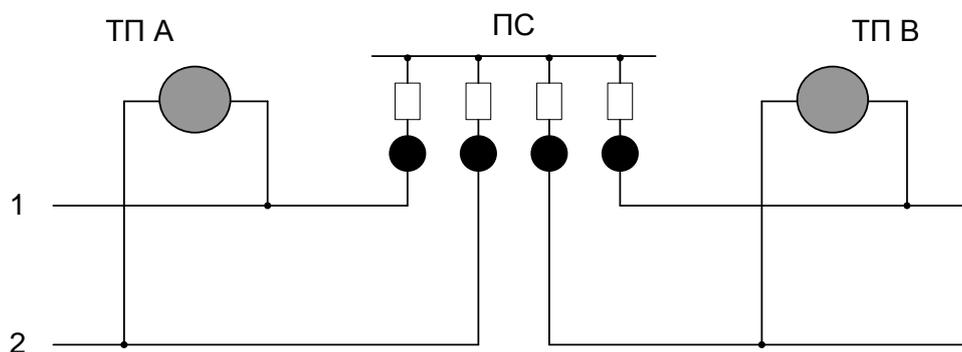
Эти файлы готовятся программой DbFхK3 и находятся в поддиректории K3_Data папки программы K3Ubas. При отсутствии указанных каталогов программа K3Ubas не работает.

Все выбранные из базы данных параметры тяговой сети и трансформаторов подстанций хранятся во внутренних таблицах файла схемы. Эти таблицы открываются пунктом меню Данные - Используемые - Тяговые сети или Трансформаторы. Пункты доступны при корректно введенных параметрах соответственно контактной сети и подстанций.

Раздельная



Узловая



Параллельная

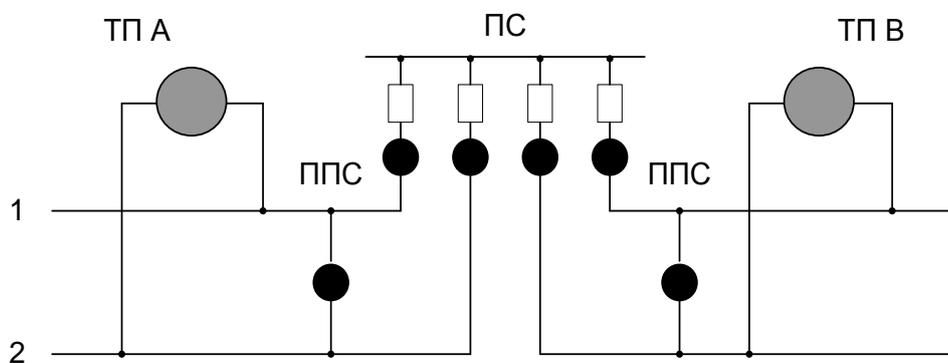


Рисунок 3.6 – Конфигурации схем питания контактной сети

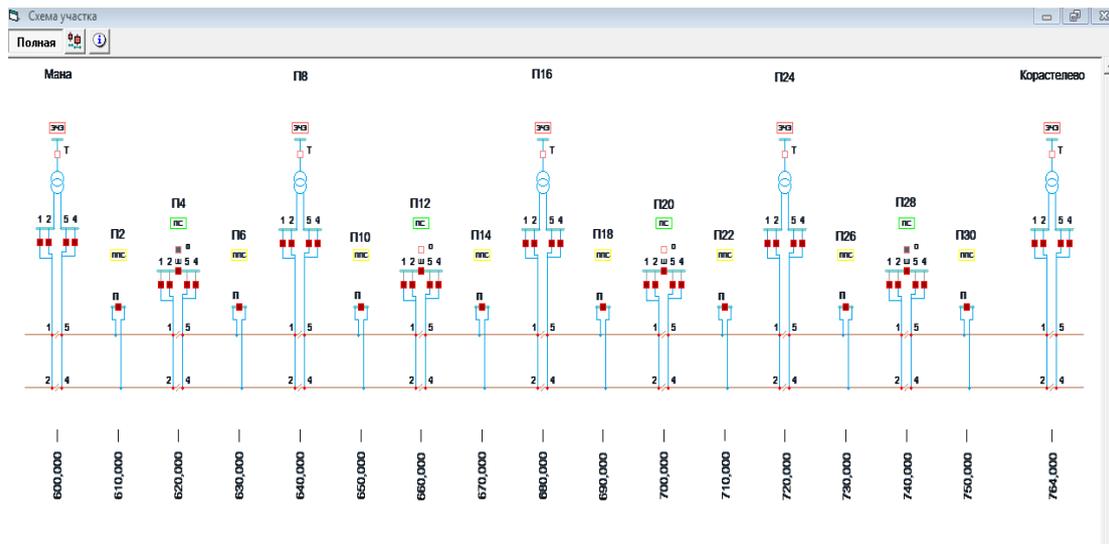


Рисунок 3.7 – Окно «Схема участка»

В процессе корректировки схемы некоторые выбранные ранее параметры могут оказаться недействующими. Соответствующие им строки в таблицах отмечаются серым цветом.

Для преобразования таблиц служит кнопка [Обновить]. При её нажатии удаляются неиспользуемые строки и производится согласование параметров с внешней базой данных.

Контрольные вопросы

1. На каких допустимых расстояниях размещаются тяговые подстанции при электрификации участка на переменном токе 25 кВ?
2. На каких допустимых расстояниях размещаются тяговые подстанции при электрификации участка на постоянном токе 3 кВ?
3. Какая информация вводится в параметрах тяговой подстанции?
4. Назовите список объектов тяговой подстанции.
5. Какие схемы питания и секционирования контактной сети используются в работе?
6. Как задаются в работе схемы питания и секционирования контактной сети?
7. Какому цвету соответствует отключенное положение поста секционирования или пункта параллельного соединения, какому – включенное?

Лабораторная работа №4. Расчет пропускной способности участка

Цель работы – определение пропускной способности расчетного участка при системе переменного и постоянного тока.

Лабораторная работа выполняется 2 часа.

Пропускной способностью называют максимальное число пар поездов установленного веса, которое может быть пропущено по участку в единицу времени (сутки). В зависимости от его технической оснащённости и принятого способа организации движения.

Пропускная способность рассчитывается на основе технических условий, технологических процессов, инструкций и паспортных данных установленного оборудования.

Наличная пропускная способность СТЭ - количество допустимых поездов, которые могут быть пропущены по участку (межподстанционная зона) в единицу времени (сутки).

Показатели влияющие на пропускную способность:

- ◆ мощность силового оборудования тяговых подстанций – понижающих трансформаторов;
- ◆ напряжение на токоприёмниках электроподвижного состава (ЭПС);
- ◆ температура нагрева проводов контактной сети.

Характеристики пропускной способности участка обусловлены минимальным допустимым интервалом, при котором движение поездов заданной массы не вызывает отклонение показателей нагрузочной способности устройств от допустимых норм.

Расчетные режимы и схемы. Характеристики пропускной способности определяются в зависимости от решаемой задачи при расчётных режимах в соответствии с табл. 4.0.

Допустимые межпоездные интервалы на двухпутных участках в режимах А, Б рассчитываются при параллельном графике движения в условиях равномерного потока поездов по каждому пути

На однопутных участках в тех же расчётных режимах принимается частично-пакетный график вида рис. 4.1, б при пропуске пакета в направлении наибольшего электропотребления. Количество поездов в пакете в режиме А – два, в режиме Б – три.

Сочетание грузовых поездов наибольшей и средней массы в графике для расчётного режима А принимается в зависимости от их суточного количества согласно табл. 4.1.

Таблица 4.0 – Характеристики пропускной способности

Обозначение режима и цель расчёта		Вид графика движения	Расчётная схема
<i>A</i>	Определение наличной суточной пропускной способности	Чередование поездов наибольшей и средней массы	Нормальная, без резервных трансформаторов
<i>B</i>	Определение наименьших допустимых интервалов в интенсивные периоды работы участка	при трёх поездах в пакете. Поезда наибольшей массы или соединённые при их системе эксплуатации	Нормальная, с включёнными резервными трансформаторами
<i>B</i>	Определение наименьших допустимых интервалов при работе в «окно»	Поток поездов наибольшей массы или соединённых в направлении наибольшего электропотребления по пути с меньшей нагрузочной способностью контактной сети	Раздельная, с включёнными резервными трансформаторами

Соединённые поезда как система эксплуатации учитываются в режиме *B* при наличии на станциях приёмо-отправочных путей соответствующей длины.

В режиме *B*, соответствующем периоду производства ремонтных работ на соседнем пути двухпутного участка (работа в «окно») или отсутствия встречного движения на однопутном участке, используется параллельный график в виде потока поездов в направлении наибольшего электропотребления по пути с меньшей нагрузочной способностью контактной сети.

Тип поездов для режима *B* устанавливается заданием на расчёт, исходя из существующей или планируемой организации движения при работе в «окно». На токоприёмниках соединённых поездов в этом режиме допускается наименьший предельный уровень напряжения 19000 В.

Таблица 4.1 – Сочетание грузовых поездов разной массы

Доля поездов наибольшей массы от общего числа грузовых поездов в сутки	Количество поездов наибольшей массы для режима <i>A</i> в графике движения на участке	
	двухпутном	однопутном*
менее 25%	каждый четвёртый	один из двух
от 25 до 50%	каждый третий	два
от 50 до 75%	каждый второй	два
более 75%	все	Два

Примечание: * в направлении наибольшего электропотребления. Во встречном направлении все поезда наибольшей массы

Нормальная расчётная схема питания контактной сети соответствует обычным условиям эксплуатации устройств электроснабжения участка. Для организации отдельной схемы все ПС и ППС выводятся из работы.

Данные для расчетов пропускной способности. Специализированные данные, используемые при расчётах пропускной способности, задаются службой перевозок дороги. К этим данным относятся:

- границы расчётных участков – наименования граничных станций и их координаты;
- суточное количество поездов по каждому направлению движения (пути) на расчётном участке – пассажирских, пригородных, грузовых наибольшей массы, в том числе соединённых как система эксплуатации, и грузовых средней массы;
 - весовые нормы указанных поездов;
 - коэффициенты съёма грузовых поездов пассажирскими и пригородными поездами;
 - продолжительность технологического «окна»;
 - заданный расчётный межпоездной интервал, а также станционные интервалы для однопутного участка;
- условия организации движения в интенсивные периоды работы и при «окне», например, количество поездов в пакете, схема пропуска поездов различной массы (соединённый – одиночный – соединённый) и т.п.

Кроме этих параметров, службой электрификации и электроснабжения должны быть заданы коэффициенты надёжности групп оборудования системы тягового электроснабжения – по мощности тяговых подстанций, по нагреву проводов контактной сети и по уровню напряжения на токоприёмниках ЭПС.

Границы расчётных участков устанавливаются службой перевозок дороги и являются одинаковыми для определения наличной пропускной способности по всем железнодорожным сооружениям и устройствам.

Суточное количество поездов, коэффициенты съёма, продолжительность «окна» и коэффициенты надёжности используются только при расчётах наличной пропускной способности (режим А).

Значения заданного межпоездного интервала для разных расчётных режимов в общем случае могут быть различными. Например, при пропуске соединённых поездов интервал принимают на 25...30% больше, чем при следовании одиночных поездов.

Грузовыми поездами средней массы в параллельном графике движения приближённо учитываются токовые нагрузки от поездов всех типов (в т. ч. сборных, ускоренных и пр.), кроме поездов наибольшей массы. Среднюю массу в каждом направлении движения следует определять как средневзвешенную по расходам энергии соответствующих поездов.

Исходные данные для расчётов пропускной способности, включая параметры параллельных графиков, после ввода в программу можно сохранить в рабочем каталоге в файле типа *.кра. Файлы этого типа используются в качестве параметра при запуске программы КА_PN из Центра управления комплексом КОРТЭС. Их можно открывать также в самой программе из каталога данных, указанного при запуске.

Ввод данных для расчетов пропускной способности. Соответствующее окно (рис. 4.0) открывается пунктом Главного меню Проп.спос. или Расчёты > Пропускная способность.

Вид расчёта. Строка служит для выбора (из списка наименований) расчётного режима согласно табл. 4.0.

В программе предусмотрен также дополнительный режим, который не связан с определением пропускной способности, но может использоваться для расчётов рабочих нагрузок системы при параллельных графиках движения, формируемых в соответствии с заданными параметрами (см. ниже)

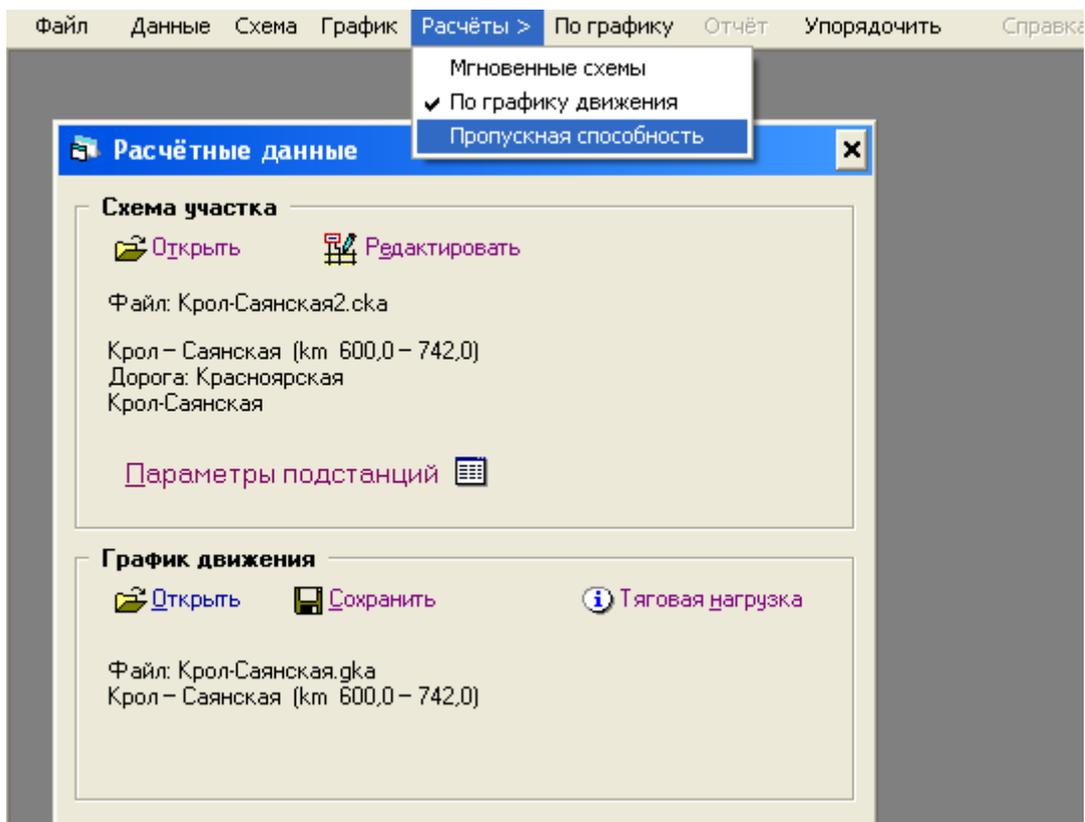


Рисунок 4.0 – Модуль «Расчет пропускной способности»

Размеры движения. Таблица доступна только для расчётного режима *A*. В неё вводят заданное суточное количество поездов по различным видам движения в каждом направлении. Число грузовых поездов должно быть задано обязательно. При наличии пассажирских и (или) пригородных поездов необходимо ввести соответствующие значения коэффициентов съёма ими грузовых поездов.

Флажок над таблицей позволяет дублировать ввод данных из нечётного направления в чётное. Например, если коэффициенты съёма по направлениям движения имеют одинаковые значения (рис. 4.1), то достаточно включить указанный флажок и ввести параметры только в колонке нечётного направления. При вводе любых данных для чётного направления флажок снимается автоматически.

Справа от таблицы расположены поля для ввода значений коэффициентов надёжности по группам оборудования и продолжительности технологического «окна» (используются только в режиме *A*), а также заданного межпоездного интервала.

фиолетовым цветом. Для восстановления “правильного” направления движения необходимо щёлкнуть по этому полю повторно;

Соед. – щелчком в районе точки устанавливается или сбрасывается признак X соединённого (сдвоенного) поезда наибольшей массы. В параллельном графике движения соединённый поезд представляется двумя линиями хода одиночных поездов заданной массы с интервалом 1 мин;

Qнб - наиб. масса, т – наибольшая масса поезда с учётом локомотивов. Для соединённого поезда – масса одиночного поезда в его составе. При выборе категории поезда значение автоматически устанавливается равным базовой массе;

Поездов Qнб – доля поездов наибольшей массы в графике движения. Выбирается из списка допустимых значений: Нет, Все, 1 из 2-х, ..., 1 из 4-х. В расчётном режиме А (значение должно соответствовать табл. 4.0). Требуемое значение для данного направления устанавливается автоматически при вводе или корректировке числа грузовых поездов в таблице Размеров движения;

Qср - сред. масса, т – средняя масса поезда. Если поезда наибольшей массы в графике отсутствуют (Нет), то при выборе категории поезда значение автоматически устанавливается равным базовой массе;

Всего поездов – общее количество поездов в графике по данному направлению движения. Может принимать значения: 0 – <Окно>, 1...10 – пакет, 11...100 – поток. Пакет и <Окно> допускаются только в одном из направлений движения. Пакетный график используется, как правило, для однопутных участков. Во всех режимах расчёта пропускной способности для потока принимается значение 100;

Интервал, мин – межпоездной интервал в потоке или пакете на данном направлении движения. Должен быть обязательно задан для расчётов режимов нагрузки (дополнительный вид расчёта) при числе поездов, большем одного. При расчётах пропускной способности, как правило, принимается равным нулю (<расчёт>). Ненулевое значение допускается для одного из направлений движения. В этом случае допустимый интервал будет определяться только для поездов встречного направления при фиксированном значении интервала на данном направлении.

Вид параллельного графика в соответствии с заданными параметрами отображается в левой нижней части окна.

Расчётная схема. Информационная строка с описанием требуемой схемы для выбранного вида расчёта (см. табл. 4.1). В строках ниже отображается текущее состояние схемы. Если параметры схемы отличаются от требуемых, то строка помечается

звёздочкой и выделяется малиновым цветом. Однако это не является препятствием для выполнения расчёта, поскольку, например, при нормальных эксплуатационных условиях на некоторых подстанциях могут использоваться резервные трансформаторы.

Введённые и откорректированные значения параметров для каждого расчётного режима фиксируются при нажатии кн. [ОК], после чего открывается окно запуска и отображения хода расчёта. Если необходимо изменить параметры схемы, то следует в окне расчёта нажать кнопку [Отмена], выполнить действия согласно, затем вновь открыть окно данных пунктом меню Проп.спос.

Определение режима нагрузки системы при параллельном графике (дополнительный вид расчёта) производится так же, как по заданным графикам движения.

При открытии файла базового графика движения все введённые исходные данные для расчётов пропускной способности сбрасываются. Перечисленные выше параметры, кроме размеров движения, принимают значения по умолчанию. Категория поездов соответствует последней в списке. Наибольшая масса поезда устанавливается равной базовой. Принимается нечётное направление для потока поездов в режиме *B*, а также для пакета на однопутном участке в режимах *A* и *B*.

Отображение и вывод результатов. Предварительный просмотр

Вычисленные характеристики пропускной способности отображаются в окне, которое открывается пунктом Отчёт Главного меню, а также автоматически по завершении расчёта.

На начальном этапе расчётов выполнятся проверка возможности пропуска одного поезда наибольшей массы поочерёдно в каждом направлении движения. Если в ходе проверки параметры режима выходят за допустимые нормы, то дальнейшее моделирование графиков не производится и отчёт принимает тот же вид, что и при определении нагрузки системы по заданному графику движения поездов.

При нормальном завершении расчёта пропускной способности отчёт содержит следующие разделы, которые выбираются для просмотра кнопками в окне слева:

- Итоговый отчёт – представлены основные параметры схемы и параллельного графика движения, использованного при расчётах, а также заданные и вычисленные результирующие значения допустимого интервала и количества поездов в режиме *A*. При наличии соединённых поездов общее количество указывается в одиночном исчислении.

- Доп. интервалы – минимальные допустимые интервалы, ограниченные в каждой межподстанционной зоне мощностью

понижающих трансформаторов, напряжением в контактной сети и нагревом проводов. В последней строке и колонке таблицы представлены наибольшие значения соответственно по указанным устройствам и зонам. Интервалы, превышающие заданное значение, отмечаются звёздочкой и выделяются красным цветом;

- Пропускная сп. – наибольшее число грузовых поездов (в одиночном исчислении при наличии соединённых), которое может быть пропущено за сутки в нечётном / чётном направлениях по каждой межподстанционной зоне исходя из нагрузочной способности перечисленных выше устройств. Количество поездов меньше заданного отмечается звёздочкой. Раздел доступен при расчётном режиме А;

- Огранич. устр-ва – перечень ограничивающих устройств подстанций и межподстанционных зон, которые не обеспечивают пропуск поездов с заданным интервалом, а также лимитируют заданное суточное количество грузовых поездов в режиме А. В таблице приняты обозначения: П – понижающий трансформатор, UN – контактная сеть пути N по напряжению, KNл,п – контактная сеть пути N по нагреву проводов вблизи левой, правой подстанции. В скобках приведены коэффициенты использования нагрузочной способности устройств при заданном значении межпоездного интервала.

Первые четыре кнопки, расположенные под заголовком окна, позволяют выбранный раздел отчёта: сохранить в текстовом файле (типа *.txt), добавить в существующий файл, распечатать и скопировать в буфер обмена. Пятая кнопка служит для создания отчётного документа по всем разделам.

Для осуществления расчета необходимо ввести параметры тяговой нагрузки – токи поезда в зависимости от расположения в каждый момент времени с заданным шагом. Эти параметры получены в результате тягового расчета.

Для расчета задается время моделирования – число циклов расчета с учетом принятого в параметрах тяговой нагрузки шага перемещения поездов, которое принимается в размере суток (1440 минут).

Результатом расчета являются расходы и потери электроэнергии по участку, средний и максимальный токи плеч каждой подстанции, наибольшие токи фидеров и температуры нагрева проводов подвески за период 1, 3 и 20 минут, ограничивающий коэффициент нагрузки трансформатора, минимальные значения напряжения в контактной сети по МПЗ. Все эти параметры определяются на основе имитационного моделирования.

Задавая по каждому пути график движения поездов и по полученным значениям напряжения в контактной сети и температуре нагрева проводов подвески, определяется минимальный межпоездной интервал, зная который, определяется пропускная способность N , пар поездов в сутки

$$N=1440/\theta,$$

где 1440 - количество минут в сутках;

θ - минимальный межпоездной интервал, мин.

Используя модуль программы «Расчеты нагрузок и пропускной способности системы 25 кВ», перейдите к расчету пропускной способности (рис.4.2).

Внесите данные по пропускной способности, укажите количество поездов по каждому из типов поездов и коэффициент токосяема для 1-ого и 2-ого путей (рис.4.3). Задайте межпоездной интервал, например, 11 мин.

Выберите «Расчет по графику движения» и введите следующие данные: продолжительность, период усреднения напряжения, и температуру воздуха (рис.4.3). Нажмите «Выполнить».

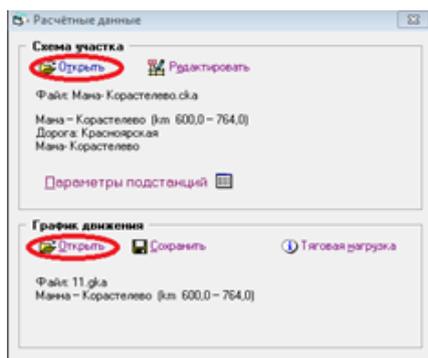


Рисунок 4.2 – Модуль программы КА_PN «Расчеты нагрузок и пропускной способности системы 25 кВ»

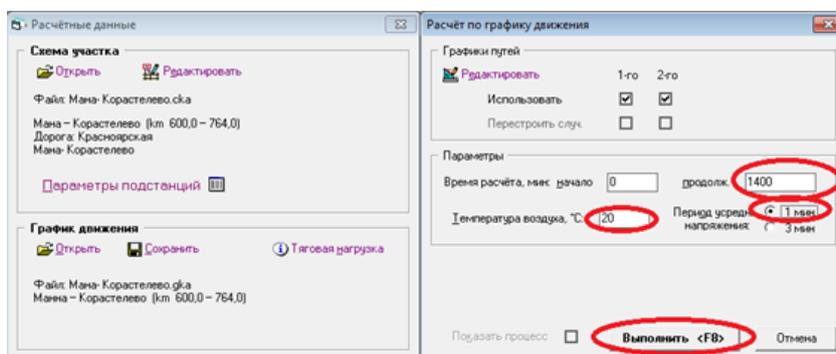


Рисунок 4.3 – Окно редактора «Расчет по графику движения»

Не забывайте после положительного результата сохранять отчеты.

Выполнив расчет, получите основные характеристики пропускной способности расчетного участка (рис. 4.4).

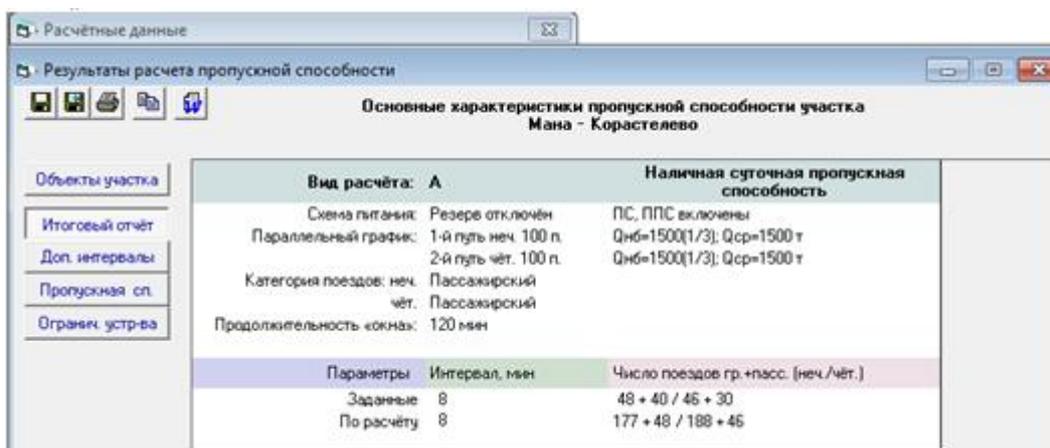


Рисунок 4.4 – Окно «Результаты расчета пропускной способности»

Произведите расчет по графику движения на заданном участке (рис.4.5).



Рисунок 4.5 – Окно «График движения»

Произведите расчет по графику движения на заданном участке. В результате программа позволяет просмотреть «Отчет», «Нагрузки подстанции», «Напряжение», «Нагрев проводов», «Расход энергии» (рис. 4.6).

В отчете представлена нагрузка тяговых подстанций, расход электроэнергии по объектам (активная и реактивная) и напряжение минимальное и среднее по межподстанционным зонам (рис. 4.7).

Если на какой-либо зоне расчетного участка напряжение в контактной сети снизилось до величины ниже предельно допустимой, эту зону необходимо усилить.

Расчеты с использованием программы моделирования позволяют решать задачи по выбору наиболее эффективных способов усиления системы тягового электроснабжения, при которых обеспечиваются нормируемые показатели по уровню напряжения на токоприемниках электровазов, температуре нагрева проводов контактной сети и допустимым перегрузкам силового оборудования тяговых подстанций.

Время расчета, мин: начало	0;	продолж.	1400; шаг 1,0
Температура воздуха, °С	30		
Использованы графики движ. путей	1-го, 2-го		
Расход энергии: активн., кВт·ч	748301;	потери в тяг. сети	15772 (2,1%)
реактивн., квар·ч	602171		
Огранич. коэф. нагрузки	2,01*	(доп. 2,0 1 мин) ЭЧЗ Корастелево	
темпер. трансформ., °С	66	(доп. 95* масл.) ЭЧЗ Корастелево	
Напряжения, кВ: минимальное	22,01	1-й путь зоны П16 - П24	
		поезд № 3 на км 707,18 в 135 мин	
	среднее 1-мин	22,01*	1-й путь зоны П16 - П24
			поезд № 3 на км 707,18
Огр. темпер., °С: в конт. сети	46	(доп. 95* 20 мин) Ф1 ЭЧЗ Корастелево	
в отсасывающей линии	48	(доп. 90* 20 мин) ЭЧЗ П16	

Рисунок 4.6 – Результаты расчета по графику движения

Выполните расчеты аналогично для узловой и параллельной схем питания и секционирования контактной сети.

Выполните расчеты при электрификации расчетного участка по системе постоянного тока СТЭ 3 кВ.

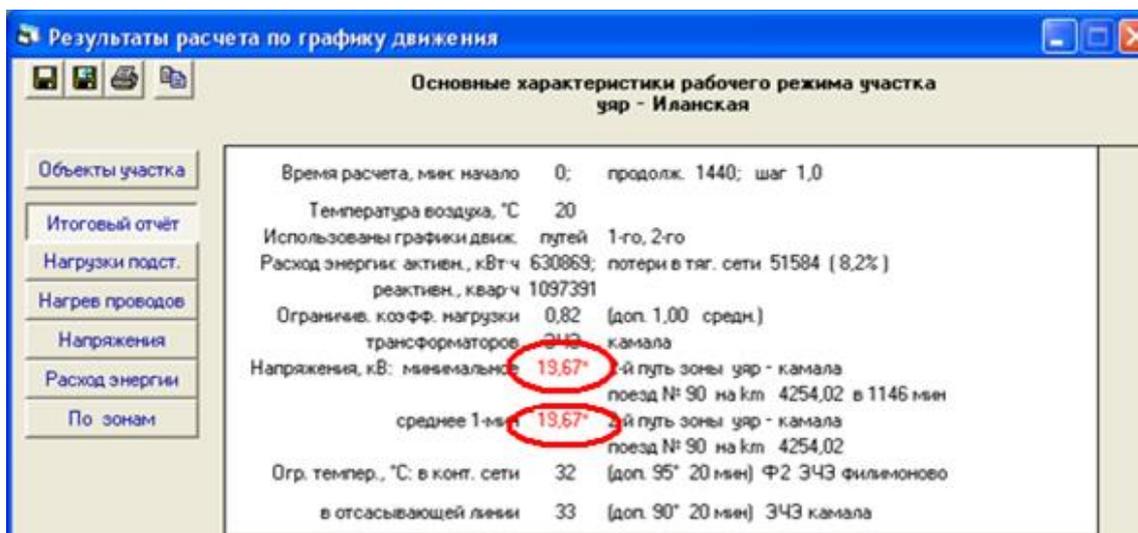


Рисунок 4.7 – Пример результата расчета
Контрольные вопросы

1. Как определяется минимальный межпоездной интервал?
2. За какой период определяется пропускная способность в работе? Напишите формулу.
3. Что относится к объектам зоны?
4. Что является границами секций тяговой сети разного сечения?
5. Какие исходные данные вводятся в модуле «Расчет по графику движения» для расчета пропускной способности?
6. Назовите критерии оценки пропускной способности для СТЭ 25 кВ.
7. Назовите критерии оценки пропускной способности для СТЭ 3 кВ.
8. Назовите основные характеристики системы тяги на переменном токе, и обрачаемых на расчетном участке поездов.
9. Какие схем питания контактной сети используются в работе? Нарисуйте их.
10. Назовите отличия 2-х систем электрической тяги.

Лабораторная работа №5. Расчет пропускной способности участка при использовании методов усиления

Цель работы - определение пропускной способности расчетного участка при использовании различных вариантов усиления (усиливающего провода, установки продольной или поперечной емкостной компенсации).

Лабораторная работа выполняется 4 часа.

К мероприятиям по повышению энергетической эффективности проектируемого участка железной дороги относятся следующие:

- а) применение тяговой сети с экранирующим и усиливающим проводами (при электрификации на переменном токе),
- б) увеличение сечения контактной подвески
- в) сооружение пунктов параллельного соединения подвесок путей
- г) замена шестипульсовых выпрямителей 12-пульсовыми;
- д) использование управляемых преобразователей на подстанциях и на специальных пунктах повышения напряжения, а также устройств компенсации реактивной мощности

Для отдельных межподстанционных зон значительной протяженности и имеющих сложный профиль пути возможен вариант строительства промежуточной тяговой подстанции.

Рассмотрите вариант прокладки усиливающего провода.

Для расчета пропускной способности с использованием методов усиления загрузите модуль КАUbas «Редактор схем системы 27,5 кВ».

Откройте схему, которую будете усиливать (например, «раздельная» (рис. 5.0)).

Выполняя предыдущую лабораторную работу, создавали схемы, добиваясь минимального межпоездного интервала. В данной работе необходимо так же добиться наименьшего межпоездного интервала и напряжения выше 21 кВ с применением усиливающего провода.

Например, при расчете пропускной способности возьмите раздельную схему питания и межпоездной интервал (допустим, 30 минут).

Пример результатов расчета приводится на рис. 5.1.

Рассмотрев результаты расчета модуля, выявите слабую межподстанционную зону, которую и необходимо усилить различными методами.

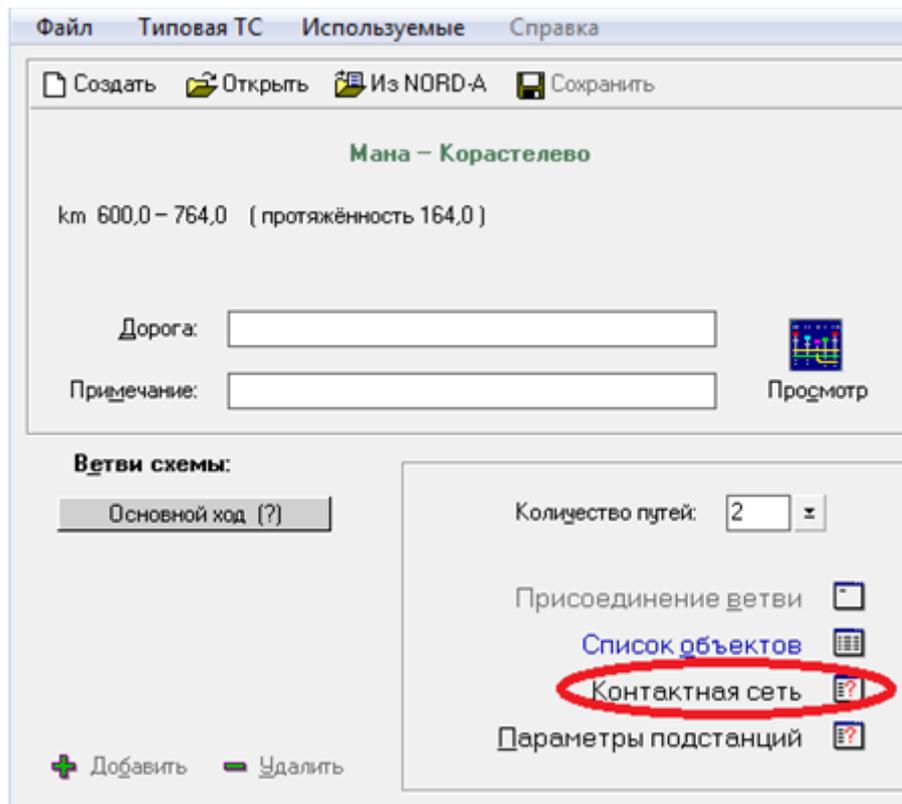


Рисунок 5.0 – Модуль «Редактор схем системы 27,5 кВ»

Перейдите в редактор «Контактная сеть» (рис. 5.0) и выберите параметры (рис. 5.2). Сделайте выбор марки усиливающего провода из Каталога тяговых сетей программного комплекса (рис. 5.3). Сохраните схему под наименованием «Схема с усиливающим проводом».

Рассмотрите наиболее эффективный способ усиления системы тягового электроснабжения, при котором обеспечиваются нормируемые критерии пропускной способности по температуре нагрева проводов контактной сети, уровню напряжения на токоприемниках электровозов и допустимым перегрузкам силового оборудования тяговых подстанций.

КОРТЭС - Расчёты режимов нагрузки системы переменного тока 27,5 кВ
 Вариант от 11.03.2014 15:19:05

Каталог: C:\Users\1\Desktop\МАНА КОРАСТЕЛЕВО\
 Файлы данных: Мана- корастелево.ска
 Мана- корастелево.gka

Основные характеристики рабочего режима участка
 Мана - Корастелево

Время расчета, мин: начало	0;	продолж.	60;	шаг	1,0
Температура воздуха, °С	20				
Использованы графики движ.	путей	1-го, 2-го			
Расход энергии: активн., кВт·ч	10301;	потери в тяг. сети	269	(2,6%)	
реактивн., квар·ч	8281				
Ограничив. коэфф. нагрузки	1,46	(доп. 2,0 1 мин)	ЭЧЭ Мана		
темпер. трансформ., °С	65	(доп. 95° масл.)	ЭЧЭ Мана		
напряжения, кВ: минимальное	22,17	1-й путь зоны Мана - П8			
		поезд № 1 на km	615,05	в 30 мин	
среднее 3-мин	22,74	1-й путь зоны Мана - П8			
		поезд № 1 на km	616,92		
Огр. темпер., °С: в конт. сети	26	(доп. 95° 20 мин)	Ф5 ЭЧЭ Мана		
в отсасывающей линии	23	(доп. 90° 20 мин)	ЭЧЭ Мана		

КОРТЭС - Расчёты пропускной способности системы переменного тока 27,5 кВ
 Вариант от 11.03.2014 15:24:36

Каталог: C:\Users\1\Desktop\МАНА КОРАСТЕЛЕВО\
 Файлы данных: Мана- корастелево.ска
 Мана- корастелево.gka

Рисунок 5.1 – Пример результатов расчета пропускной способности участка

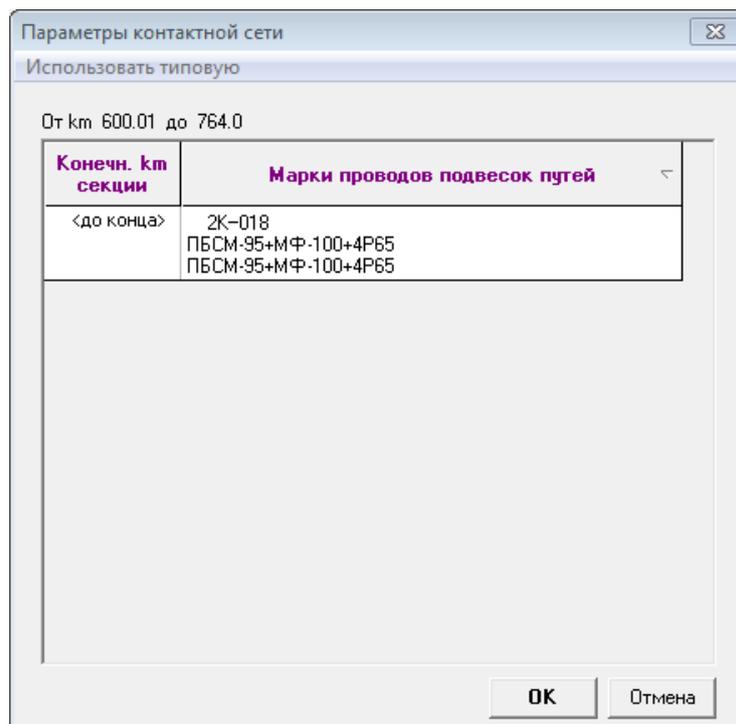


Рисунок 5.2 – Редактор «Параметры контактной сети»

Марки проводов подвесок и линий	Ртс, Ом/км	Хтс, Ом/км	Идоп, А
2К-016 ПБСМ-70+МФ-100+4Р65 ПБСМ-70+МФ-100+4Р65	0,195 0,195	0,441 0,441	825 825
2К-017 ПБСМ-70+МФ-100+А-185+4Р65 ПБСМ-70+МФ-100+А-185+4Р65	0,112 0,112	0,315 0,315	1360 1360
2К-018 ПБСМ-95+МФ-100+4Р65 ПБСМ-95+МФ-100+4Р65	0,182 0,182	0,428 0,428	884 884
2К-019 ПБСМ-95+МФ-100+А-185+4Р65 ПБСМ-95+МФ-100+А-185+4Р65	0,108 0,108	0,311 0,311	1403 1403
2К-020 ПБСМ-95+МФ-100+А-185+эА-185+4Р65 ПБСМ-95+МФ-100+А-185+эА-185+4Р65	0,107 0,107	0,238 0,238	1308 1308
2К-021 М-95+МФ-100+4Р65 М-95+МФ-100+4Р65	0,122 0,122	0,391 0,391	1170 1170
2К-022 М-95+МФ-100+А-185+4Р65 М-95+МФ-100+А-185+4Р65	0,087 0,087	0,297 0,297	1582 1582
2К-023 М-95+МФ-100+А-185+эА-185+4Р65 М-95+МФ-100+А-185+эА-185+4Р65	0,087 0,087	0,227 0,227	1450 1450

Просмотр **Выбрать** Закрыть

Рисунок 5.3 – Каталог тяговых сетей программы моделирования

Выполните усиление контактной подвески для отдельной схемы питания, но добавьте к усиливающему проводу экранирующий из каталога тяговых сетей.

Выполните расчет пропускной способности уже для схемы (раздельная + усиливающий + экранирующий провод).

Каталог устройств компенсации реактивной мощности состоит из двух таблиц параметров – отдельно для установок поперечной (КУ) и продольной (УПК) компенсации.

Устройства поперечной компенсации характеризуются значениями мощностей – номинальной (по количеству установленных конденсаторов) и полезной, реализуемой в сети.

Для каждого устройства продольной компенсации задается номинальная мощность и номинальный ток.

Импорт данных из каталога программ NORD-A осуществляется соответствующим пунктом Главного меню.

Рассмотрите вариант установки продольной емкостной компенсации. Большим преимуществом продольной емкостной компенсации в условиях частых и резких изменений тяговой нагрузки является ее полная автоматичность действия по компенсации реактивных составляющих потерь напряжения в тяговой сети, поскольку пропорционально изменению нагрузки меняются потери напряжения в индуктивном сопротивлении системы и емкостном

сопротивлении батареи конденсаторов, имеющие противоположные знаки. В результате этого напряжение остается стабильным.

Рассмотрим применение продольной компенсации (УПК) для раздельной схемы питания (рис. 5.4, рис. 5.5).

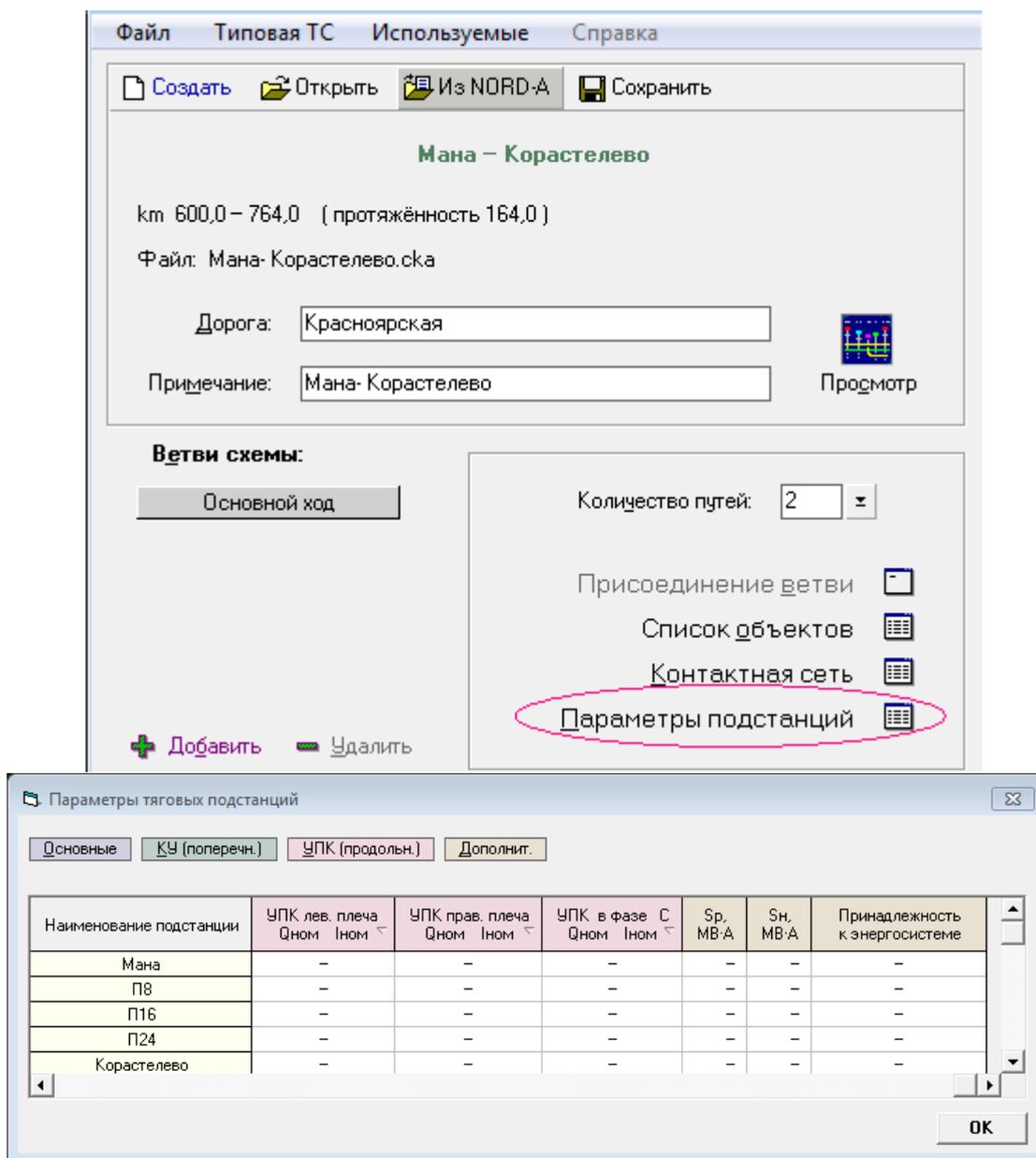


Рисунок 5.4 – Применение компенсирующих устройств

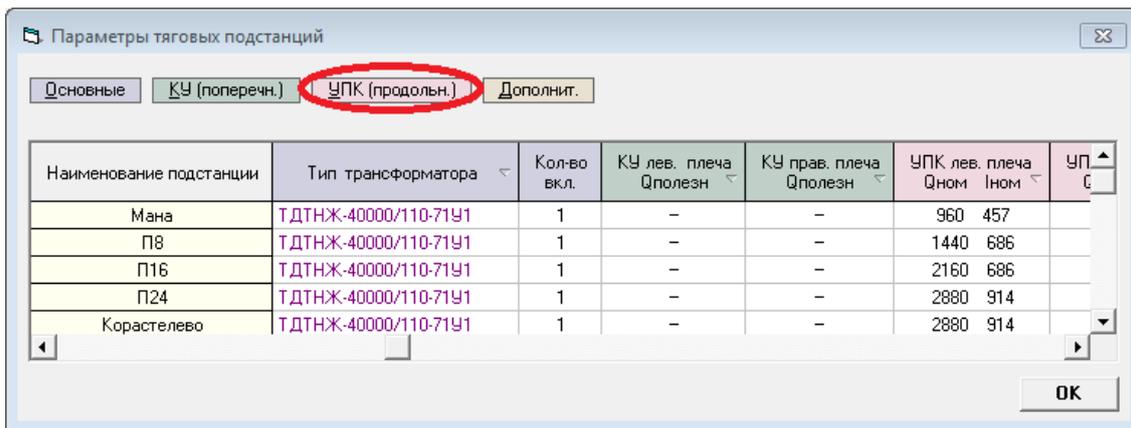


Рисунок 5.5 – Пример применения продольной емкостной компенсации

В результате применения методов усиления выполните расчет пропускной способности участка, как показано на примере рис. 5.6.

КОРТЭС - Расчёты режимов нагрузки системы переменного тока 27,5 кВ
Вариант от 11.03.2014 15:19:05

каталог: C:\Users\1\Desktop\МАНА КОРАСТЕЛЕВО\
Файлы данных: Мана- Корастелево.ска
Мана- Корастелево.gka

Основные характеристики рабочего режима участка
Мана - Корастелево

Время расчета, мин: начало	0;	продолж.	60;	шаг	1,0
Температура воздуха, °С	20	Использованы графики движ.	путей	1-го, 2-го	
Расход энергии: активн., кВт·ч	10301;	реактивн., квар·ч	8281	потери в тяг. сети	269 (2,5%)
Ограничив. коэфф. нагрузки	1,46	темпер. трансформ., °С	65	напряжения, кВ: минимальное	23,14
напряжения, кВ: среднее 3-мин	23,46				
Огр. темпер., °С: в конт. сети	26	в отсасывающей линии	22		

(доп. 2,0 1 мин) ЭЧЭ Мана
(доп. 95° масл.) ЭЧЭ Мана
1-й путь зоны Мана - П8
поезд № 1 на км 615,05 в 30 мин
1-й путь зоны Мана - П8
поезд № 1 на км 616,92
(доп. 95° 20 мин) Ф5 ЭЧЭ Мана
(доп. 90° 20 мин) ЭЧЭ Мана

КОРТЭС - Расчёты пропускной способности системы переменного тока 27,5 кВ
Вариант от 11.03.2014 15:26:46

каталог: C:\Users\1\Desktop\МАНА КОРАСТЕЛЕВО\
Файлы данных: Мана- Корастелево.ска
Мана- Корастелево.gka

Рисунок 5.6 – Пример расчета пропускной способности участка при использовании методов усиления

После того как сохранили итоговый отчет в этот же файл вкладываем отчет расхода электроэнергии как показано на рис. 5.7, рис. 5.8).

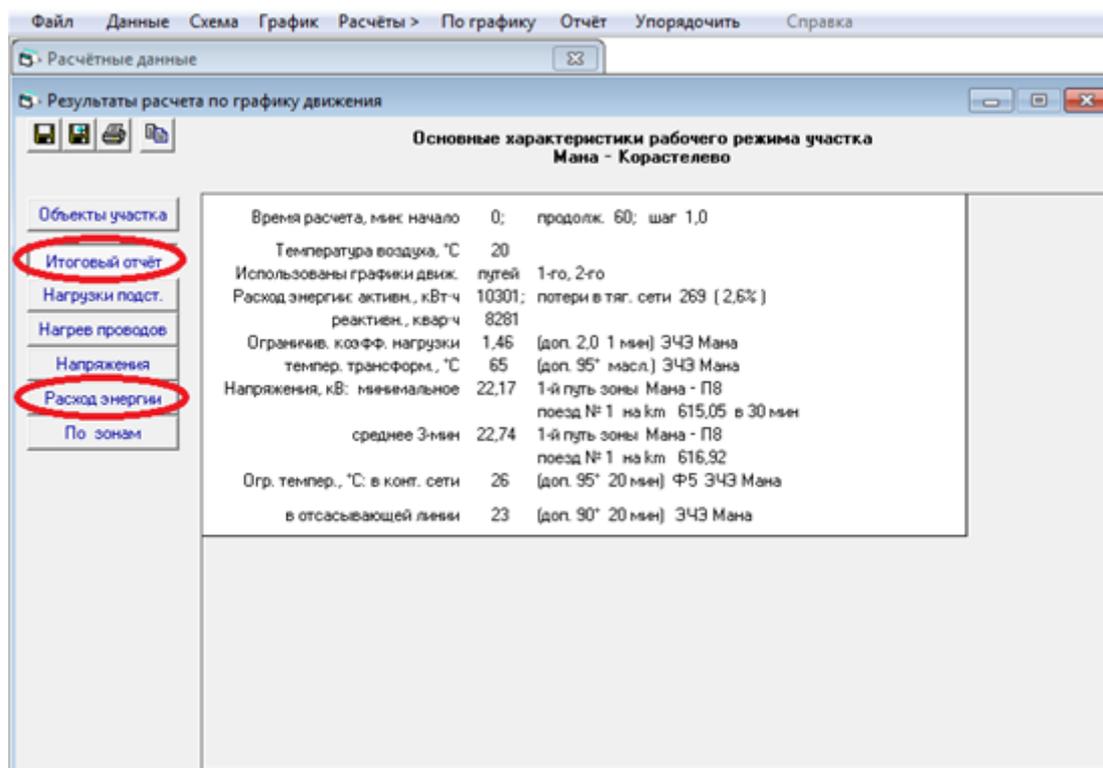


Рисунок 5.7 – Окно «Результаты расчета по графику движения»

Расход и потери электроэнергии

наименования энергосистем подстанции	Полный, кВ·А·ч	Активн, прием	кВт·ч возвр.	Реакт. , прием	квар·ч возвр.	потери нагруз.	в тр-рах х. х.
–	962370	748495	197	603134	963		
Мана	118318	99610	0	64800	949	305	1470
п8	236473	191164	0	139197	0	653	1470
п16	239603	187116	0	149671	13	675	1470
п24	231836	172787	40	154618	0	641	1470
корастелево	136140	97819	156	94849	2	474	1470
всего по участку	962370	748495	197	603134	963	2747	7350

Рисунок 5.7 – Пример отчета

Рассмотрите вариант установки поперечной емкостной компенсации для раздельной схемы питания (рис. 5.9). Выполните отчет, выделяя слабые МПЗ и примените поперечную компенсацию. Проверьте пропускную способность. Не забывайте сохранять файлы.

Полезную мощность КУ выбрать по средней за период моделирования реактивной мощности потребляемой на участке кратно одной секции ФКУ (3000 кВАр).

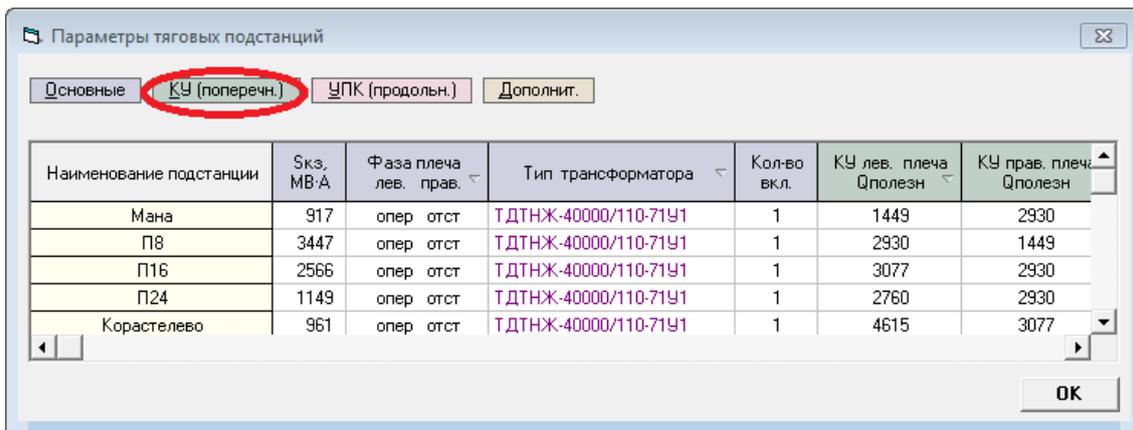


Рисунок 5.9 – Применение поперечной емкостной компенсации

Контрольные вопросы

1. Объясните понятие «слабой зоны».
2. Назовите критерии оценки пропускной способности для СТЭ 25 кВ.
3. Назовите критерии оценки пропускной способности для СТЭ 3 кВ.
4. Какие методы усиления можно использовать при электрификации участка по СТЭ 25 кВ?
5. Какие преимущества и недостатки способов усиления для СТЭ 25 кВ?
6. Где в Ваших расчетах находится слабая МПЗ (между какими подстанциями)?
7. Где могут размещаться устройства поперечной емкостной компенсации?
8. Где могут размещаться устройства продольной емкостной компенсации?
9. При сколько включенных ППС будут наименьшие потери на расчетном участке?

Лабораторная работа №6. Сравнительный анализ двух систем электрической тяги для расчетного участка

Цель работы – сравнительный анализ системы тягового электроснабжения постоянного и переменного тока расчетного участка, обоснование выбора СТЭ.

Лабораторная работа выполняется 2 часа.

Выполните сравнительный анализ двух систем электрической тяги при электрификации расчетного участка. Заполните таблицу 5.1.

Таблица 5.1 - Сравнительный анализ двух систем электрической тяги при электрификации расчетного участка

Система тягового электроснабжения	СТЭ 25 кВ	СТЭ 3 кВ
Средние потери в тяговой сети, %		
Средняя температура нагрева проводов, °С		
Количество тяговых подстанций на расчетном участке, шт.		
Расстояние между тяговыми подстанциями, км		
Слабая межподстанционная зона		
Минимальный уровень напряжения на расчетном участке, кВ		
Максимальный уровень напряжения на расчетном участке, кВ		
Максимально достигнутая пропускная способность		

Заключение

Перечень реализованных возможностей представлен в Центре управления программы моделирования. Благодаря широкому применению программы моделирования за короткий срок студент может выполнить варианты расчеты параметров системы тягового электроснабжения для условий пропуска поездов весом 6, 8, 9 и 12 тыс. тонн в системах СТЭ 25 кВ и СТЭ 3 кВ.

Результаты расчетов могут быть использованы при планировании мероприятий по подготовке к обеспечению тяжеловесного движения на каждом конкретном участке, где режим работы тягового электроснабжения ограничивается нормируемыми показателями.

Расчеты с использованием программы моделирования помогают студенту научиться решать задачи по выбору наиболее эффективных способов усиления системы тягового электроснабжения, при которых обеспечиваются нормируемые показатели по уровню напряжения на токоприемниках электропоездов, температуре нагрева проводов контактной сети и допустимым перегрузкам силового оборудования тяговых подстанций.

Библиографический список

1. Комплекс программ для расчётов систем тягового электроснабжения. Общее руководство пользователя. М.: ВНИИЖТ, 2003. – 12 с.
2. Туйгунова А.Г. Система автоматизированного проектирования электроснабжения железных дорог : методические указания по выполнению комплексной лабораторной работы «Сравнительный анализ двух систем электрической тяги при электрификации расчётного участка и проверка пропускной способности» / А.Г. Туйгунова. – Красноярск: КрИЖТ ИрГУПС, 2010. – 60 с.
3. Основы компьютерного проектирования и моделирования устройств электроснабжения : методические указания по выполнению лабораторных работ. – Красноярск: КрИЖТ ИрГУПС, 2014. – 82 с.
4. Марквардт К.Г. Электроснабжение электрифицированных железных дорог: Учебник для вузов ж.д. трансп. – М.: Транспорт, 1982. – 528 с.
5. Пронтарский А.Ф. Системы и устройства электроснабжения: Учебник для вузов ж.д. трансп. - М.: Транспорт, 1979. – 264 с.
6. Программа КОРТЭС. Комплекс расчетов тягового электроснабжения [Электронный ресурс] : бесплатная версия // Сайт для студентов-заочников железнодорожных учебных заведений. – Режим доступа: <http://lokomotivref.ru/p0029.htm>. – Дата обращения 01.03.2017.

Таблица – Варианты задания лабораторной работы

Номер варианта	Участок железной дороги	Длина электрифицируемого участка, км	Число элементов пути	Длина элементов пути, эл х км	
				первые	последний
1	2	3	4	5	6
1	Чарыш-Камышта	154	31	30 эл х 5 км	4 км
2	Бискамба-Ташеба	171	35	34 эл х 5 км	1 км
3	Тяжин-Ачинск I	140	28	27 эл х 5 км	5 км
4	Крупская-Кошурниково	133	27	26 эл х 5 км	3 км
5	Лесосибирск-Суриково	172	35	34 эл х 5 км	2 км
6	Чернореченская-Енисей	149	30	29 эл х 5 км	4 км
7	Саянская-Тарбинский	173	35	34 эл х 5 км	3 км
8	Мана-Корастелёво	164	33	32 эл х 5 км	4 км
9	Уяр-Канск-Енисейский	115	23	22 эл х 4 км	4 км

Продолжение таблицы

1	2	3	4	5	6
10	Канск-Енисейский-Юрты	145	29	28 эл х 5 км	5 км
11	Крол-Саянская	142	29	28 эл х 5 км	2 км
12	Учум-Тисин	119	24	23 эл х 5 км	4 км
13	Ханкуль-Туба	141	29	28 эл х 5 км	1 км
14	Камарчага-Филимоново	149	30	29 эл х 5 км	4 км
15	Критово-Кача	169	34	33 эл х 5 км	4 км
16	Журавлёво-Мана	137	28	27 эл х 5 км	2 км
17	Ташеба-Аскиз	183	37	36 эл х 5 км	3 км
18	Бугач-Уяр	138	28	27 эл х 5 км	3 км
19	Иланская-Бирюсинск	127	26	25 эл х 5 км	2 км
20	Предметкино-Зерцалы	173	35	34 эл х 5 км	3 км
21	Шира-Оросительный	169	34	33 эл х 5 км	4 км
22	Мариинск-Боготол	133	27	26 эл х 5 км	3 км

Продолжение таблицы

1	2	3	4	5	6
23	Боготол-Косачи	149	30	29 эл х 5 км	4 км
24	Чульжан-Нанхчул	140	28	27 эл х 5 км	5 км
25	Малая Кеть-Лесосибирск	130	26	25 эл х 5 км	5 км
26	Сорокино-Камала	128	26	25 эл х 5 км	3 км
27	Уяр-Иланская	147	30	29 эл х 5 км	2 км
28	Ачинск-Красноярск	185	37	36 эл х 5 км	5 км
29	Саянская-Ельник	130	26	25 эл х 5 км	5 км
30	Кемчуг-Красноярск- Восточный	121	25	24 эл х 5 км	1 км
31	Енисей-Громадская	138	28	27 эл х 5 км	3 км
32	Шира-Марьясово	128	26	25 эл х 5 км	3 км
33	Уйбат-Шос	146	30	29 эл х 5 км	1 км
34	Теба-Биркчул	137	28	27 эл х 5 км	2 км
35	Сон-Копьева	122	25	24 эл х 5 км	2 км

Продолжение таблицы

1	2	3	4	5	6
36	Курагино-Метугул-Тайга	155	39	38 эл х 4 км	3 км