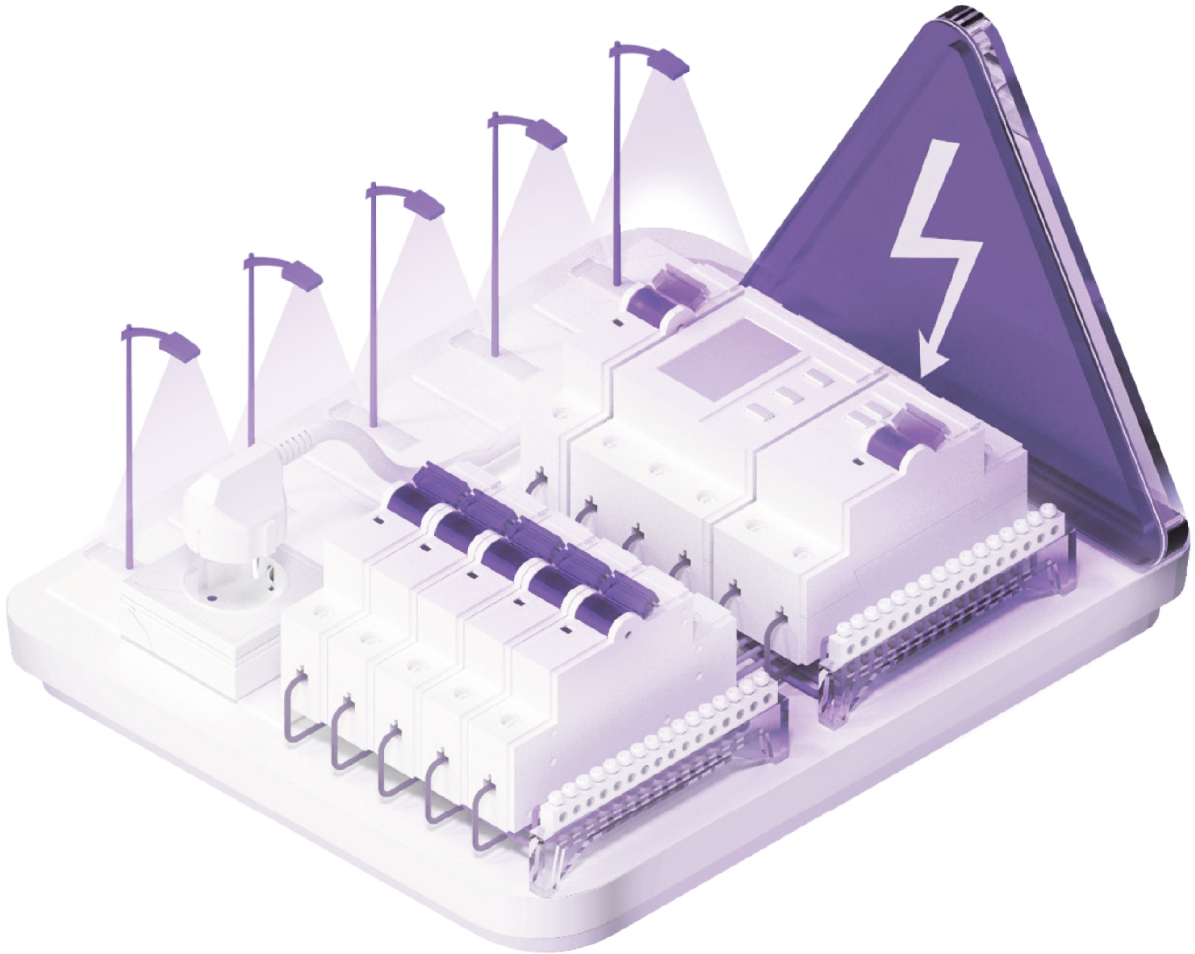
Библиотека СОК

О. Н. Козменков

Академическая библиотека Нанософт

ПРОЕКТИРОВАНИЕ И РАСЧЕТ СИСТЕМ ЭЛЕКТРОСНАБЖЕНИЯ 0,4 КВ ПРЕДПРИЯТИЙ ТРАНСПОРТА

nanoCAD BIM Электро



нанософт

nanoCAD
ИНЖЕНЕРНАЯ ПЛАТФОРМА

О. Н. Козменков

Проектирование и расчет систем электроснабжения 0,4 кВ предприятий транспорта в nanoCAD BIM Электро

Учебное пособие из серии
«Академическая библиотека Нанософт»

Рекомендовано ФГБОУ ВО ПривГУПС
при реализации образовательных программ высшего образования
по направлениям подготовки, связанным с проектированием
и эксплуатацией систем электроснабжения объектов
транспортной инфраструктуры

ДМК Пресс
издательство
Москва, 2026

УДК 656:621.316:004.42nanoCAD BIM Электро(075.8)
ББК 39.1ся73+31.28ся73
К59

Р е ц е н з е н т ы:

М. В. Шевлюгин, доктор технических наук, доцент, заведующий кафедрой «Электроэнергетика транспорта» ФГАОУ ВО «Российский университет транспорта»;

Д. Н. Моргунов, к. т. н., директор ООО ПТП «Энергостандарт».

Козменков О. Н.

К59 Проектирование и расчет систем электроснабжения 0,4 кВ предприятий транспорта в nanoCAD BIM Электро / О. Н. Козменков. – М.: ДМК Пресс, 2026. – 324 с.: ил.

ISBN 978-5-93700-487-1

Учебное пособие предназначено для студентов направлений «Электроэнергетика и электротехника», «Техника и технологии наземного транспорта», «Электроснабжение промышленных предприятий», а также специалистов по информационному моделированию инженерных систем.

Рассмотрены особенности проектирования систем электроснабжения 0,4 кВ для транспорта с практическим освоением BIM-технологий в nanoCAD BIM Электро 25.0. Описаны этапы создания информационной модели: от настройки проекта до выпуска документации по ГОСТ. Изложены теоретические основы автоматизированного проектирования, нормативная база (ЕСКД, СПДС, ПУЭ), приемы расчета освещения, нагрузок (РТМ 36.18.32.4-92), токов КЗ, потерь и утечек.

Особое внимание уделено проверке проекта, формированию 3D-модели и чертежей. Каждый параграф содержит контрольные вопросы, в конце приведены практические задания по полному циклу проектирования. Материал основан на актуальных нормативах (ПУЭ, СП 256, ГОСТ Р 21.101–2026), проиллюстрирован схемами и скриншотами. Пособие подходит для аудиторной и самостоятельной работы.

УДК 656:621.316:004.42nanoCAD BIM Электро(075.8)
ББК 39.1ся73+31.28ся73

Копирование и использование материалов допускается при условии указания источника: © Козменков О. Н., ООО «Нанософт разработка», 2026

ISBN 978-5-93700-487-1

© Козменков О. Н., ООО «Нанософт разработка», 2026
© Оформление, издание, ДМК Пресс, 2026

Оглавление

Введение 6

Глава 1. Основы автоматизированного проектирования в электроэнергетике 8

§ 1.1. Эволюция подходов к проектированию 8
Контрольные вопросы к § 1.1 12
§ 1.2. Классификация САПР 12
Контрольные вопросы к § 1.2 15
§ 1.3. Нормативная база проектирования систем электроснабжения 0,4 кВ 15
Контрольные вопросы к § 1.3 23

Глава 2. Начало работы. Интерфейс nanoCAD BIM Электро 24

§ 2.1. Интерфейс пользователя: менеджер проекта, настройка проекта 24
Установка программы nanoCAD 24
2.1.1. Интерфейс программы 24
2.1.2. Менеджер проекта 26
2.1.3. Настройка проекта 31
2.1.4. Настройка слоев, конфигураций слоев платформы nanoCAD, nanoCAD BIM Электро 34
Контрольные вопросы к § 2.1 36
§ 2.2. План объекта проектирования. Архитектурная подоснова, создание этажей, помещений, свойства помещений 36
Контрольные вопросы к § 2.2 48
§ 2.3. Базы данных как основа информационного моделирования 48
Контрольные вопросы к § 2.3 57
Практическое задание № 1 58

Глава 3. Разработка информационной модели объекта проектирования в nanoCAD BIM Электро 63

§ 3.1. Моделирование и расчет системы освещения в nanoCAD BIM Электро 63
§ 3.1.1. Расчет освещения методом коэффициента использования 66
§ 3.1.2. Расчет освещения точечным методом 67
§ 3.1.3. Моделирование системы освещения в nanoCAD BIM Электро 69
Контрольные вопросы к § 3.1 78
§ 3.2. Моделирование силового оборудования и технологических электроприемников 79
§ 3.2.1. Автоматизированный расчет нагрузок и моделирование технологического оборудования в nanoCAD BIM Электро 82
§ 3.2.2. Выбор и моделирование электроустановочных изделий в nanoCAD BIM Электро 92
Контрольные вопросы к § 3.2 101
§ 3.3. Распределительные устройства: классификация, конструкция и выбор электрических щитов 102
Контрольные вопросы к § 3.2 113
Практическое задание № 2 114

Глава 4. Расчет электрических нагрузок и выбор основного электрооборудования распределительной сети 0,4 кВ предприятия 133

§ 4.1. Общая характеристика, классификация и особенности электропотребления предприятий транспорта 133
Контрольные вопросы к § 4.1 138
§ 4.2. Основные методы расчета электрических нагрузок предприятий транспорта 138
Контрольные вопросы к § 4.2 147
§ 4.3. Настройка параметров вышестоящей сети в nanoCAD BIM Электро 147
Контрольные вопросы к § 4.3 150
§ 4.4. Расчет мощности и выбор трансформатора 151
Контрольные вопросы к § 4.4 158
§ 4.5. Выбор коммутационных защитных аппаратов и обеспечение селективности 158
4.5.1. Выбор предохранителей 159
4.5.2. Выбор автоматических выключателей 160
4.5.3. Выбор устройств защитного отключения (УЗО) 163
4.5.4. Выбор автоматических выключателей дифференциального тока (АВДТ) 164
4.5.5. Селективность срабатывания защиты 165
Контрольные вопросы к § 4.5 166
§ 4.6. Выбор кабеля и расчет сечения проводников 167
Контрольные вопросы к § 4.6 174
Практическое задание № 3 175

Глава 5. Разработка и проверка электротехнической модели системы электроснабжения в nanoCAD BIM Электро 187

§ 5.1. Распределение и подключение электроприемников в nanoCAD BIM Электро 187
Контрольные вопросы к § 5.1 196
§ 5.2. Кабельные трассы и кабеленесущие системы 196
Контрольные вопросы к § 5.2 210
§ 5.3. Выбор защитных и коммутационных аппаратов в nanoCAD BIM Электро 210
Контрольные вопросы к § 5.3 220
§ 5.4. Выбор и прокладка кабеля в nanoCAD BIM Электро 221
Контрольные вопросы к § 5.4 228
Практическое задание № 4 228

Глава 6. Методы и средства верификации проекта в nanoCAD BIM Электро 237

§ 6.1. Проверка проекта системы электроснабжения в nanoCAD BIM Электро 237
Контрольные вопросы к § 6.1 241
§ 6.2. Инструменты проверки проекта в nanoCAD BIM Электро 241
Контрольные вопросы к § 6.2 259
Практическое задание № 5 259

Глава 7. Оформление и выпуск проектной документации в nanoCAD BIM Электро 264

§ 7.1. Основные подходы и требования к выпуску проектной документации 264
Контрольные вопросы к § 7.1 268
§ 7.2. Пояснительная записка и оформление чертежей в nanoCAD BIM Электро 268
7.2.1. Пояснительная записка в составе проектной документации 268
7.2.2. Оформление чертежей в nanoCAD BIM Электро 271
7.2.3. Расстановка выносок и сечений в nanoCAD BIM Электро 274
Контрольные вопросы к § 7.2 276

§ 7.3. Формирование выходной проектной документации в nanoCAD BIM Электро 277
Контрольные вопросы к § 7.3 287
§ 7.4. Построение информационной модели в nanoCAD BIM Электро 288
Контрольные вопросы к § 7.4 291
§ 7.5. Нормоконтроль проектной документации 292
Контрольные вопросы к § 7.5 294
Практическое задание № 6 294

Глоссарий 310

Список использованной литературы 315

Заключение 321

Введение

Учебное пособие разработано для специальностей высшего и среднего профессионального образования, связанных с проектированием и эксплуатацией инженерных систем объектов промышленных предприятий и транспортной инфраструктуры по направлениям подготовки «Электроэнергетика и электротехника», «Техника и технологии наземного транспорта», «Электроснабжение промышленных предприятий».

Актуальность пособия обусловлена необходимостью подготовки инженерных кадров, владеющих современными BIM-технологиями, которые становятся обязательными для проектирования объектов капитального строительства, включая транспортные предприятия. Внедрение BIM-подходов позволяет повысить качество проектных решений, сократить сроки разработки документации, минимизировать коллизии на этапе строительства и создать основу для управления объектом на протяжении всего жизненного цикла. В качестве инструментария выбрана отечественная САПР nanoCAD BIM Электро, которая поддерживает российские нормативные требования (ГОСТ, СП, ПУЭ) и активно внедряется в проектную практику.

Цель пособия – сформировать у обучающихся системные знания и практические навыки в области проектирования систем внутреннего электроснабжения (напряжением до 1 кВ) для предприятий транспорта с использованием BIM-технологий в среде nanoCAD BIM Электро.

Задачи пособия:

- ознакомить с теоретическими основами автоматизированного проектирования, классификацией САПР и нормативной базой (ЕСКД, СПДС, ПУЭ, отраслевые нормы);
- изучить интерфейс и инструменты nanoCAD BIM Электро, освоить создание и настройку проекта, работу с архитектурной подосновой, этажами, помещениями и слоями;
- научить выполнять расчет и моделирование систем освещения (рабочего, аварийного, дежурного) методами коэффициента использования и точечным методом;
- сформировать компетенции по формированию технологического задания, расчету электрических нагрузок, выбору трансформаторов, коммутационных аппаратов, кабелей и кабеленесущих систем;
- развить навыки проектирования систем электроснабжения до 1 кВ;
- освоить инструменты проверки проекта и устранения типичных ошибок в проекте;
- научить оформлять чертежи по ГОСТ, строить 3D-модель, формировать выходную документацию.

Структура пособия включает семь глав, последовательно отражающих логику проектирования: от общих положений и начальной настройки до разработки информационной модели, расчетов, выбора оборудования, верификации проекта и выпуска документации. Каждый параграф содержит аннотацию, теоретический материал с таблицами и рисунками, а также контрольные вопросы для самопроверки. Завершают пособие сквозные практические задания, охватывающие полный цикл проектирования системы электроснабжения для участка ремонта подвижного состава (транспортное предприятие). Задания имеют четкие критерии выполнения, что позволяет использовать их для текущего и итогового контроля знаний.

Для эффективного освоения материала рекомендуется использовать комплексный подход к изучению каждой главы.

Он включает:

- изучение теоретического материала учебника;
- проверку знаний с помощью контрольных вопросов в конце главы;
- прохождение теста;
- выполнение практического задания;
- файлы проекта в формате dwg.

Скачать дополнительные материалы

Дополнительные материалы, включающие презентации для лекций, вопросы для теста и файлы проекта, можно скачать по ссылке https://clck.ru/3TfRy7 или отсканировать QR-код.

Практическая значимость заключается в том, что после изучения пособия обучающийся сможет самостоятельно разработать рабочий проект внутреннего электроснабжения транспортного предприятия (депо, АТП, ремонтной мастерской) в среде nanoCAD BIM Электро, выполнить все необходимые расчеты, проверить модель на ошибки и оформить документацию по ГОСТ. Полученные компетенции востребованы в проектных организациях, эксплуатирующих службах и при выполнении выпускных квалификационных работ.

Пособие предназначено для аудиторной работы под руководством преподавателя, а также для самостоятельного изучения. Для закрепления материала рекомендуется выполнять практические задания последовательно, не пропуская этапы, так как каждый последующий параграф опирается на результаты предыдущих.

Автор выражает благодарность компании ООО «Нанософт разработка» за предоставленную возможность использования программного продукта в учебном процессе, а также всем коллегам и рецензентам, чьи замечания и предложения способствовали улучшению содержания пособия.

Автор выражает надежду, что данное пособие поможет студентам и начинающим инженерам уверенно войти в мир BIM-проектирования систем электроснабжения и станет надежным помощником в их профессиональной деятельности.

ГЛАВА 1

Основы автоматизированного проектирования в электроэнергетике

§ 1.1. Эволюция подходов к проектированию

До появления компьютеров процесс проектирования полностью основывался на ручных операциях. Инженеры и чертежники использовали кульманы (чертежные доски), рейсшины, лекала, карандаши и туши для создания проектной документации. Каждый чертеж (план, разрез, схема) выполнялся вручную в масштабе. Внесение изменений было крайне трудоемким процессом, часто требующим перерисовки всего листа. Создание согласованных комплектов документации для сложных объектов, таких как электростанции или подстанции, занимало месяцы и годы, а риск ошибок из-за «человеческого фактора» был высок.

С появлением персональных компьютеров началась эра компьютерного проектирования. Первым ее этапом стало внедрение 2D-систем автоматизированного проектирования (2D-САПР). Эти системы стали «электронным кульманом». Принцип работы заключался в создании геометрических фигур (линий, дуг, окружностей) в цифровом пространстве, их редактировании и компоновке на виртуальных листах для последующей печати (рис. 1.1).



Рис. 1.1. Эволюция средств проектирования

Система автоматизированного проектирования (САПР) – это организационно-техническая система, предназначенная для выполнения проектных работ с применением вычислительной техники, которая позволяет создавать цифровые модели изделия (или объекта) и конструкторско-технологическую документацию к нему [43, 44]. Внедрение систем двумерного автоматизированного проектирования (2D-САПР) обеспечило значительный прогресс по сравнению с традиционными методами ручного черчения и привело к ряду преимуществ, а именно:

1) высокая скорость редактирования (возможность копирования, перемещения, масштабирования элементов);
2) аккуратность и точность (точное задание координат и размеров);
3) слои и шаблоны (организация информации на слоях (например, отдельно силовая часть, отдельно АСУ ТП) и использование библиотек стандартных элементов);
4) цифровое хранение и передача (упрощение архивирования и обмена чертежами) [44].

Существенными недостатками 2D-подхода к проектированию считаются:

1) отсутствие интеллектуальных связей (чертеж – это набор линий, геометрических фигур; изменение одного параметра (например, длины кабельной трассы на плане) не влечет автоматического пересчета спецификации или изменения разреза);
2) проблемы согласованности (несоответствия между разными чертежами (планами, разрезами, схемами) выявляются только при ручной проверке);
3) отсутствие трехмерного контекста (сложность пространственной координации оборудования, кабельных трасс и т. п.) [60].

В электроэнергетике 2D-САПР долгое время оставались стандартом для выполнения принципиальных электрических схем, планов расположения оборудования на подстанциях, трасс прокладки кабельных линий. Однако для проектирования сложных объектов недостатки 2D-подхода становились критичными, приводя к коллизиям на этапе строительства и монтажа.

Следующим эволюционным скачком стало появление концепции информационного моделирования зданий и сооружений **(BIM, Building Information Modeling)**. **BIM** – это не просто программное обеспечение, это технология управления жизненным циклом объекта на основе единой информационной модели [60, 66].

В отличие от САПР, где создаются геометрические чертежи, в BIM создаются интеллектуальные объекты. Каждый объект (например, трансформатор, ячейка комплектного распределительного устройства и т. п.) обладает не только геометрической формой, но и набором атрибутов (свойств): тип, модель, производитель, электрические параметры (мощность, напряжение), срок службы, стоимость, ссылки на эксплуатационную документацию.

Ключевые отличия BIM от классической САПР (рис. 1.2):

1) объектно-ориентированное моделирование (модель состоит из объектов, наполненных информацией об их свойствах (атрибутами), а не только из линий и геометрических фигур);

2) трехмерность (исходная модель всегда пространственная (3D), а необходимые 2D-виды (планы, разрезы) генерируются из нее автоматически);
3) единая база данных (вся информация об объекте хранится в единой базе данных и доступна в любой момент времени). Изменение параметра объекта в одном виде мгновенно отображается во всех других видах и документах (спецификациях, ведомостях);
4) многомерность (3D+): помимо 3D-геометрии, модель может включать данные о времени (4D – строительное планирование), стоимости (5D – смета), эксплуатации (6D) и т. д.



Рис. 1.2. Отличия классического проектирования в САПР от BIM

Исходя из вышесказанного, **BIM-подход к проектированию обладает следующими преимуществами** (рис. 1.3):

1) выявление коллизий (программное обеспечение автоматически проверяет наложение строительных конструкций, трубопроводов, кабельных трасс, вентиляции на ранней стадии проектирования);
2) согласованность документации (все виды, разрезы и спецификации формируются из одной модели, что исключает ошибки несоответствия);
3) улучшение взаимодействия (разные специалисты (архитекторы, конструкторы, электрики) работают с единой моделью, что повышает слаженность работы);
4) основа для управления (информационная модель становится основой для строительства, эксплуатации, ремонта и даже утилизации объекта) [60, 68].



Рис. 1.3. Преимущества BIM-проектирования

К основным сложностям внедрения технологии информационного моделирования можно отнести:

1) высокие первоначальные затраты (на лицензии программного обеспечения (ПО), обучение персонала, модернизацию аппаратного обеспечения);
2) необходимость изменения процессов (требуется реорганизация всего процесса работы проектной организации, внедрение новых стандартов);
3) правовые и нормативные вопросы (необходимость признания цифровой информационной модели официальным документом наравне с бумажными чертежами) [34, 39].

В электроэнергетике BIM позволяет комплексно проектировать объекты с высокой степенью детализации. Например, BIM-модель подстанции включает не только расположение трансформаторов и распределительных устройств, но и всю кабельную разводку с учетом допустимых радиусов изгиба, нагрузки на кабельные конструкции, нагрев и т. п. Это позволяет точно рассчитать метраж кабеля, заранее изготовить конструкции, оптимизировать логистику и монтаж, создавать «цифровых двойников» для управления сетями [68].

Сравнение этапов эволюции технического проектирования (табл. 1.1) показывает последовательное развитие технологий проектирования, качественные

изменения в подходах к работе с проектной документацией и преимущества современных методов перед традиционными. Особенно важно отметить, что BIM-технология представляет собой качественный скачок в развитии проектирования, обеспечивая не просто автоматизацию, а создание целостной информационной среды для управления проектом.

Таблица 1.1. Сравнение этапов эволюции технического проектирования

Критерий сравнения	Классическое черчение	2D-САПР	BIM-технология
Носитель информации	Бумажный чертеж (схема)	Цифровой файл чертежа (схема)	Единая информационная модель (база данных)
Элементы проекта	Линии, штриховки, текст	Геометрические фигуры, текст	Интеллектуальные объекты с атрибутами (цифровые модели элементов)
Связность данных	Отсутствует (ручное согласование)	Слабая (на уровне слоев и блоков)	Сильная (автоматическое обновление всех видов)
Основное преимущество	Независимость от техники	Скорость редактирования, аккуратность	Управление всем жизненным циклом, минимизация ошибок

Контрольные вопросы к § 1.1

1. Дайте определение термину «система автоматизированного проектирования (САПР)».
2. Назовите три ключевых преимущества 2D-САПР перед ручным черчением.
3. В чем заключается основной недостаток 2D-САПР, связанный с согласованностью документации?
4. Раскройте сущность технологии BIM. Чем она принципиально отличается от САПР?
5. Что такое «интеллектуальный объект» в контексте BIM? Приведите пример для электроэнергетики.
6. Объясните понятие «многомерность» BIM-модели. Что такое 4D и 5D?
7. Опишите, как использование BIM может повысить эффективность проектирования кабельных систем на объекте проектирования.

§ 1.2. Классификация САПР

Системы автоматизированного проектирования можно классифицировать по ряду признаков, что помогает определить их назначение и область применения. В контексте проектирования в электроэнергетике такими признаками являются назначение и уровень решаемых задач, специализация, а также архитектура и организация данных (рис. 1.4).



Рис. 1.4. Общая классификация САПР

По назначению и уровню решаемых задач различают:

1) системы нижнего уровня (CAD-системы): ориентированы на создание чертежно-графической документации, являются инструментом чертежника-конструктора;
2) системы среднего уровня (CAE-системы): интегрируют средства проектирования и инженерного анализа (расчет токов короткого замыкания, падения напряжения, выбора защит), часто это специализированные модули в составе комплексных САПР;
3) системы верхнего уровня (BIM-системы, PLM-системы): обеспечивают управление полным жизненным циклом объекта или изделия, объединяя информацию от всех участников проекта, это платформы для создания «цифровых двойников» объектов проектирования [44, 47].

По архитектуре и способу организации данных различают:

1) однопользовательские (автономные) – устанавливаются на один компьютер, работа с данными ведется локально;
2) многопользовательские (сетевые) с файловым обменом – работа ведется с общим набором файлов на сетевом ресурсе. Существует риск конфликтов при одновременном редактировании;
3) многопользовательские с централизованной базой данных – все данные проекта хранятся на сервере, доступ осуществляется через клиентские рабочие места. Обеспечивает целостность данных и контроль версий [43].

По специализации различают:

1) системы общего назначения (универсальные) могут использоваться в различных отраслях для создания чертежей и моделей;
2) специализированные (отраслевые) системы разработаны для конкретных отраслей.

Классификация отраслевых САПР часто строится **по этапам проектирования** [34, 54]:

1) САПР для проектно-изыскательских работ – системы для трассировки воздушных и кабельных линий с учетом особенностей местности;
2) САПР для принципиальных электрических схем и расчетов – программы, позволяющие выполнять однолинейные схемы с автоматическим подбором аппаратов, расчеты токов КЗ, падения напряжения;
3) САПР для рабочего проектирования (BIM-системы) – комплексные платформы для 3D-моделирования зданий и инженерных систем с формированием полного комплекта документации (планы расположения, монтажные схемы, спецификации). Здесь происходит конвергенция электротехнического проектирования с архитектурно-строительным [47].

Выбор конкретной САПР в электроэнергетике определяется особыми, повышенными требованиями. Ключевым из них является не только создание геометрии объекта и его «цифрового двойника», но и обеспечение корректного электротехнического расчета и соответствия нормативной базе (ПУЭ, СП, ГОСТ Р 50571, ГОСТ Р 58698).

Подходы к разработке САПР в нашей стране и за рубежом исторически отличались. Российские разработчики опираются на документоориентированное проектирование. Многие САПР создавались как надстройки над CAD-ядром для автоматизации выпуска чертежей и спецификаций, строго соответствующих требованиям ГОСТ. Акцент делается на формализованную проверку проектов на соответствие нормам.

У зарубежных разработчиков (Европа, США) доминирует объектно-ориентированный и процессный подход. Системы изначально проектируются как BIM, с глубокой параметризацией объектов. Акцент смещен на сквозной процесс от концепции до эксплуатации, междисциплинарную координацию и анализ эффективности. Нормативная база часто интегрируется в виде библиотек и правил проверки [47, 34].

nanoCAD – это отечественная базовая CAD-платформа, совместимая по интерфейсу с другими форматами. На ее основе разработано вертикальное решение nanoCAD BIM Электро, которое добавляет функционал для объектно-ориентированного проектирования электротехнических систем как в 2D, так и в 3D. Достоинствами программы являются полная русификация, поддержка российских стандартов оформления чертежей (ГОСТ), активная разработка и поддержка, интеграция с другими САПР. Интерфейс, справка, учебные материалы полностью на русском языке [40].

Система изначально разрабатывается с учетом требований ГОСТ к оформлению чертежей, что позволяет формировать корректные с точки зрения стандартов навыки.

Платформа nanoCAD, являясь основой, позволяет начать обучение с классического 2D-черчения, а затем плавно перейти к возможностям BIM-моделирования в модуле BIM Электро. Система предоставляет достаточный для обучения набор инструментов как для создания чертежей, так и для построения информационной модели электросетей, что позволяет продемонстрировать преимущества и недостатки разных подходов в рамках одной среды [46, 36].

Контрольные вопросы к § 1.2

1. По каким трем основным признакам классифицируются САПР? Дайте краткую характеристику каждому.
2. В чем заключается ключевое отличие CAD- и CAE-систем в контексте проектирования систем электроснабжения?
3. Почему для проектирования в электроэнергетике важно, чтобы САПР поддерживала электротехнические расчеты?
4. Назовите основные этапы проектирования в электроэнергетике и типы САПР, используемые на каждом из них.
5. В чем состоит главное отличие российского и зарубежного подходов к разработке САПР?
6. Какие задачи решаются с помощью САПР для проектно-изыскательских работ и чем их функционал принципиально отличается от возможностей BIM-систем верхнего уровня?
7. В чем различие между системами общего назначения (универсальными) и специализированными (отраслевыми) САПР?
8. Какие преимущества дает использование многопользовательских САПР с централизованной базой данных по сравнению с системами с файловым обменом?
9. Перечислите основные достоинства САПР nanoCAD BIM Электро, которые делают ее удобной для обучения основам проектирования систем электроснабжения.
10. Опишите классификацию САПР по архитектуре и способу организации данных. Какие типы выделяют и в чем их особенности?

§ 1.3. Нормативная база проектирования систем электроснабжения 0,4 кВ

Проектирование в Российской Федерации – деятельность, строго регламентированная на государственном уровне. Основу всей нормативно-технической документации в этой сфере составляют две взаимосвязанные системы стандартов:

1) **Единая система конструкторской документации (ЕСКД)**. Это комплекс государственных стандартов (ГОСТ), устанавливающих взаимосвязанные правила, требования и нормы по разработке, оформлению и обращению конструкторской документации для всех отраслей промышленности. ЕСКД определяет форматы листов, линии, шрифты, правила нанесения разме-

ров, обозначения материалов, состав основных и вспомогательных надписей (штампов). Например, оформление принципиальной электрической схемы должно соответствовать ГОСТ 2.701–2008 «Схемы. Виды и типы. Общие требования к выполнению» [14, 15, 16];

2) **Система проектной документации для строительства (СПДС)**. Это комплекс государственных стандартов, устанавливающих взаимосвязанные правила и положения по разработке, оформлению, учету, хранению и обращению проектной и рабочей документации, разрабатываемой для строительства. СПДС регламентирует, из каких документов должен состоять проект здания или сооружения и как их оформлять. Ключевой стандарт – ГОСТ 21.101–2026, который определяет основные требования к проектной и рабочей документации, состав и порядок оформления текстовых и графических материалов [23, 24].

Для раздела «Электроснабжение» ключевыми являются следующие стандарты СПДС и нормативные акты:

- ГОСТ 21.608–2021 «Система проектной документации для строительства. Правила выполнения рабочей документации внутреннего электрического освещения». Устанавливает состав и правила оформления чертежей, схем и спецификаций, связанных с осветительными установками;
- ГОСТ 21.613–2014 «Система проектной документации для строительства. Правила выполнения рабочей документации силового электрооборудования». Регламентирует выполнение документации для силовых электроустановок, электроприемников, распределительных устройств и сетей;
- ГОСТ 21.210–2014 «Система проектной документации для строительства. Условные графические изображения электрооборудования и проводок на планах». Содержит обязательный набор условных графических обозначений (УГО) для нанесения на планы, что обеспечивает единообразие и читаемость чертежей [17, 18, 19];
- Федеральный закон № 123-ФЗ «Технический регламент о требованиях пожарной безопасности». Определяет обязательные противопожарные требования к электроустановкам, выбору кабельной продукции, устройству защитного отключения и прокладке трасс, которые должны быть отражены в проектных решениях [61].

При проектировании систем электроснабжения 0,4 кВ применяются стандарты как ЕСКД (для оформления схем, чертежей, ведомостей), так и СПДС (для формирования общего комплекта документации проекта, нумерации листов, оформления штампов). Это обеспечивает унификацию и единообразие документации на всех этапах проектирования и жизненного цикла объекта проектирования.

Помимо общепроектных стандартов, проектирование систем электроснабжения 0,4 кВ основывается на отраслевых нормативно-технических документах (НТД), которые устанавливают технические требования к устройствам, их монтажу и эксплуатации.

Правила устройства электроустановок (ПУЭ) – основополагающий документ, содержащий требования к устройству и монтажу электроустановок всех видов напряжений. ПУЭ регламентируют выбор проводников, аппаратов за-

щиты, способы прокладки кабелей, требования к заземлению, защитным мероприятиям. Все проектные решения должны строго соответствовать актуальной редакции ПУЭ [49].

Своды правил (СП) – документы в области стандартизации, содержащие технические правила и описательные положения для процессов проектирования и строительства:

- СП 256.1325800.2016 «Электроустановки жилых и общественных зданий. Правила проектирования и монтажа»;
- СП 31-110-2003 «Проектирование и монтаж электроустановок жилых и общественных зданий»;
- СП 76.13330.2016 «Электротехнические устройства. Актуализированная редакция СНиП 3.05.06-85» и др. [56, 57].

Строительные нормы и правила (СНиП). Хотя многие СНиП переведены в статус СП, некоторые актуализированные редакции продолжают действовать. Они устанавливают общие строительные требования, влияющие и на электроснабжение (например, требования к помещениям для размещения электрощитовых) [49].

Правила технической эксплуатации электроустановок потребителей электроэнергии (ПТЭЭПЭЭ) – это документ для эксплуатационного персонала, проектировщик обязан учитывать его требования, чтобы создаваемая электроустановка была удобной и безопасной для последующей эксплуатации, ремонта и обслуживания [50].

Основные нормативные документы, которые используются для проектирования систем электроснабжения 0,4кВ, представлены в табл. 1.2.

Таблица 1.2. Основные нормативные документы для проектирования систем электроснабжения 0,4кВ

Наименование документа	Область применения в проектировании	Как используется
ПУЭ «Правила устройства электроустановок»	Все аспекты проектирования электроустановок	Выбор сечения кабеля, типов защиты, способов прокладки (главы 1.3, 2.1, 7.1)
СП 256.1325800.2016 «Электроустановки жилых и общественных зданий. Правила проектирования и монтажа»	Проектирование внутренних систем электроснабжения зданий	Требования к устройству этажных щитов, расчет нагрузок квартир
ГОСТ Р 50571.5.53–2013 «Электроустановки низковольтные. Часть 5-53. Выбор и монтаж электрооборудования»	Выбор и установка аппаратов, проводников	Таблицы условий прокладки кабелей, требования к защите от перегрузки
ГОСТ 2.701–2008 «ЕСКД. Схемы. Виды и типы. Общие требования к выполнению»	Оформление всех типов электрических схем	Правила построения условных графических обозначений, оформления рамки
ГОСТ Р 21.101–2026 «СПДС. Основные требования к проектной и рабочей документации»	Оформление и комплектация проектных документов	Состав разделов проекта, правила заполнения штампов, нумерация листов

Пренебрежение нормативной базой на этапе проектирования ведет к:

1) риску поражения людей электрическим током, возникновения пожаров;
2) отказу в согласовании (проектная документация не пройдет экспертизу и не получит положительного заключения);
3) техническим проблемам (ненадежное энергоснабжение, частые срабатывания защит, повышенные потери энергии и т. п.);
4) юридической ответственности (проектировщик и проектная организация несут ответственность за нарушения, повлекшие аварии или травмы персонала) [49, 61].

Современные САПР, особенно специализированные, не просто являются инструментом черчения или создания информационной модели проектируемой системы, они включают в свой функционал актуальную нормативно-техническую базу, а также базы данных электротехнического оборудования. В состав САПР nanoCAD BIM Электро встроены базы данных электротехнического оборудования (кабели, автоматы, УЗО) с параметрами, соответствующими ГОСТ. Это исключает использование в проекте несуществующих или нестандартных изделий [49, 61]. Системы автоматически проверяют проектные решения на соответствие нормам и позволяют использовать следующие функции:

1) расчет и проверка по току (выбор сечения кабеля по нагреву, условиям защиты от токов короткого замыкания (КЗ), соответствие номинала аппарата защиты (ПУЭ гл. 1.3, 3.1));
2) проверка по потере напряжения (обеспечение нормируемого уровня напряжения у потребителя (ПУЭ гл. 1.3));
3) проверка условий срабатывания защиты (расчет токов КЗ для проверки чувствительности автоматических выключателей и предохранителей);
4) шаблоны и стили (САПР используют предустановленные стили оформления чертежей, соответствующие требованиям ЕСКД и СПДС (рамки, штампы, шрифты, слои)) [40, 49].

В основе любого проекта лежит еще один не менее важный документ – техническое задание (ТЗ). **Техническое задание** – это исходный документ на проектирование, определяющий цели, задачи, основные технические требования, стадийность и состав проектной документации. Его составляет «Заказчик», часто при участии будущего «Проектировщика» [1, 48].

Техническое задание на проект системы электроснабжения 0,4 кВ, как правило, включает в себя следующие разделы:

1) основания для проектирования (договор, разрешительная документация);
2) информация об источнике питания (точка подключения, напряжение, мощность);
3) перечень и мощность всех электроприемников с указанием категории надежности электроснабжения;
4) требования к автоматике, учету электроэнергии, системам резервирования;

5) ссылки на нормативные документы;

6) требования к составу и форме проектной документации.

Четкое, детализированное ТЗ минимизирует недопонимание между «Заказчиком» и «Проектировщиком», служит юридическим основанием для оценки соответствия готового проекта исходным требованиям и предотвращает бесконечные доработки.

Процесс проектирования сложных объектов часто разбивается на стадии, что регламентируется Градостроительным кодексом РФ и СПДС. Рассмотрим основные стадии (этапы) проектирования [23, 48]:

1) проектная документация (стадия «П», или «Проект»). Разрабатывается для получения разрешения на строительство и прохождения государственной или негосударственной экспертизы. Содержит принципиальные решения, обоснования, сводные сметы;

2) рабочая документация (стадия «Р»). Разрабатывается на основе утвержденной проектной документации для производства строительно-монтажных работ. Содержит детальные чертежи, схемы, спецификации оборудования и материалов.

Комплектность проектной и рабочей документации определяется ГОСТ Р 21.101–2026. Для раздела «Электроснабжение» (код по ГОСТ – ЭН, ЭО, ЭМ) в него обычно входят:

- пояснительная записка (расчеты, обоснования);
- принципиальные электрические схемы главных и вторичных цепей;
- планы расположения электрооборудования и трасс прокладки кабелей;
- схемы прокладки кабелей (кабельный журнал);
- схемы заземления и молниезащиты;
- спецификации оборудования и материалов;
- ведомости (кабельного журнала, щитового оборудования) [23, 24].

Рассмотрим в общем случае основные этапы жизненного цикла объекта электроснабжения и их содержание (рис. 1.5).

1. **Предынвестиционный этап** включает:
   - анализ существующей сети и нагрузок (изучение текущей инфраструктуры, определение «узких» мест, расчет электрических нагрузок потребителей);
   - технико-экономическое обоснование (ТЭО) (оценка технической возможности, экономической целесообразности и необходимости проекта, сравнение альтернативных вариантов для выбора оптимального решения);
   - получение технических условий (запрашиваются у энергоснабжающей организации, включают требования к подключению, параметрам сети, компенсации реактивной мощности);
   - нормативный контроль (соответствие проекта требованиям НТД и другим нормативным актам).

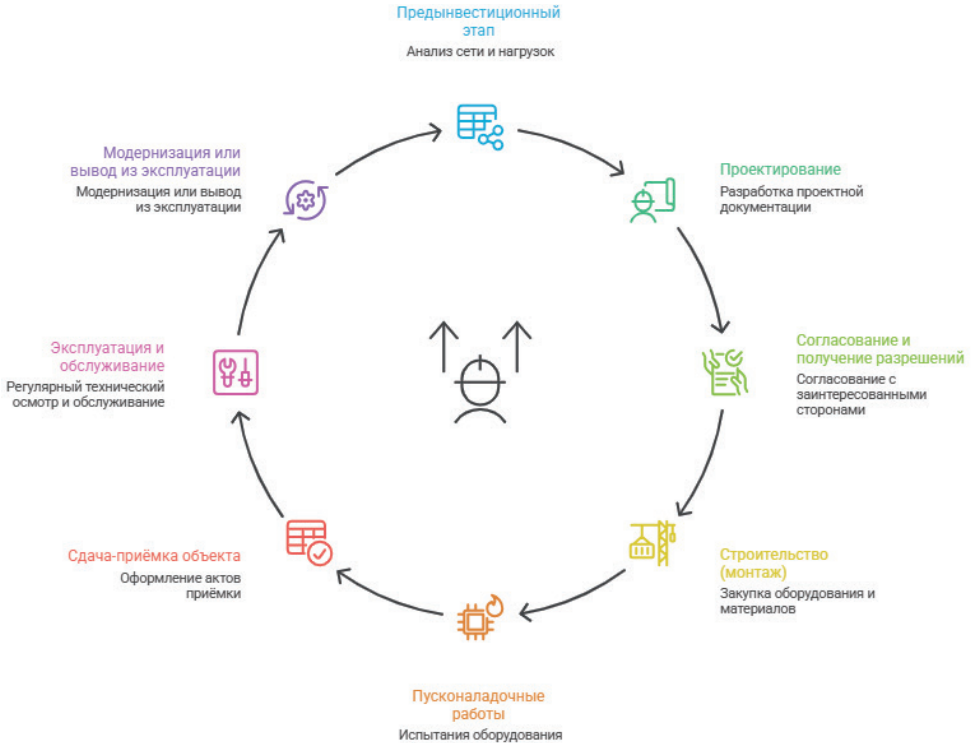


Рис. 1.5. Этапы жизненного цикла объекта электроснабжения

2. **Проектирование** включает:
   - разработку проектной документации (схемы электроснабжения, расчеты нагрузок, выбор оборудования (трансформаторов, кабелей, защитных устройств), планы размещения оборудования);
   - нормоконтроль (проверка соответствия проектной документации требованиям технических регламентов, стандартов СПДС, ГОСТ и заданию на проектирование) § 7.5;
   - экспертизу проектной документации (в случаях, предусмотренных Градостроительным кодексом, проект направляется на государственную или негосударственную экспертизу, утверждение возможно только при наличии положительного заключения).
3. **Согласование и получение разрешений** включает:
   - согласование с заинтересованными сторонами (например, с энергоснабжающей организацией, органами местного самоуправления, экологическими службами);
   - получение разрешения на строительство (если это требуется в соответствии с Градостроительным кодексом или иными требованиями).
4. **Строительство (монтаж)** включает:
   - закупку оборудования и материалов (контроль соответствия оборудования сертификатам соответствия и пожарной безопасности);

- выполнение строительно-монтажных работ (монтаж кабельных линий, трансформаторных подстанций, распределительных устройств);
- мониторинг и контроль качества (регулярные проверки соблюдения технологий и нормативов, включая ПУЭ, СП и другие).

5. **Пусконаладочные работы** включают:
   - испытания оборудования (проверка работоспособности электроустановок, измерение параметров сети, тестирование систем защиты и автоматики);
   - контроль соответствия фактических параметров расчетным (например, проверка токов короткого замыкания, уровней напряжения, качества электроэнергии (ПУЭ, ГОСТ 32144)).
5. **Сдача-приемка объекта** включает:
   - оформление актов приемки (включает акты скрытых работ, акты испытаний, акт приемки объекта в эксплуатацию);
   - контроль соответствия объекта проектной документации и нормативным требованиям.
6. **Эксплуатация и обслуживание** включает:
   - регулярный технический осмотр и обслуживание (проверка состояния оборудования, замена изношенных элементов);
   - контроль соблюдения правил технической эксплуатации (ПТЭ);
   - энергоаудит и мероприятия по повышению энергоэффективности.
7. **Модернизация или вывод из эксплуатации:**
   - при необходимости модернизации проект проходит заново этапы проектирования, согласования, строительства и т. д.;
   - при выводе из эксплуатации выполняется демонтаж оборудования, ликвидация объекта с соблюдением экологических и технических норм [11, 12].

Схемы – основной язык инженера-проектировщика. ГОСТ 2.701 определяет следующие виды схем, применяемых в электроэнергетике:

- **электрические** (Э);
- **гидравлические** (Г);
- **пневматические** (П);
- **кинематические** (К) и др. [14, 15].

Для раздела электроснабжения ключевыми являются электрические схемы, которые подразделяются на типы (рис. 1.6):

- **структурные (Э1)** – определяют основные функциональные части изделия и их связи;
- **функциональные (Э2)** – разъясняют процессы, протекающие в отдельных функциональных цепях;
- **принципиальные (полные) (Э3)** – определяют полный состав элементов и связей между ними, дают детальное представление о принципах работы. Это основной тип схем для рабочей документации;



Рис. 1.6. Классификация электрических схем по ГОСТ 2.701

- **соединений (монтажные) (Э4)** – показывают соединения составных частей изделия и идентифицируют провода, жгуты, кабели;
- **подключения (Э5)** – показывают внешние подключения изделия;
- **общие (Э6)** – определяют составные части комплекса и их соединения на месте эксплуатации;
- **расположения (Э7)** – определяют относительное расположение составных частей изделия (планы размещения оборудования).

Схемы выполняют без соблюдения масштаба. Элементы показывают в положении, соответствующем нормальному (отключенному) состоянию. Все элементы имеют буквенно-цифровое позиционное обозначение (например, -QF1, -KM2) в соответствии с ГОСТ 2.710 [16].

Нормоконтроль – это обязательная проверка проектной и рабочей документации на соответствие требованиям нормативно-технических документов (ЕСКД, СПДС, ПУЭ, ГОСТ и др.), правильность оформления и комплектность. Проведение нормоконтроля обеспечивает качество, единообразие и надежность документации, устранение ошибок до отправки заказчику или на экспертизу, снижение рисков на этапе строительства и монтажа.

В проектной организации нормоконтроль осуществляет специально назначенный и подготовленный специалист – нормоконтролер, который не участвовал в разработке проверяемых документов. Он должен обладать глубокими знаниями действующей нормативной базы и стандартов, проверяет правильность применения условных обозначений, заполнение штампов, нумерацию листов и документов, соответствие расчетов нормам, комплектность документации, отсутствие внутренних противоречий между разделами проекта [23, 24].

Нормоконтроль – финальный, но критически важный этап в процессе проектирования, после которого документация считается готовой для передачи заказчику. Более подробно этот этап будет рассмотрен в § 7.5.

Контрольные вопросы к § 1.3

1. В чем основное различие между системами стандартов ЕСКД и СПДС?
2. Назовите четыре ключевых нормативно-технических документа для проектирования электроснабжения и кратко охарактеризуйте сферу действия каждого.
3. Каковы основные последствия для проектировщика и объекта при игнорировании требований ПУЭ на этапе проектирования?
4. Каким образом современные САПР помогают проектировщику соблюдать нормативную базу?
5. Перечислите основные разделы, которые должны быть включены в техническое задание на проектирование системы электроснабжения здания.
6. Почему техническое задание считается важным документом в начале проектирования?
7. Опишите различия между стадиями «Проектная документация» (П) и «Рабочая документация» (Р). Каковы цели разработки каждой из них?
8. Какие основные документы (графические и текстовые) входят в состав раздела «Электроснабжение» рабочего проекта?
9. В чем заключается различие между электрической принципиальной схемой (Э3) и схемой соединений (Э4)? Для решения каких задач используется каждая?
10. Каковы общие требования ГОСТ к изображению элементов на электрических принципиальных схемах?
11. Дайте определение нормоконтролю в проектировании. Каковы его главные цели?

(!) Для закрепления материала по данной главе пройдите тест, который находится на странице с дополнительными материалами (см. на стр. 7).

ГЛАВА 2

Начало работы. Интерфейс nanoCAD BIM Электро

§ 2.1. Интерфейс пользователя: менеджер проекта, настройка проекта

Установка программы nanoCAD

Разработчиком nanoCAD BIM Электро является российская компания «Нанософт разработка», которая бесплатно предоставляет ООО «Нанософт разработка» полнофункциональные учебные лицензии для оборудования компьютерных классов образовательных организаций, а также персональных компьютеров преподавательского состава и обучаемых. Учебные лицензии предоставляются сроком на 1 год. Для получения учебной лицензии необходимо зарегистрироваться на сайте https://www.nanocad.ru/ и оформить заявку в соответствии с видеоинструкцией: https://academy.nanocad.ru/education.

Видеоинструкция по получению и установке учебных лицензий программных продуктов nanoCAD

2.1.1. Интерфейс программы

В учебном пособии сделан акцент на ключевых принципах и практических аспектах проектирования систем электроснабжения 0,4кВ с применением технологии BIM. Вопросы установки и базовой настройки программного обеспечения здесь подробно не рассматриваются, так как данная информация широко доступна в официальной документации и руководствах разработчика.

Рассмотрение процесса проектирования выполняется на примере интерфейса и функциональной надстройки nanoCAD BIM Электро 25.0. Следует отметить, что в более ранних версиях программы основные инструменты имеют схожую логику работы, а в будущих обновлениях ожидается дальнейшее расширение возможностей и улучшение эргономики интерфейса.

На рис. 2.1 представлен вид рабочего интерфейса nanoCAD BIM Электро 25.0, а именно специализированная вкладка **Электрика**, внутри которой сконцентрированы основные элементы управления и инструменты, предназначенные непосредственно для решения задач электротехнического проектирования.

В программе реализованы два типа интерфейса: ленточный и классический (с панелями инструментов). Переключение между ними выполняется в настройках или через панель быстрого доступа. Ленточный интерфейс является основным и рекомендуется для изучения, так как все команды сгруппированы по функциональному признаку и доступны в несколько кликов [40, 46].

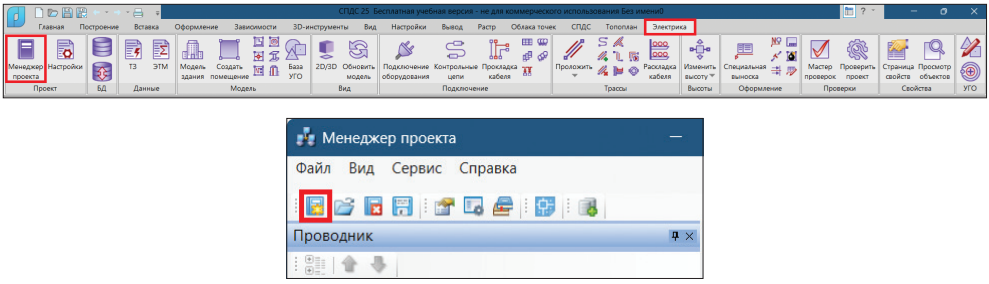


Рис. 2.1. Окно панели инструментов nanoCAD BIM Электро → **Электрика** → **Менеджер проекта**

На вкладке **Электрика** инструменты объединены в функциональные панели, обеспечивающие доступ ко всем этапам проектирования:

- **Управление проектом** – создание, открытие и сохранение проекта, настройка его параметров (электрические расчеты, групповые характеристики), создание новых планов и управление структурой проекта;
- **Базы данных** – доступ к базам данных, импорт/экспорт библиотек, подключение каталогов производителей и управление нормативно-справочной информацией;
- **Данные** – формирование и редактирование технологического задания (перечня электроприемников), работа с электротехнической моделью (ЭТМ) для управления подключениями и расчетами;
- **Модель** – инструменты для работы с трехмерной моделью здания и инженерных систем, отображение и скрытие элементов, управление этажами и помещениями;
- **Вид** – управление визуализацией: переключение между 2D- и 3D-видами, зумирование, панорамирование, сохранение видовых экранов;
- **Подключения** – **«Мастер подключения оборудования»**, создание электрических связей между элементами модели, прокладка кабелей по созданным связям;
- **Трассы** – создание и редактирование кабельных трасс (лотки, трубы, короба), прокладка кабелей по трассам, задание конфигурации трасс;
- **Высоты** – управление высотными отметками элементов, перепадами высот, создание вертикальных участков трасс и стояков;
- **Оформление** – настройка отображения чертежей: размеры, выноски, аннотации, подготовка листов к печати, формирование спецификаций и ведомостей;
- **Проверки** – мастер проверок модели, выявление ошибок (неподключенное оборудование, несимметрия фаз, незаданные кабели), контроль выполнения нормативных требований;

- **Свойства** – панель для просмотра и редактирования свойств выбранных объектов (электрические параметры, геометрия, материал и т. д.);
- **УГО** – доступ к базе условных графических обозначений, вставка и настройка обозначений оборудования на плане [40, 41, 46].

Состав и названия панелей могут незначительно меняться в зависимости от версии программного обеспечения, однако общая логика построения интерфейса сохраняется, все необходимые для проектирования функции сгруппированы по этапам работы и доступны из вкладки **Электрика**.

Работа над проектом в среде nanoCAD BIM Электро органично интегрирует возможности базовой платформы nanoCAD, а это особенно важно на начальном этапе, например при необходимости создания либо корректировки плана проекта или архитектурной подосновы.

2.1.2. Менеджер проекта

Основные операции с результатами проектирования осуществляются через структуру проекта, которая отражается в окне **Менеджер проекта** (рис. 2.1). Такой интерфейс дает единую точку для создания, открытия и закрытия проектов, управления входящими в их состав документами, формирования выходных ведомостей и спецификаций, а также экспорта данных во внешние приложения (Microsoft Word, Excel или для дальнейшего оформления в nanoCAD).

В окне **Менеджер проекта** необходимо активировать функцию **Создать проект** (рис. 2.2) → в открывшемся диалоговом окне ввести наименование проекта (по умолчанию предлагается «Электрика») → указать путь к папке на диске для будущего хранения файлов проекта [40, 46].

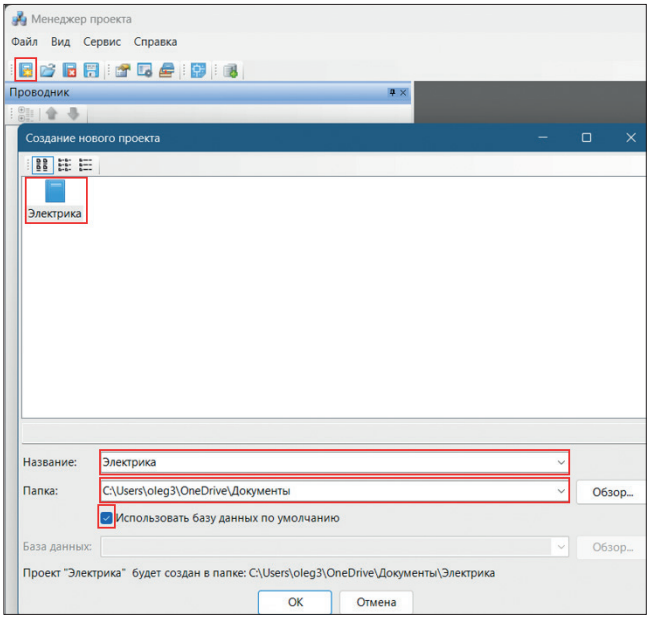


Рис. 2.2. Окно nanoCAD BIM Электро **Менеджер проекта → Создать проект**

Рекомендуется оставить активной опцию **Использовать базу данных (оборудования) по умолчанию**, это обеспечит автоматическую загрузку стандартизированной библиотеки электротехнических изделий, необходимой для корректного выполнения расчетов и формирования спецификаций, затем подтвердить создание проекта, и после этого в **Менеджере проекта** появится структура нового пустого проекта, готового к настройке и дальнейшей работе [40].

В результате выполнения описанных действий программа формирует типовую (базовую) структуру нового проекта системы электроснабжения (рис. 2.3). Эта структура представляет собой еще не заполненный каркас проекта, готовый к заполнению. Дальнейшая работа над моделью и графической основой позволит последовательно добавлять в созданную структуру необходимые элементы проекта: графическую архитектурную подоснову, этажи, помещения, электротехническое оборудование, кабельные трассы и т. п. [40, 46].

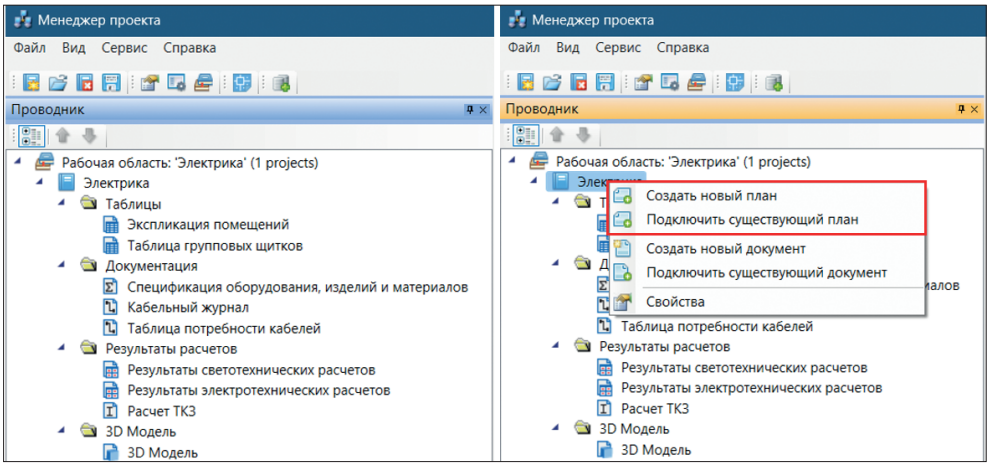
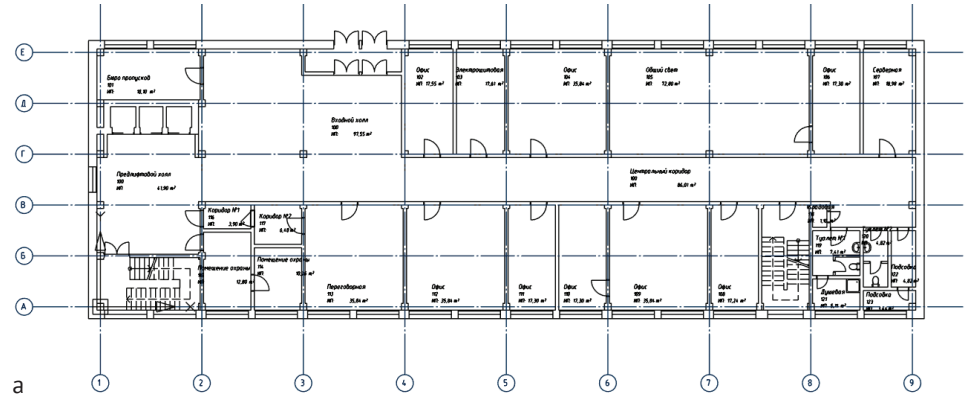
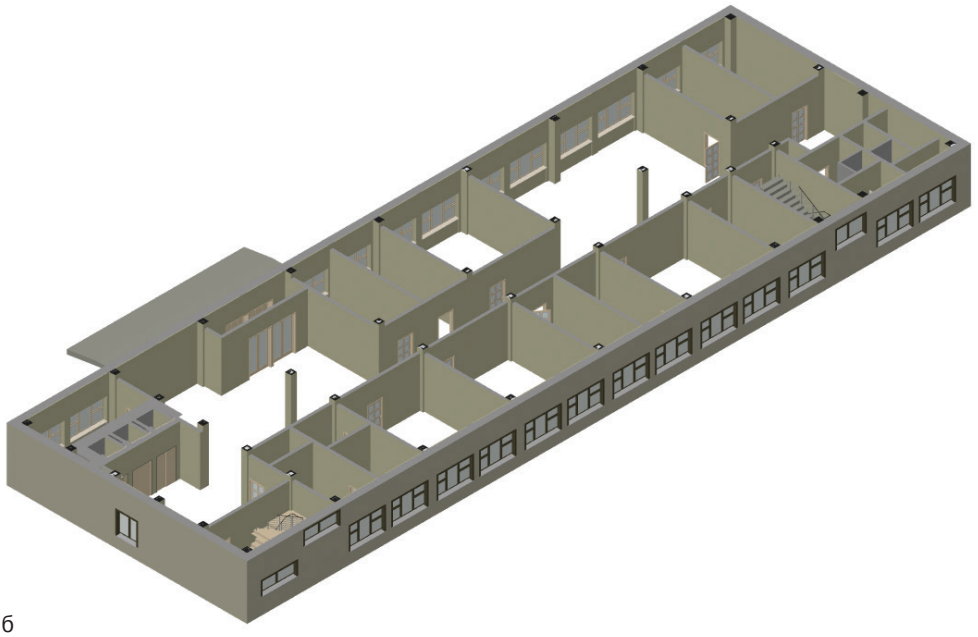


Рис. 2.3. Окно nanoCAD BIM Электро **Менеджер проекта → Создать новый план** или **Подключить существующий план**

Первый этап работы над проектом – создание графической архитектурной основы для проектирования модели системы электроснабжения. Она может быть представлена в форматах 2D-чертеж (например, в формате *.dwg) или 3D-информационная модель (BIM-модель в формате *.ifc), содержащая дополнительные данные об объекте (рис. 2.4).



а



б

Рис. 2.4. Пример графической архитектурной подосновы в форматах 2D (а) и 3D (б)

При создании планов в проекте возможны два основных подхода к организации многоэтажных зданий:

1) **каждый этаж на отдельном плане** – для каждого уровня здания создается отдельный чертеж (план). Этот подход является предпочтительным в профессиональной практике и рекомендуется к использованию;
2) **все этажи на одном плане** – все помещения и оборудование разных этажей размещаются на одном общем чертеже, различаясь по высотным отметкам [6, 40].

Рассмотрим преимущества и недостатки каждого подхода.

Подход с отдельными планами на каждый этаж:

- преимуществами являются высокая наглядность и читаемость чертежей, так как план каждого этажа не перегружен элементами других уровней; упрощение работы с моделью: легче ориентироваться, выделять объекты, выполнять трассировку и подключения; возможность более детальной проработки каждого этажа с учетом его архитектурных особенностей; удобство при формировании комплекта рабочей документации, где обычно каждый этаж оформляется отдельным листом; повышение надежности хранения данных: информация распределена по разным файлам, и при повреждении одного из них остальные наработки сохраняются; повышение производительности: меньшее количество объектов в каждом чертеже увеличивает скорость работы программы;
- недостатком является необходимость создания нескольких чертежей, что может потребовать дополнительных действий по их координации.

Подход с размещением всех этажей на одном плане:

- преимуществом является то, что все элементы здания видны в одном файле, что может быть полезно для общего представления, упрощается контроль вертикальных связей (стояков) и межэтажных переходов;
- в качестве недостатков можно отметить сильную загруженность чертежа, особенно при большом количестве этажей, что затрудняет восприятие и редактирование, сложность с настройкой видимости: приходится постоянно отключать слои с ненужными этажами, повышенный риск ошибок при трассировке и подключениях из-за наложения элементов разных этажей, не соответствует традиционной практике выпуска проектной документации, где каждый этаж оформляется отдельно.

Учитывая сказанное, для большинства проектов рекомендуется использовать первый подход – создавать отдельный план на каждый этаж здания. Это обеспечивает лучшую организацию работы, наглядность и соответствие стандартам оформления. В nanoCAD BIM Электро создание планов этажей выполняется через **Менеджер проекта** и будет рассмотрено далее.

Проектирование возможно и без привязки к готовой архитектурной подоснове, однако в этом случае план помещений не будет связан с конкретным зданием, что существенно затруднит координацию с другими разделами проекта и может привести к ошибкам.

Работа над проектом начинается с формирования плана, на котором будет размещаться оборудование, кабельные трассы и другие атрибуты проекта. Для этого в **Менеджере проекта** необходимо выделить основной элемент структуры – **Электрика** (по умолчанию) → вызвать правой кнопкой манипулятора контекстное меню → в появившемся меню выбрать один из двух вариантов (рис. 2.3):

- **Создать новый план** – для самостоятельного формирования чертежа;
- **Подключить существующий** – для использования готового файла.

План создается на основе архитектурной подосновы, которая может быть подготовлена двумя способами:

- разработана непосредственно в среде nanoCAD с использованием инструментов базовой платформы СПДС;
- подключена в виде готового файла, созданного ранее архитекторами или проектировщиками.

Создание нового плана выполняется путем выбора соответствующей опции в меню **Менеджер проекта** (рис. 2.5).

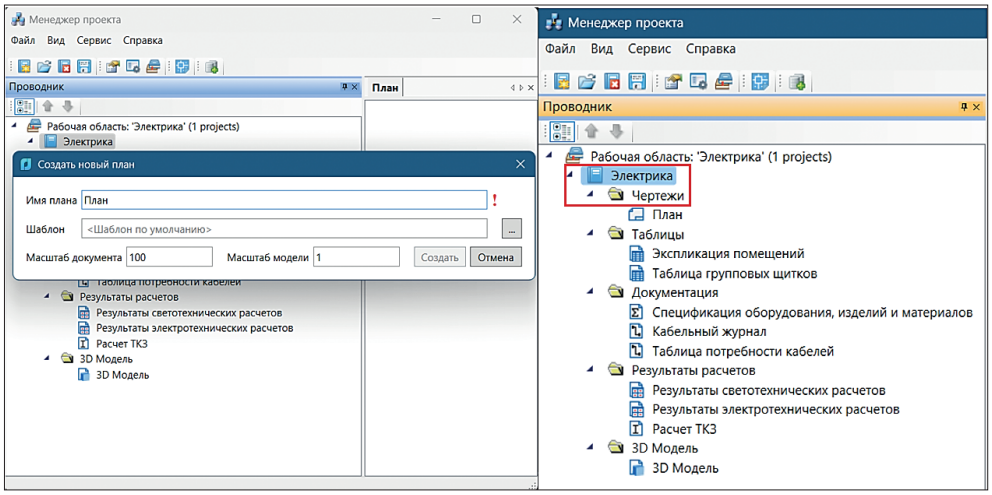


Рис. 2.5. Окна nanoCAD BIM Электро **Менеджер проекта** → **Создать новый план** → выбрать **Масштаб модели** и **Масштаб документа**

Программа запросит:

- **Имя плана** (например, «План 1 этажа» или «План здания» и т. п.);
- **Шаблон** – файл с предустановленными настройками слоев, стилей и оформления, на основе которого будет создан документ. Особое внимание необходимо уделить двум критически важным параметрам: масштабу модели и масштабу документа. Непонимание разницы между ними является типичной ошибкой начинающих пользователей;
- **Масштаб модели** – это масштаб, в котором представлена исходная графическая информация. Данный параметр не выбирается произвольно, он должен точно соответствовать масштабу предоставленной подосновы. Например, если подоснова выполнена в масштабе 1:100, то и масштаб модели необходимо установить равным 100. Важно отметить, что сами архитекторы и конструкторы, как правило, работают в реальном масштабе 1:1, поэтому это значение часто устанавливается по умолчанию;
- **Масштаб документа** – это масштаб, в котором чертеж будет выведен на печать или оформлен в составе конечной проектной документации. Его выбор зависит от требований к наглядности и детализации. Наиболее распространенными являются масштабы 1:100, 1:50 или 1:200. Для генеральных планов территории могут применяться масштабы 1:500 или 1:1000.

После создания плана и закрытия окна **Менеджер проекта** графическая область nanoCAD BIM Электро становится доступной для построения модели здания, помещения, а в последующем и системы электроснабжения [40].

2.1.3. Настройка проекта

Перед началом проектирования требуется выполнить обязательную настройку параметров проекта, это определит корректность всех последующих расчетов, которые программа выполнит автоматически (рис. 2.6).

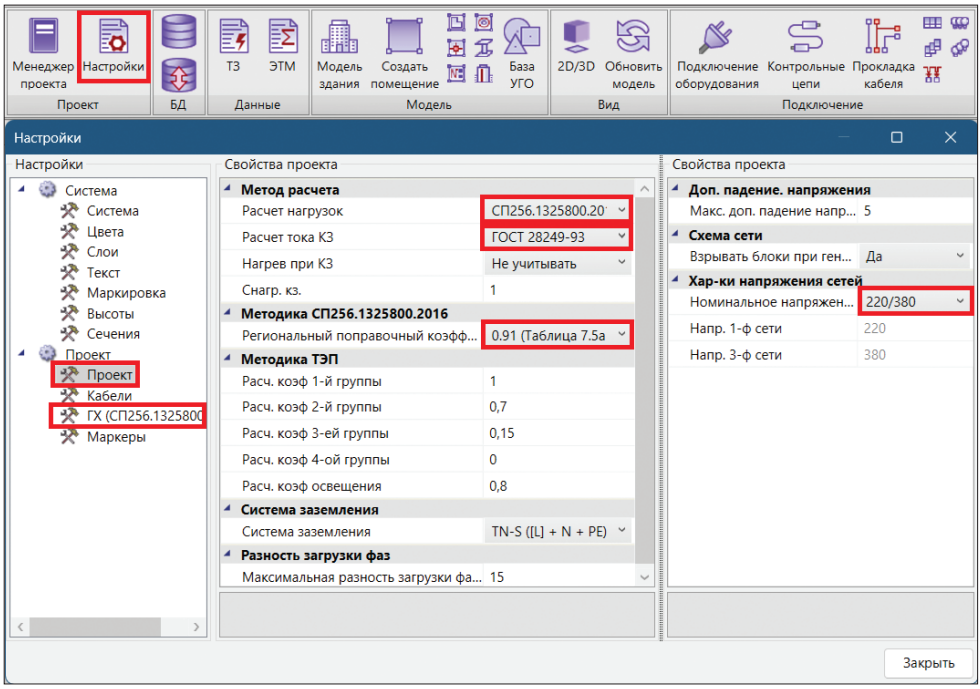


Рис. 2.6. Окно nanoCAD BIM Электро **Настройка проекта → Проект**

Настройки осуществляются в диалоговом окне **Настройки проекта** панели инструментов рабочего интерфейса nanoCAD BIM Электро 25.0. Важно отметить: часть параметров, особенно во вкладках **Проект** и **«ГХ (СП 256.1325800.2016)**, рекомендуется задать в начале работы, так как они определяют базовые методики расчетов, соответствующие конкретному объекту [40, 57].

Выбор **методики расчета электрических нагрузок** зависит от типа проектируемого объекта (гражданское или промышленное здание, энергообъект). По умолчанию в системе установлена методика в соответствии с СП 256.1325800, что является стандартом для большинства гражданских зданий. Для проектирования промышленных объектов, в том числе промышленных цехов и зданий предприятий транспорта, больше подходит РТМ 36.18.32.4 – это отраслевой стандарт для инженеров-электриков и проектировщиков, задающий правила расчета электрических нагрузок в промышленных и общехозяйственных объектах [52, 57].

При выборе **методики расчета токов короткого замыкания** рекомендуется установить расчет по действующему нормативному документу – ГОСТ 28249 (метод симметричных составляющих) [20].

Региональный поправочный коэффициент используется для учета климатических условий. Значение по умолчанию (0,91) подходит для большинства регионов РФ [49].

Номинальное напряжение сети выбирается в зависимости от характеристик системы электроснабжения, к которой подключается объект. Современный стандарт (ГОСТ 29322): 230/400 В или 400/690 В, а для учебных проектов, как правило, оставляют значение 220/380 В [21].

В этом разделе также важно выбрать тип системы заземления (по умолчанию TN-S) и разность загрузки фаз (по умолчанию 15 %) [49].

Часть параметров во вкладке **ГХ (СП 256.1325800.2016)** также необходимо задать в начале работы – это определение групповых характеристик (рис. 2.6).

Групповые характеристики – это наборы коэффициентов (спроса, одновременности, мощности), применяемые при автоматическом расчете нагрузок групп электроприемников в соответствии с выбранной методикой. Они являются связующим звеном между конкретным оборудованием и итоговой нагрузкой на вводе.

Система содержит предустановленные характеристики (например, **Рабочее освещение**, **Розеточная сеть**), которые необходимо адаптировать под разрабатываемый проект или самостоятельно создать групповые характеристики под конкретный объект (рис. 2.7).

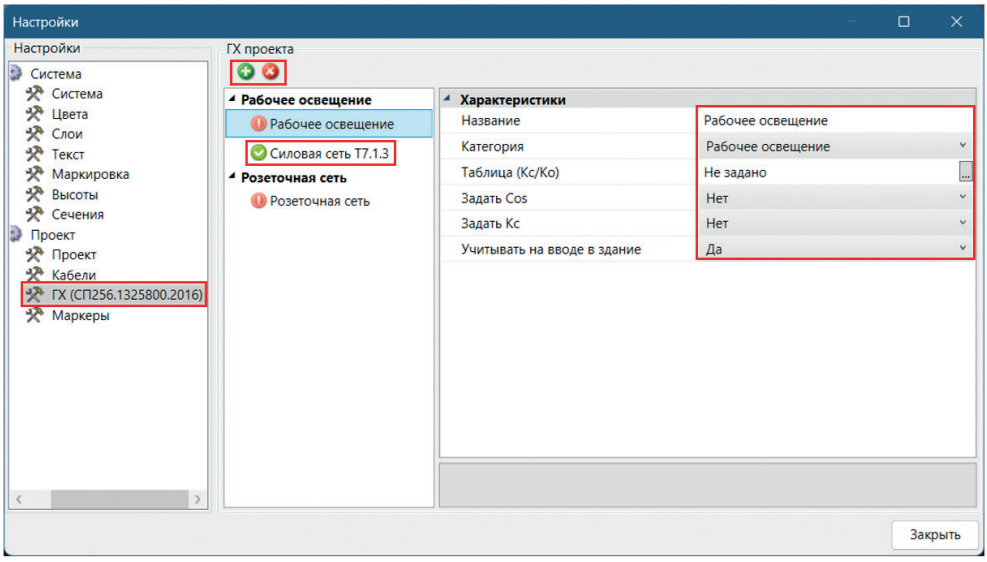


Рис. 2.7. Окно nanoCAD BIM Электро **Настройка проекта → ГХ (СП 256.1325800.2016)**

Процедура настройки групповой характеристики:

1. Выбирается существующая или создается новая групповая характеристика.
2. Задается название (розеточная сеть, сеть электроснабжения станков и т. п.).
3. Выбирается категория из списка (освещение, розеточная сеть, силовое оборудование и т. д.).
4. Задается значение коэффициента спроса. **Коэффициент спроса** – это безразмерная величина, выражающая отношение расчетной (максимальной) активной мощности группы электроприемников к их суммарной установленной (номинальной) мощности. Коэффициент спроса учитывает, что в реальных условиях не все электроприемники работают одновременно, оборудование редко загружается на полную номинальную мощность, имеются технологические паузы, планово-предупредительные ремонты, неравномерность загрузки и т. п. [40, 57].

Значение этого коэффициента задается одним из трех способов:

- по таблице СП выбирается наиболее подходящая из нормативного документа;
- постоянный коэффициент (задается фиксированное значение, на которое умножается суммарная мощность всех электроприемников в группе);
- переменный коэффициент (задается зависимость значения коэффициента от количества приборов или их суммарной мощности (для сложных случаев)).

5. **Коэффициент мощности (*cos φ*)** – безразмерная величина, характеризующая эффективность использования электроэнергии в цепи переменного тока. Это отношение активной мощности (которая выполняет полезную работу) к полной мощности (фактически потребляемой из сети). Коэффициент мощности *cos φ* – ключевой показатель энергоэффективности; чем ближе его значение к 1, тем меньше потерь и выше экономичность системы. Низкий *cos φ* ведет к перерасходу электроэнергии, перегрузке сетей и дополнительным затратам. Значение коэффициента мощности *cos φ* может определяться двумя способами в зависимости от принятой методики расчета и степени детализации исходных данных [40, 52]:

- **задание через групповую характеристику (ГХ)**. В этом случае одно значение *cos φ* назначается для всей группы электроприемников. Такой подход удобен на ранних стадиях проектирования, когда точные параметры каждого электроприемника (ЭП) еще неизвестны, или для однородных групп оборудования (например, для всех люминесцентных светильников или для всех электродвигателей одной серии). Значение вводится вручную в свойствах групповой характеристики;
- **индивидуальное из атрибутов модели**. Если в базе данных оборудования для каждого конкретного электроприемника уже задан паспортный коэффициент мощности, программа может автоматически использовать эти значения. В этом случае при расчете нагрузок для каждого ЭП берется его собственный *cos φ*, что обеспечивает максимальную точность. Такой подход рекомендуется на стадии рабочего проектирования, когда оборудование выбрано и его параметры известны.

При наличии информации в модели индивидуальные значения имеют приоритет над групповыми, если в настройках расчета не указано иное. В nanoCAD BIM Электро можно гибко комбинировать оба способа: для части оборудования использовать библиотечные данные, а для остальных – задавать единое значение через групповую характеристику.

6. Учитывать на вводе в здание те или иные нагрузки – решает проектировщик, для большинства нагрузок устанавливается «Да», для специальных нагрузок (например, рекламное освещение, системы безопасности и т. п.), которые по СП учитываются отдельно, может быть установлено «Нет» [57].

После завершения настройки всех необходимых параметров проекта и групповых характеристик окно **Настройка проекта** закрывается. Только после этого можно приступать к непосредственному построению модели системы электроснабжения, будучи уверенным в корректности лежащих в ее основе расчетных алгоритмов.

2.1.4. Настройка слоев, конфигураций слоев платформы nanoCAD, nanoCAD BIM Электро

Эффективное управление графическими объектами в проекте невозможно без грамотного использования слоев. **Слои** – это инструмент организации чертежа, позволяющий группировать объекты по функциональному назначению, свойствам (цвет, тип и толщина линий) или стадиям проектирования. Слои также позволяют логически группировать элементы, управлять их видимостью и свойствами, что важно для работы со сложными чертежами.

В nanoCAD BIM Электро особое внимание уделяется стандартизации имен слоев для различных типов электрооборудования. Имена слоев для объектов электротехнической части могут быть заданы в настройках проекта, что обеспечивает единообразие и автоматическое распределение создаваемых элементов по соответствующим слоям. Например, все розетки могут автоматически помещаться на слой «ЭО_Розетки», а светильники – на «ЭО_Освещение». Это избавляет от необходимости вручную назначать слой каждому объекту.

Управление слоями рекомендуется выполнять не только через стандартный диспетчер, но и с помощью конфигураций слоев – сохраненных наборов состояний (видимость, цвет, блокировка), которые позволяют быстро переключаться между различными режимами отображения проекта (например, показывать только электрику, только архитектуру или только определенные системы). Благодаря конфигурациям можно создавать индивидуальные рабочие пространства для разных задач: трассировки кабелей, расстановки оборудования, выпуска чертежей и т. д.

Панель для работы со слоями расположена на вкладке **Главная** интерфейса инструментов (рис. 2.8). При открытии нового чертежа по умолчанию активен **Нулевой слой**, а также могут присутствовать несколько служебных слоев (например, **Defpoints**). Все создаваемые объекты изначально размещаются в текущем активном слое, однако при использовании настроенных шаблонов

они будут автоматически попадать на предопределенные слои, что значительно ускоряет процесс проектирования и обеспечивает соблюдение стандартов организации [40, 41].

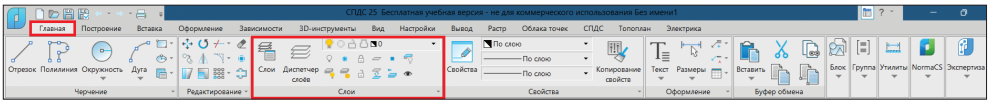


Рис. 2.8. Окно nanoCAD BIM Электро, панель инструментов **Главная** → **Слои**

Чтобы определить, к какому слою принадлежит объект, необходимо его выделить в меню **Свойства** → и программа автоматически отобразит имя соответствующего слоя, это позволяет быстро анализировать структуру любого чертежа (рис. 2.9).

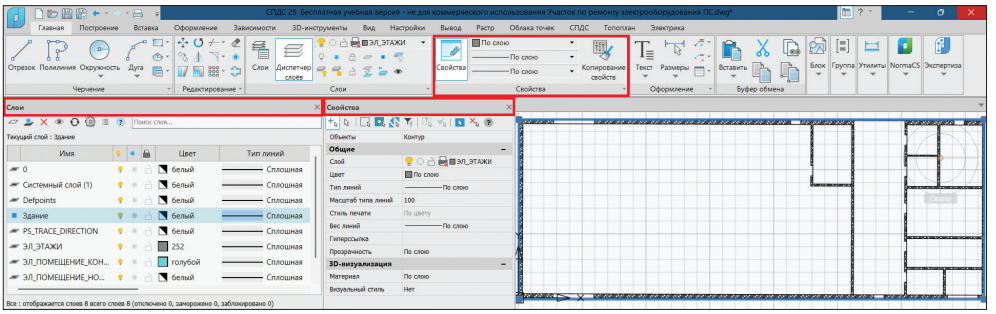


Рис. 2.9. Окно **Диспетчер слоев** nanoCAD BIM Электро, панель инструментов **Свойства слоев**

Ключевая функция слоя – управление видимостью группы объектов. Рядом с именем каждого слоя находится значок в виде лампочки, который является индикатором видимости, при отключении слой исчезает из графической области, но не удаляется из проекта. Это позволяет временно скрыть мешающие элементы (например, архитектурную подоснову или смежные системы) для комфортной работы с другими частями чертежа.

Значок замка рядом с именем слоя управляет его блокировкой. Заблокированный слой остается видимым, к его объектам можно применять объектные привязки, но невозможно выполнить редактирование, перемещение или удаление его содержимого. Данная функция незаменима для защиты эталонной или базовой информации (архитектурных осей, границ помещений) от случайного изменения. Еще можно менять цвет слоев, что улучшает восприятие объекта проектирования на чертеже.

Использование слоев существенно ускоряет операции редактирования, например если требуется скопировать все внутренние стены здания для создания нового планировочного варианта, то при правильной организации достаточно отключить видимость всех слоев, кроме слоя **Стены**, выделить все видимые объекты (команда **Выделить все**) и скопировать выделенный массив в нуж-

ную позицию. Вручную пришлось бы выбирать каждый контур стены среди сотен других объектов (дверей, окон, текста, оборудования), что крайне трудоемко и чревато ошибками [40].

Таким образом, последовательное распределение объектов по тематическим слоям является не рекомендацией, а обязательным условием профессиональной и эффективной работы в любой CAD/BIM-системе, включая nanoCAD BIM Электро.

Контрольные вопросы к § 2.1

1. Опишите последовательность создания нового проекта в системе nanoCAD BIM Электро, начиная с менеджера проекта.
2. Каковы основные функциональные возможности окна **Менеджер проекта**?
3. В чем заключается принципиальная разница между операциями **Создать новый план** и **Подключить существующий** в контекстном меню раздела **Электрика**?
4. Объясните разницу между масштабом модели и масштабом документа. Почему неправильная настройка этих параметров является типичной ошибкой начинающих пользователей?
5. Для чего в настройках проекта необходимо выбирать методику расчета электрических нагрузок?
6. Что такое групповая характеристика в терминологии nanoCAD BIM Электро и какова ее роль в процессе автоматизированного расчета нагрузок?
7. Как использование слоев ускоряет выполнение групповых операций редактирования?
8. Что произойдет с объектами на чертеже, если выключить видимость слоя, в котором они находятся? Чем это отличается от блокировки слоя?
9. Почему использование архитектурной подосновы (в формате *.dwg или *.ifc) считается предпочтительным по сравнению с проектированием «на чистом листе»?
10. Какие параметры во вкладке **Проект** окна **Настройки проекта** рекомендуется задать в самом начале работы и почему?

§ 2.2. План объекта проектирования. Архитектурная подоснова, создание этажей, помещений, свойства помещений

Для начала проектирования электрической сети необходимо иметь основу для корректного размещения оборудования – архитектурно-строительную подоснову. Это чертеж, который подключается к созданному плану с использованием стандартных инструментов импорта базовой платформы nanoCAD.

Архитектурная подоснова – это базовый комплексный чертеж, фиксирующий ключевые архитектурно-планировочные и объемно-пространственные решения объекта [40, 41]. Она служит единой графической и координатной основой для разработки всех последующих разделов проекта и согласованной работы специалистов различных дисциплин. **Типовой состав архитектурной подосновы** включает:

- контуры здания или сооружения;
- разбивочные оси и габаритные размеры помещений;
- отметки уровней (этажей, перекрытий);
- основные конструктивные элементы (несущие стены, колонны, оконные и дверные проемы);
- упрощенные изображения фасадов и разрезов.

На эту основу «накладываются» и привязываются к ней чертежи смежных разделов:

- конструктивные решения;
- инженерные системы (отопление и вентиляция, водоснабжение и канализация, электроснабжение и др.);
- решения по интерьерам и отделке;
- генеральный план и благоустройство территории.

Таким образом, правильно подготовленная архитектурная подоснова обеспечивает пространственное единство проекта и является основным инструментом предотвращения коллизий (наложений) между различными инженерными системами на этапе проектирования.

Помимо архитектурной, в практике используются и другие виды подоснов. **Топографическая** – создается на основе геодезической съемки и содержит данные о рельефе, границах земельного участка, существующих подземных коммуникациях. **Конструктивная** – акцентирована на отображении несущих конструкций (каркаса, фундаментов). **Генеральный план** – фокусируется на планировочной организации территории (рис. 2.10) [40].

Как было отмечено ранее, платформа nanoCAD BIM Электро поддерживает подключение архитектурной подосновы в различных форматах – как двумерных чертежей (2D) в формате *.dwg, так и трехмерных информационных моделей (3D) в формате *.ifc.

Процедура выполняется через вкладку **Вставка** в интерфейсе инструментов, для работы с разными форматами используются соответствующие функции: **Ссылка на .dwg** или инструменты **Панель IFC** (рис. 2.11).



Рис. 2.10. Виды базовых чертежей в проектировании

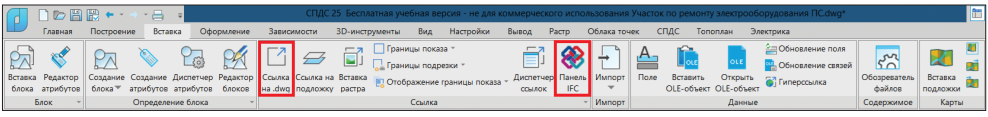


Рис. 2.11. Окно панели инструментов nanoCAD BIM Электро **Вставка**

Рассмотрим пошаговый процесс подключения архитектурной 2D-подосновы в формате *.dwg. Во вкладке **Вставка** интерфейса nanoCAD BIM Электро 25.0 необходимо активировать команду **Ссылка на .dwg**, в открывшемся диалоговом окне выбрать файл с архитектурным планом и открыть его.

Откроется окно параметров вставки (рис. 2.12). Здесь необходимо настроить точку привязки чертежа. Опция **Указать на экране** позволяет указать точку вставки произвольным кликом манипулятора в графической области.

Для точного позиционирования рекомендуется снять эту галочку и вручную задать координаты, например X = 0, Y = 0, Z = 0. Это обеспечит размещение подосновы в начале координат (точке пересечения нулевых разбивочных осей), что является стандартной практикой, затем нужно подтвердить вставку.

После выполнения этих действий архитектурная подоснова станет видимой в графической области экрана и будет служить основой для создания этажей, помещений и последующего размещения электротехнического оборудования и трасс (рис. 2.13) [40].

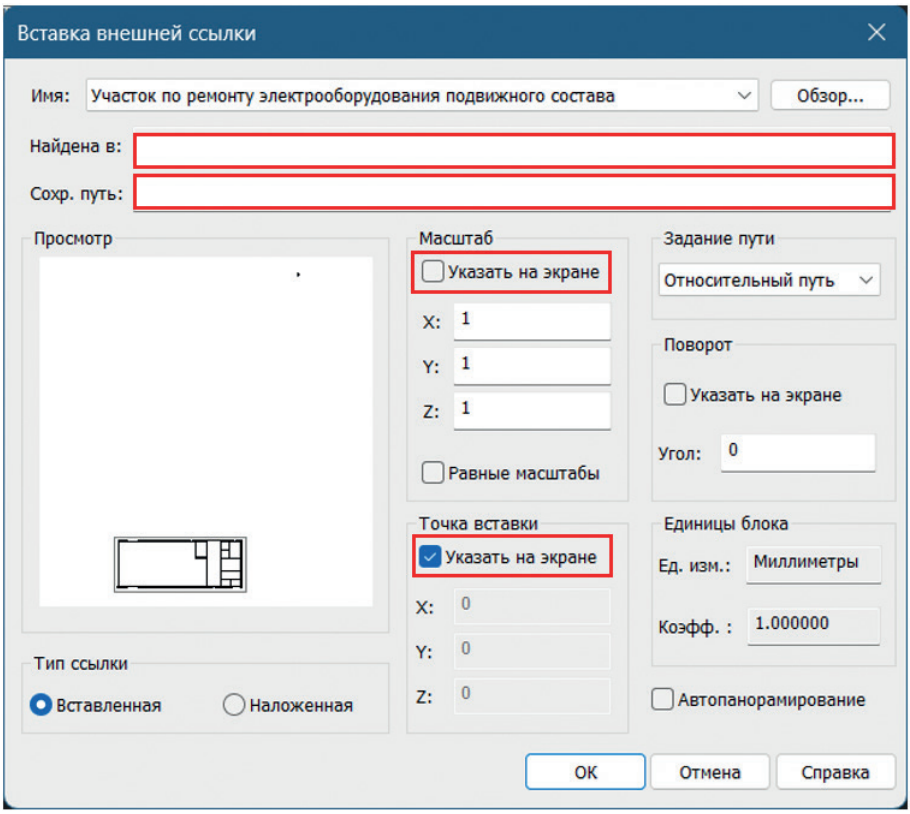


Рис. 2.12. Окно параметров nanoCAD BIM Электро **Вставка внешней ссылки** на *.dwg-чертеж

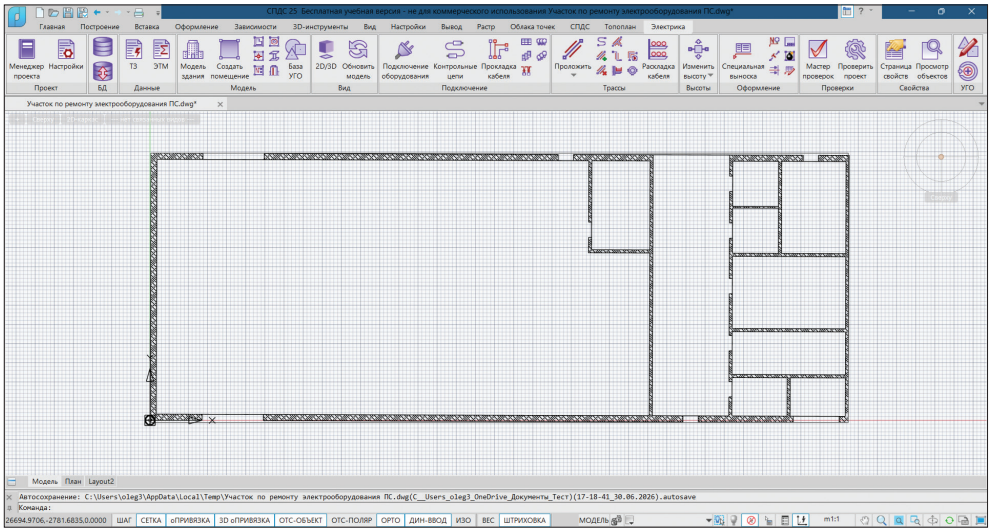


Рис. 2.13. Окно вкладки **Электрика** nanoCAD BIM Электро – вставка графической подосновы плана объекта проектирования

Для того чтобы система могла идентифицировать элементы объекта проектирования, а именно помещения и оборудование, в том числе по вертикальным уровням, необходимо создать объект **Этаж** → для этого на панели инструментов вкладки **Электрика** активировать инструмент **Создать этаж** → в графической области указать прямоугольную область, охватывающую всю площадь проектируемого здания, точные размеры этой области не критичны, важно, чтобы она полностью включала план (рис. 2.14). После формирования контура этажа программа отображает диалоговое окно, в котором необходимо задать его характеристики (рис. 2.15):

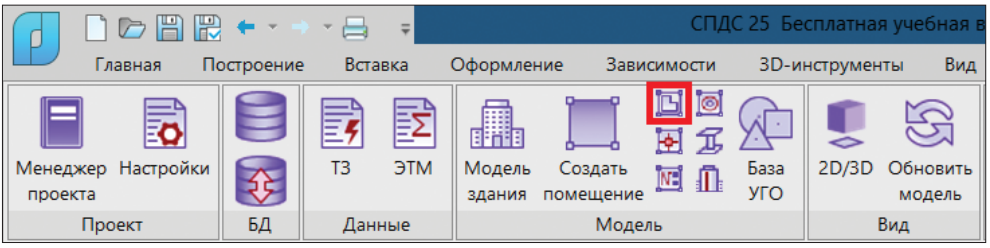


Рис. 2.14. Окно панели инструментов nanoCAD BIM Электро → **Электрика** → **Создать этаж**

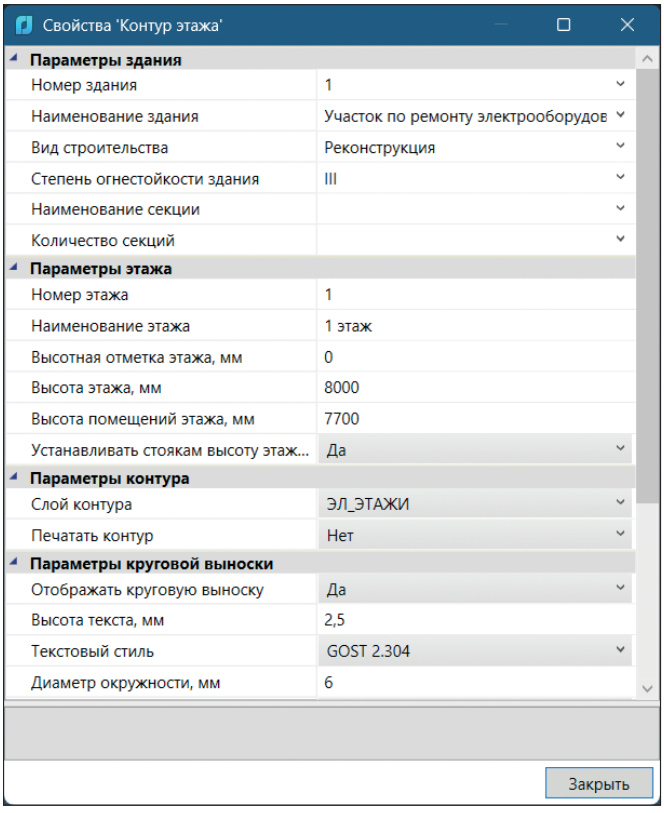


Рис. 2.15. Окно задания параметров контура этажа

- **Номер и наименование здания** (указывается идентификатор здания в составе комплекса (например, «1», «Производственное здание»));
- **Вид строительства** выбирается из списка (новое строительство, реконструкция, капитальный ремонт) и влияет на нормативные требования при проектировании;
- **Степень огнестойкости** задается в соответствии с классификацией (I, II, III, IV, V). Этот параметр важен для определения требований к кабельным линиям и оборудованию по пожарной безопасности;
- **Секции** – поле для указания количества и наименования строительных секций (температурных блоков) в здании, если таковые имеются;
- **Номер этажа** и **Наименование этажа** (указывается порядковый номер и название (например, «1», «Первый этаж»));
- **Высотная отметка этажа** (указывается абсолютная отметка (в метрах) уровня пола данного этажа (например, 0,000));
- **Высота этажа** (указывается расстояние от пола данного этажа до пола следующего этажа (стандартно 3300 мм, но может быть указана высота согласно архитектурному проекту));
- **Высота помещений этажа** (расчетная) (указывается высота от уровня пола до условного потолка, используемая для расчета объема помещений (часто 3000 мм, но может быть указана высота согласно архитектурному проекту));
- **Учитывать высоту этажа в расчетах** – активация этой опции гарантирует, что заданная высота будет использована программой при автоматических вычислениях нагрузок и других параметров;
- **Слой** определяет, на каком слое (например, «ЭЛ_ЭТАЖИ») будет размещен контур, это позволяет централизованно управлять его видимостью и свойствами;
- **Печать контура** – опция, разрешающая или запрещающая вывод контура на печать. Часто контур этажа используется только для построения модели и не должен отображаться в итоговых рабочих чертежах;
- **Отображение круговой выноски** – это опция для автоматического или ручного отображения выноски с отметкой этажа на плане;
- **Параметры текста** задает высоту и стиль шрифта для номера этажа в соответствии с требованиями ГОСТ;
- **Диаметр окружности** устанавливает размер графического элемента выноски [40, 42].

Для корректной сборки общей 3D-модели из отдельных этажей маркеры совмещения (точка привязки) на всех этажах должны находиться в одной и той же точке в глобальных координатах (рис. 2.16). Рекомендуется переместить его в точку пересечения основных разбивочных осей (например, в координаты X = 0, Y = 0, Z = 0) с помощью редактирования свойств или команд перемещения. Это правило должно быть единообразно применено для каждого этажа модели. Такая практика гарантирует точное совмещение всех уровней здания в едином координатном пространстве при построении итоговой 3D-модели и формировании разрезов.

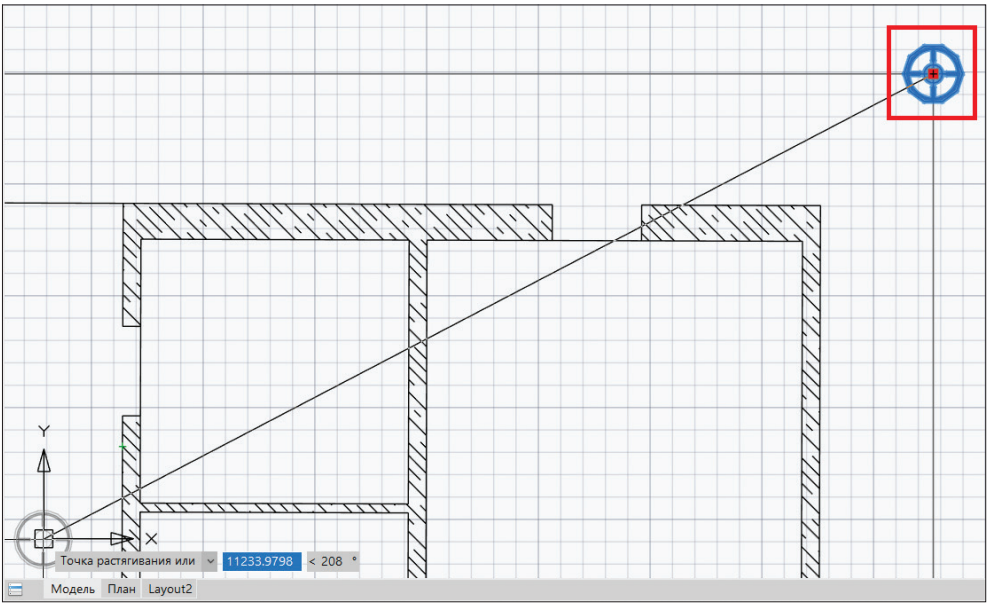


Рис. 2.16. Окно **Вставка** → маркер совмещения этажей

Для обеспечения корректного формирования единой трехмерной модели многоэтажного здания в системе используется специальный объект – маркер совмещения этажей. Данный маркер выполняет функцию единой базовой точки (относительного «нуля» здания), к которой привязываются все этажи проекта. В контексте информационного моделирования маркер задает точку в пространстве, относительно которой автоматически выравниваются и позиционируются все этажи согласно их проектным высотным отметкам.

После создания контура этажа и настройки маркера совмещения следующим логическим шагом является определение помещений. Программа nanoCAD BIM Электро предоставляет для этого несколько различных способов, адаптированных под различные исходные данные и задачи проектировщика. Помещения являются ключевыми объектами для автоматического расчета нагрузок. Их можно создать вручную или импортировать из файла.

1. **Ручное создание** (последовательное построение). Используя инструмент **Создать помещение**, пользователь вручную обводит курсором контур каждого помещения, повторяя границы, заданные на архитектурной подоснове. Этот метод является наиболее трудоемким, но обеспечивает полный контроль над формой и размерами каждого объекта (рис. 2.17).

Для этого на вкладке панели инструментов **Электрика** необходимо выбрать инструмент **Создать помещение** → задать контур помещения, используя режимы: по двум точкам (прямоугольник), по трем точкам или обводя существующие линии. В открывшемся окне свойств следует указать атрибуты помещения: номер помещения (например, кабинет 101), наименование («Кабинет руководителя») и т. п. – и проверить расчетную высоту помещения.

На рис. 2.17 представлена структурированная таблица свойств объекта **Контур помещения**. Визуально таблица разделена на несколько логических блоков, каждый из которых содержит группу параметров. Подраздел **Светотехнические свойства** будет рассмотрен далее, а раздел **Общие свойства** рекомендуется заполнять сразу после создания помещения.

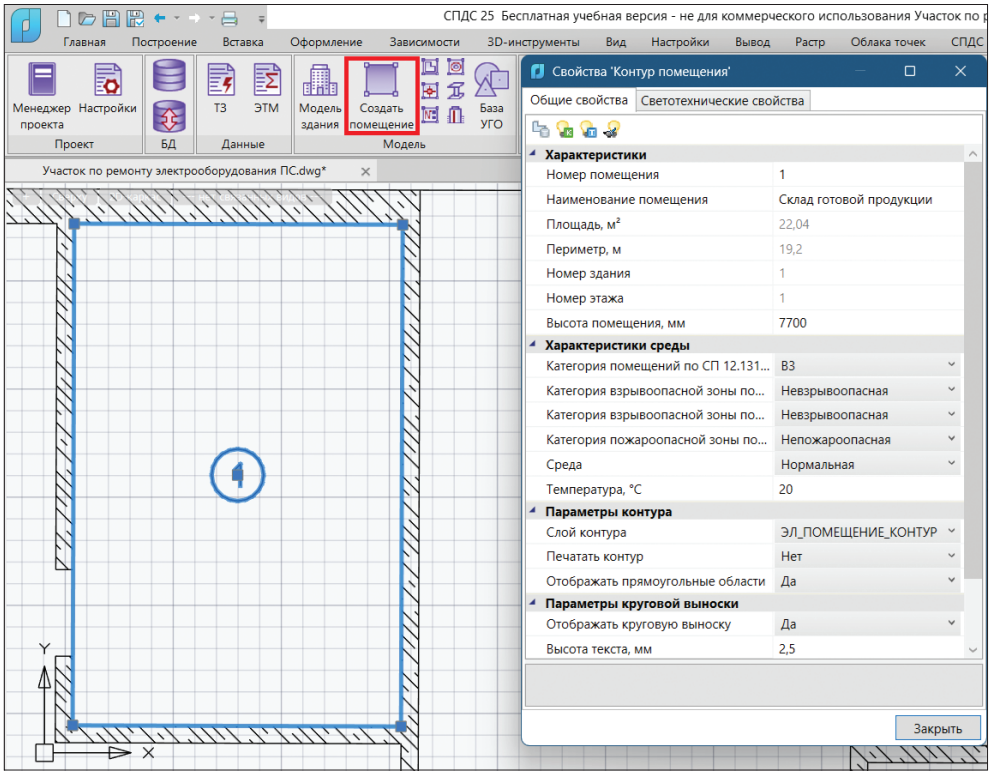


Рис. 2.17. Окно панели инструментов nanoCAD BIM Электро **Электрика** → команда **Создать помещение** → свойства **Контур помещения**

Объект **Помещение** в информационной модели содержит набор атрибутов (свойств), которые используются системой для автоматизированных расчетов, формирования документации и корректной классификации. Все параметры можно условно разделить на три основные группы.

1) **Основные идентификационные и геометрические параметры.** Эта группа содержит ключевую информацию для идентификации и базовых расчетов:
   - **Номер помещения** и **Наименование помещения** – уникальный идентификатор и функциональное название (например, «101», «Кабинет руководителя» или «Склад готовой продукции»), используется в ведомостях и на планах;
   - **Площадь** и **Периметр** – вычисляются автоматически на основе заданного контура. Площадь критически важна для расчета электрических нагрузок по удельным показателям (Вт/м²);

- **Номер здания** и **Номер этажа** – связь помещения с общей структурой объекта, задается автоматически при создании помещения в контуре определенного этажа;
- **Высота помещения** задается в миллиметрах, используется для расчета объема помещения (например, для расчета вентиляции), а также может влиять на расчет количества светильников для обеспечения нормируемой освещенности.

2) **Характеристики среды и условий эксплуатации.** Параметры этой группы определяют внешние условия, влияющие на выбор и монтаж электрооборудования:
   - **Категория помещения** по строительным нормам определяется в соответствии с СП 12.13130.2009 (Определение категорий помещений, зданий и наружных установок по взрывопожарной и пожарной опасности) и является исходным данным для установки требований к взрывозащите и пожарной безопасности;
   - **Категории взрыво- и пожароопасности зон** (по ПУЭ) согласно главам 7.3 и 7.4 обусловливают тип применяемого электрооборудования (обычное, взрывозащищенное);
   - **Тип среды** – общая характеристика условий (нормальная, влажная, пыльная, химически активная) влияет на выбор степеней защиты оболочки оборудования (IP);
   - **Температура** – расчетная температура воздуха в помещении, может учитываться при поправке сечения кабелей по условиям нагрева.
3) **Служебные параметры контура.** Технические параметры, управляющие отображением и печатью объекта в рамках системы. Слой, на котором размещен контур помещения, позволяет управлять видимостью и свойствами группы помещений. Настройки печати и отображения – это параметры, определяющие, будет ли объект выводиться на печать, его цвет, тип и толщина линий на виде.

Корректное и полное заполнение атрибутов помещения, особенно в группах 1 и 2, является обязательным условием для получения достоверных результатов автоматизированного расчета нагрузок, грамотного подбора оборудования и формирования проектной документации, отвечающей всем нормативным требованиям.

2. **Автоматическое определение** (по граничному контуру). Более эффективный способ – использование инструмента **Автоматически определить помещение**. Его алгоритм аналогичен функции **Заливки** в графических редакторах, пользователь указывает точку внутри замкнутого контура на плане (например, внутри комнаты, ограниченной стенами), и система автоматически распознает границы и создает объект **Помещение**. Этот метод значительно ускоряет работу при наличии четкой и корректной архитектурной подосновы. Для использования этого способа необходимо, чтобы архитектурная подоснова (чертеж стен, перегородок) была представлена замкнутыми контурами без разрывов, это необходимо для корректного определения границ помещения программой (рис. 2.18) [40, 55, 49].

Для этого на вкладке **Электрика** необходимо выбрать инструмент **Автоматически определить помещение** → указать точку внутри помещения → после активации команды курсор изменит вид → следует переместить курсор внутрь замкнутого контура будущего помещения (например, в центр комнаты, ограниченной стенами на подоснове).

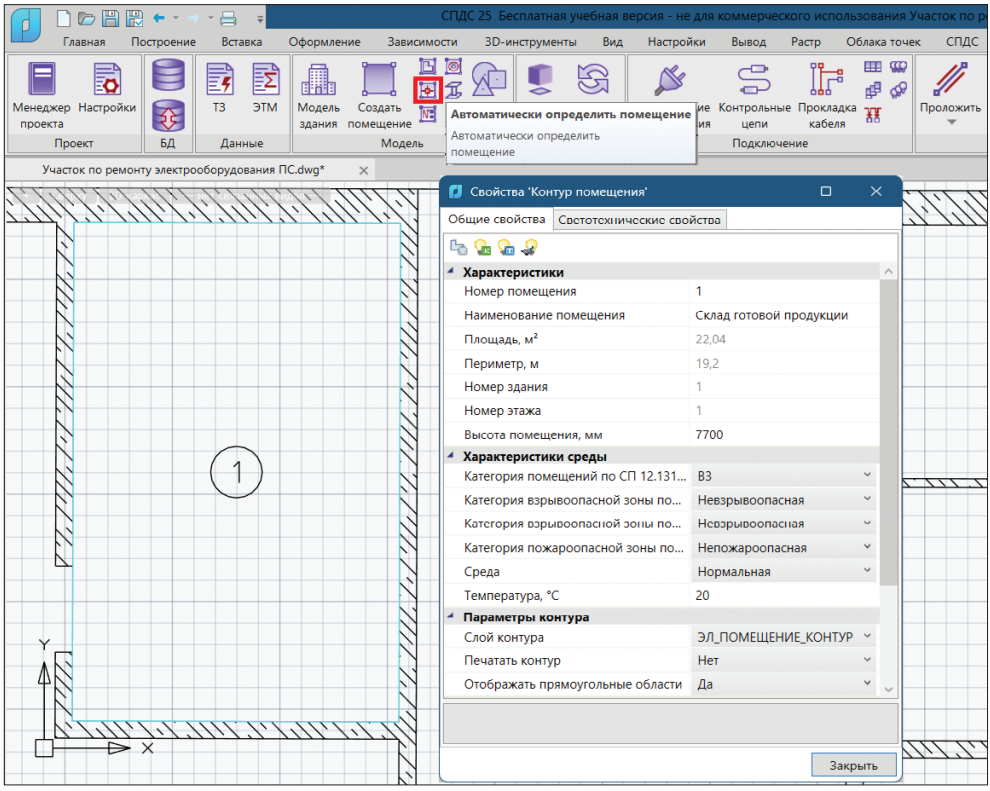


Рис. 2.18. Окно панели инструментов nanoCAD BIM Электро **Электрика** → **Автоматически определить помещение**

Указанная точка должна находиться строго внутри области, ограниченной непрерывными линиями (стенами); если точка будет указана на линии или вне контура, операция завершится ошибкой. Необходимо щелкнуть левой кнопкой манипулятора → программа автоматически проанализирует границы, найденные вокруг указанной точки, и создаст объект **Помещение**, геометрия которого в точности соответствует распознанному контуру. Система автоматически откроет диалоговое окно **Свойства помещения** для ввода атрибутов.

Если подоснова содержит разрывы или некорректные линии, программа может создать помещение с ошибочными границами или не создать его вовсе. Проверить и исправить разрывы в исходном чертеже (подоснове) можно, если использовать ручной инструмент **Создать помещение** для обводки неполного контура помещения или отредактировать вершины уже

созданного помещения с помощью стандартных команд редактирования. Данный метод позволяет за несколько минут создать помещения для всего этажа, значительно экономя время по сравнению с полностью ручным построением [40].

3. **Импорт из файла *.ifc** (наиболее автоматизированный). Если архитекторы или конструкторы разрабатывали модель в BIM-среде (например, в nanoCAD BIM Строительство, Renga, Revit, ArchiCAD), можно экспортировать из нее не только геометрию, но и структурированные данные, включая полный список помещений с их границами, номерами и наименованиями. Импорт этой информации в nanoCAD BIM Электро позволяет мгновенно создать все помещения в проекте, исключив рутинную работу и возможные ошибки при переносе (рис. 2.19).

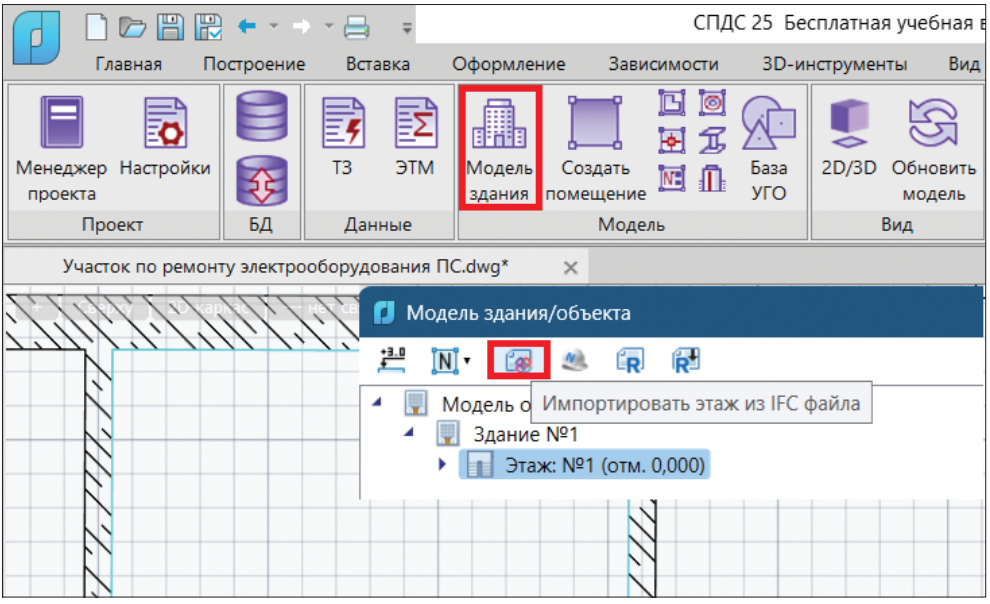


Рис. 2.19. Окно панели инструментов nanoCAD BIM Электро **Электрика** → **Модель здания** → **Импорт помещений из файла *.ifc**

Если имеется BIM-модель архитектуры объекта проектирования в формате *.ifc, можно автоматически импортировать из нее готовый список помещений с их границами и наименованиями. Для этого на панели инструментов интерфейса nanoCAD BIM Электро следует выбрать **Модель здания** → затем команду **Импортировать этаж из IFC-файла** → указать файл и выбрать нужный уровень (этаж) из списка → задать точку вставки, согласованную с маркером совмещения этажа → программа создаст объект **Помещение** на основе данных из IFC [40].

После импорта следует проверить корректность списка и удалить ошибочно созданные объекты (например, участки коридоров, ошибочно маркированные как помещения).

Окно **Модель здания** представляет собой древовидную структуру, отображающую все созданные этажи и помещения проекта; если архитектурная часть разрабатывалась в nanoCAD с использованием модуля СПДС, существует возможность переноса помещений.

Все созданные этажи и помещения отображаются в окне **Модель здания** в виде иерархической структуры, здесь доступны просмотр и редактирование свойств.

Для углубленной работы и визуализации в проект из IFC-файла можно загрузить не только данные о помещениях, но и полную геометрическую 3D-модель. Для этого на вкладке **Вставка** в панели **IFC** надо выбрать команду **Импорт** → указать тот же IFC-файл → и программа загрузит полную трехмерную геометрию здания (стены, перекрытия, окна и т. д.).

Для перехода к трехмерному представлению используется команда **2D/3D** на вкладке **Электрика** → **Вид** (рис. 2.20).

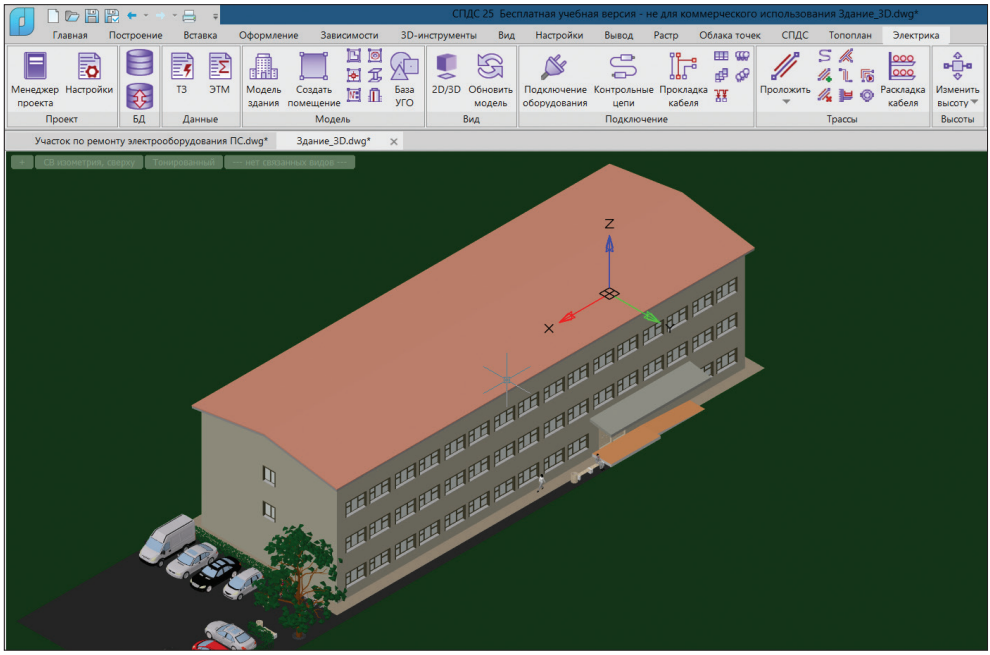


Рис. 2.20. Окно панели инструментов nanoCAD BIM Электро, пример импорта здания из IFC

Управлять видимостью элементов IFC-модели (стены, перекрытия, сетки) можно через дерево элементов на панели **IFC**, отключая ненужные на текущем этапе работы категории. Это позволяет использовать модель как основу для координации трасс и оборудования в пространстве.

После завершения настройки структуры здания необходимо сохранить результаты работы. Стандартное сохранение (**Ctrl**+**S**) сохраняет изменения в текущем графическом файле (.dwg), а полное сохранение проекта осуществляется через **Менеджер проекта** → **Сохранить все**, что гарантирует сохранение всех взаимосвязей, данных из базы оборудования и структуры проекта.

Контрольные вопросы к § 2.2

1. Дайте определение термину «архитектурно-строительная подоснова».
2. Какова основная практическая функция архитектурной подосновы в междисциплинарном проекте? К каким негативным последствиям может привести ее отсутствие?
3. Какие форматы файлов поддерживает nanoCAD BIM Электро для подключения архитектурной подосновы? Какой из этих форматов является открытым международным стандартом для обмена данными между BIM-системами?
4. Опишите пошаговую процедуру подключения 2D-подосновы в формате DWG к проекту. Почему для точного позиционирования рекомендуется вручную задавать координаты вставки (например, 0,0,0)?
5. С какой целью в проекте создается объект **Этаж**? Какие ключевые параметры необходимо задать в его свойствах и как они влияют на дальнейшие расчеты?
6. Что такое **Маркер совмещения этажей** и какова его роль в построении общей 3D-модели здания? Где рекомендуется его размещать и почему?
7. Назовите три способа создания объектов **Помещение** в nanoCAD BIM Электро. Какой из них является наиболее трудоемким, а какой – наиболее автоматизированным?
8. На какие три основные группы делятся атрибуты (свойства) объекта **Помещение**?
9. Какой параметр помещения, связанный с внешними условиями, напрямую определяет требования к степени защиты оболочки устанавливаемого электрооборудования?
10. В чем заключается основное преимущество импорта данных о помещениях из IFC-файла перед ручными методами? Какую дополнительную информацию, помимо контуров помещений, можно получить из полной IFC-модели?

§ 2.3. Базы данных как основа информационного моделирования

Любая современная система автоматизированного проектирования (САПР), включая BIM-платформы, представляет собой сложный программный комплекс, центральным элементом которого является база данных (БД). От ее организации и эффективности работы напрямую зависят скорость, точность и возможности всего процесса проектирования.

В теории автоматизированного проектирования **база данных (БД)** – это организованная совокупность структурированных данных, предназначенная для хранения, накопления и обработки информации обо всех объектах проектирования.

База данных САПР – это организованная, постоянно хранимая совокупность структурированных данных, описывающих характеристики объектов проектирования, правил их взаимодействия и параметры проектной среды, предназначенная для многоцелевого использования в процессе автоматизированного проектирования [43, 44].

В отличие от простого набора файлов (чертежей, текстов), база данных обеспечивает (рис. 2.21):

- **структурированность.** Данные организованы по определенным моделям (иерархической, сетевой, реляционной, объектной), что устанавливает логические связи между элементами;
- **целостность и непротиворечивость.** Система управления базами данных (СУБД) следит за соблюдением правил и связей, предотвращая возникновение ошибок (например, чтобы кабель не мог быть подключен к несуществующему аппарату);
- **многоаспектность.** Одни и те же данные могут использоваться для разных задач, например геометрического моделирования, инженерного расчета, формирования спецификации, стоимостного анализа;
- **независимость данных.** Пользователь работает с логическим представлением информации, в то время как физическое хранение (на диске, в сети) управляется системой.

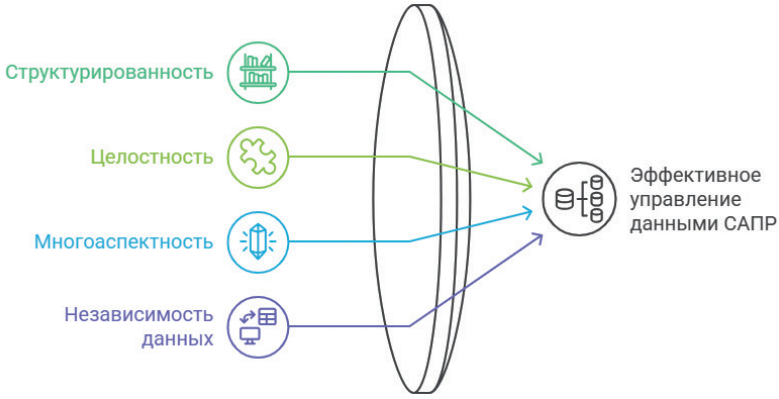


Рис. 2.21. Назначение базы данных САПР

В контексте САПР база данных трансформируется в информационную модель объекта (BIM-модель), которая является цифровым двойником будущего сооружения, содержащим всю информацию о его компонентах [43, 44].

Базы данных в САПР можно классифицировать по нескольким ключевым признакам (рис. 2.22).

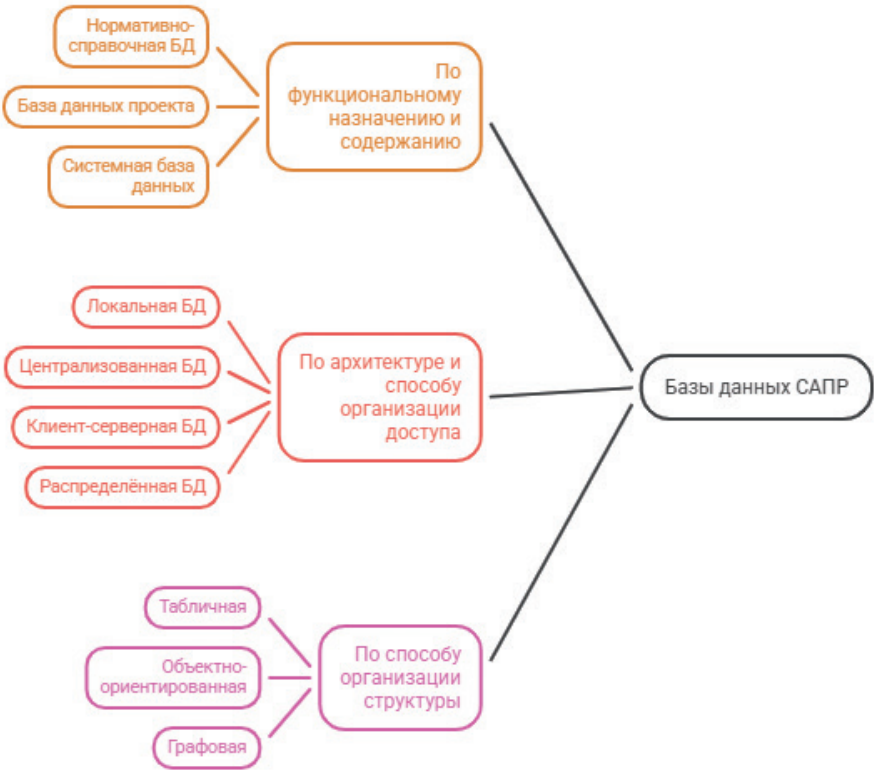


Рис. 2.22. Классификация баз данных САПР

1. **По функциональному назначению и содержанию:**

Нормативно-справочная база данных (НСБД, или библиотечная БД) содержит эталонную, условно-постоянную информацию:

- **библиотеки стандартных изделий и элементов** – это типовые узлы, крепеж, арматура, графические блоки;
- **базы данных оборудования** – это каталоги с параметрами реального оборудования от производителей (трансформаторы, кабели, автоматические выключатели) с их электрическими, габаритными и стоимостными характеристиками;
- **нормативные документы и справочники** – это встроенные выдержки из ГОСТ, СП, ПУЭ, таблицы для расчетов и т. п. [43, 44].

Все это обеспечивает проектировщика проверенной информацией, позволяет ускорить процесс проектирования за счет повторного использования готовых элементов и обеспечивает соответствие существующим стандартам.

База данных проекта (рабочая БД) содержит уникальную, динамически изменяемую информацию о конкретном разрабатываемом объекте:

- **геометрия и топология** – это координаты, размеры, связи между элементами созданной 3D-модели;

- **атрибутивные данные** – это назначенные свойства элементов (материал, производитель, состояние);
- **проектная документация** – это сформированные системой чертежи, схемы, спецификации, ведомости.

База данных проекта является ядром проекта, хранит все данные, введенные пользователем, и результаты автоматизированных расчетов.

Системная база данных (БД настроек) хранит параметры конфигурации самой САПР – это настройки интерфейса пользователя, параметры графических стилей, слоев, шаблонов, пути к библиотекам и сетевым ресурсам.

2. **По архитектуре и способу организации доступа:**

- **локальная БД** располагается на одном компьютере, все данные проекта и библиотеки хранятся локально. Преимуществом таких баз данных является независимость от сети, а недостатком – невозможность коллективной работы над одним файлом проекта и сложность синхронизации обновлений библиотек;
- **централизованная БД** – это база данных проекта, которая размещается на сетевом файловом сервере, пользователи подключаются к ней со своих рабочих станций, и это упрощает обмен информацией по проекту, но при одновременной работе нескольких человек над одним файлом могут возникнуть риски конфликтов и повреждений данных;
- **клиент-серверная БД** с централизованным управлением – это наиболее подходящая для реализации технологии BIM база данных. Клиент-серверная БД позволяет хранить данные на мощном сервере баз данных (например, Postgre SQL или Microsoft SQL Server). Рабочие станции (клиенты) посылают ему запросы на чтение или изменение данных, а сервер обрабатывает запросы. Такой подход позволяет обеспечить высокую целостность данных, эффективную многопользовательскую работу без конфликтов, разграничение прав доступа для разных участников проекта, ведение истории изменений и резервное копирование;
- **распределенная БД** – это логически единая база данных, которая физически размещена на нескольких серверах, часто в разных локациях и обеспечивает высокую надежность и скорость доступа для географически распределенных команд [40, 46, 65].

3. **По модели данных (способу организации структуры):**

- **реляционная (табличная)**. Данные организованы в виде набора взаимосвязанных таблиц, классическая и широко распространенная модель, хорошо подходит для НСБД (каталоги оборудования);
- **объектно-ориентированная**. Данные организованы в виде иерархии объектов (классов), которые объединяют в себе как свойства (атрибуты), так и методы (поведение), это основа современных BIM-платформ, где каждый элемент модели (стена, светильник) является объектом;
- **графовая**. Активно используется для описания сетей (топологии). Элементы – это узлы (вершины графа), а связи между ними – ребра, идеально подходит для моделирования систем электроснабжения, где важно понимать логические связи «источник – автомат – кабель – потребитель».

Таким образом, база данных в современной САПР – это сложная, многоуровневая система, сочетающая в себе функции библиотеки, чертежной доски, калькулятора и архива. Понимание ее структуры и принципов работы является фундаментальным для эффективного использования любого профессионального инструмента проектирования, такого как nanoCAD BIM Электро.

Для дальнейшей работы над проектом, а именно для разработки модели системы электроснабжения и размещения оборудования на архитектурной основе, необходимо определиться с используемым электротехническим оборудованием. Данный процесс осуществляется с использованием инструментов BIM Электро и базируется на работе с базой данных оборудования.

В системах типа nanoCAD BIM Электро база данных – это не просто каталог условных обозначений, а структурированное хранилище интеллектуальных объектов. Каждый элемент (автоматический выключатель, кабель, щит) обладает комплексом атрибутов: геометрией, электрическими параметрами, каталожными номерами, стоимостью. Такая организация данных обеспечивает автоматизацию расчетов (токи короткого замыкания, падение напряжения и т. п.) на основе встроенных параметров, формирование точных спецификаций напрямую из модели, целостность проекта и соблюдение нормативов. В nanoCAD BIM Электро реализована гибридная модель работы с данными, сочетающая элементы распределенного и централизованного подходов.

Системные (демонстрационные) библиотеки входят в дистрибутив программного обеспечения и содержат базовый набор элементов для ознакомления, но часто не являются актуальными с точки зрения современного рынка оборудования, поэтому используются для обучения и первичного освоения интерфейса (рис. 2.23).

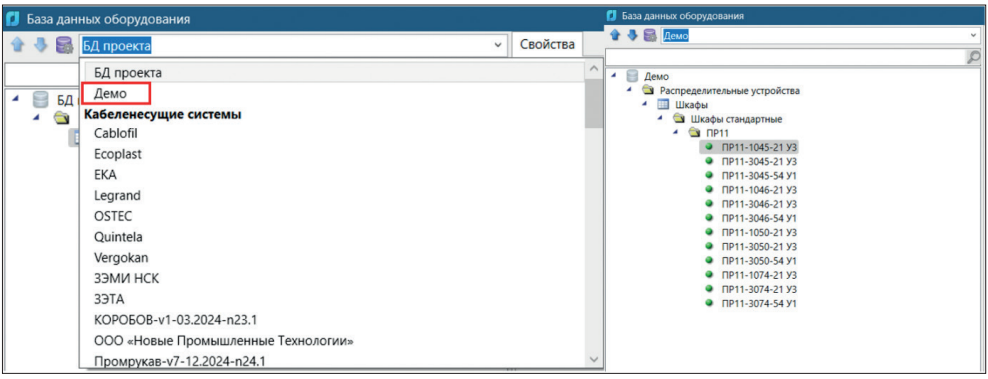


Рис. 2.23. Окно интерфейса **База данных оборудования** (демо)

Внешние (подключаемые) библиотеки производителей – это наиболее предпочтительный вариант для реального проектирования. Это специализированные файлы (с расширением *.db), предоставляемые производителями электротехнического оборудования. Они представляют собой актуальные нормативно-справочные базы, которые пользователь подключает к системе (рис. 2.24) [65, 37, 38].

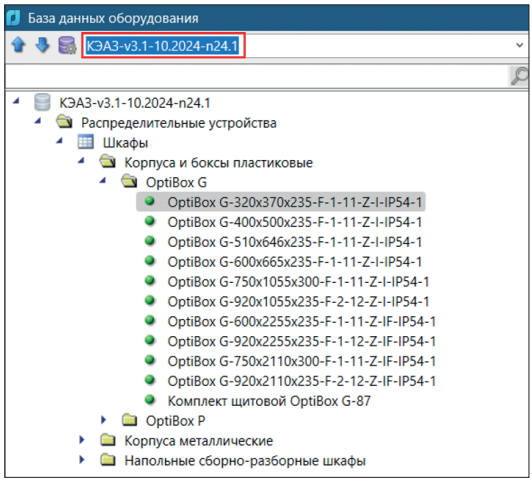


Рис. 2.24. Окно **База данных оборудования**, пример (библиотека производителей)

Локальная база данных проекта (рабочая БД) автоматически создается и пополняется в процессе работы, сохраняет все оборудование, использованное или выбранное в данном конкретном проекте, обеспечивая быстрый повторный доступ к ним. Любое оборудование, выбранное для размещения (даже если оно не было окончательно вставлено в чертеж), автоматически сохраняется в локальной базе данных проекта, оставаясь доступным для повторного использования.

Система использует атрибуты (свойства) оборудования из базы для выполнения электротехнических расчетов: токов короткого замыкания (КЗ), падения напряжения, проверки условий срабатывания защит. Это исключает ошибки ручного ввода данных.

Все размещенные в модели объекты автоматически попадают в спецификации и ведомости, база данных обеспечивает корректное наименование, маркировку и подсчет количества, формируя основу для заказа материалов и составления сметы.

Централизованное хранение данных позволяет при изменении типа оборудования в базе (например, модели кабеля) автоматически обновить все его экземпляры в проекте, связанные расчеты и выходные документы.

Применение актуальных библиотек непосредственно от производителей электротехнического оборудования является отраслевым стандартом, только производитель гарантирует актуальность и достоверность электрических и габаритных характеристик, что критически важно для корректности всех автоматических расчетов. Каталоги производителей постоянно обновляются, поэтому использование актуальной библиотеки исключает риск проектирования оборудованием, снятым с производства. Спецификация, сформированная на основе библиотеки производителя, содержит точные каталожные номера, что гарантирует поставку проверенного в расчетах изделия и облегчает прохождение экспертизы. Многие производители предоставляют BIM-библиотеки с геометрически точными 3D-моделями, что необходимо для пространственного

координационного проектирования и выявления коллизий. Если на начальном этапе точный перечень оборудования неизвестен, это не является препятствием для начала работы, так как любую базу данных можно подключить в процессе проектирования.

Специализированные библиотеки для nanoCAD BIM Электро – это файлы с расширением, специфичным для формата базы данных системы, они максимально адаптированы, содержат все необходимые для расчетов атрибуты. Условные графические обозначения (УГО) не входят в состав этих библиотек, УГО поставляются отдельно в виде DWG-файлов с блоками, соответствующими требованиям ГОСТ, и входят в комплект дистрибутива программы. При размещении оборудования на плане происходит связывание выбранного элемента из базы данных (с его расчетными параметрами) с соответствующим графическим блоком из библиотеки УГО, что обеспечивает как корректное отображение, так и возможность выполнения расчетов.

Актуальные базы данных оборудования доступны для скачивания в личном кабинете на официальном портале nanoCAD в разделе «BIM Электро» (рис. 2.25), а также на официальных сайтах производителей электротехнического оборудования в разделах поддержки, CAD/BIM-библиотек или технической документации.

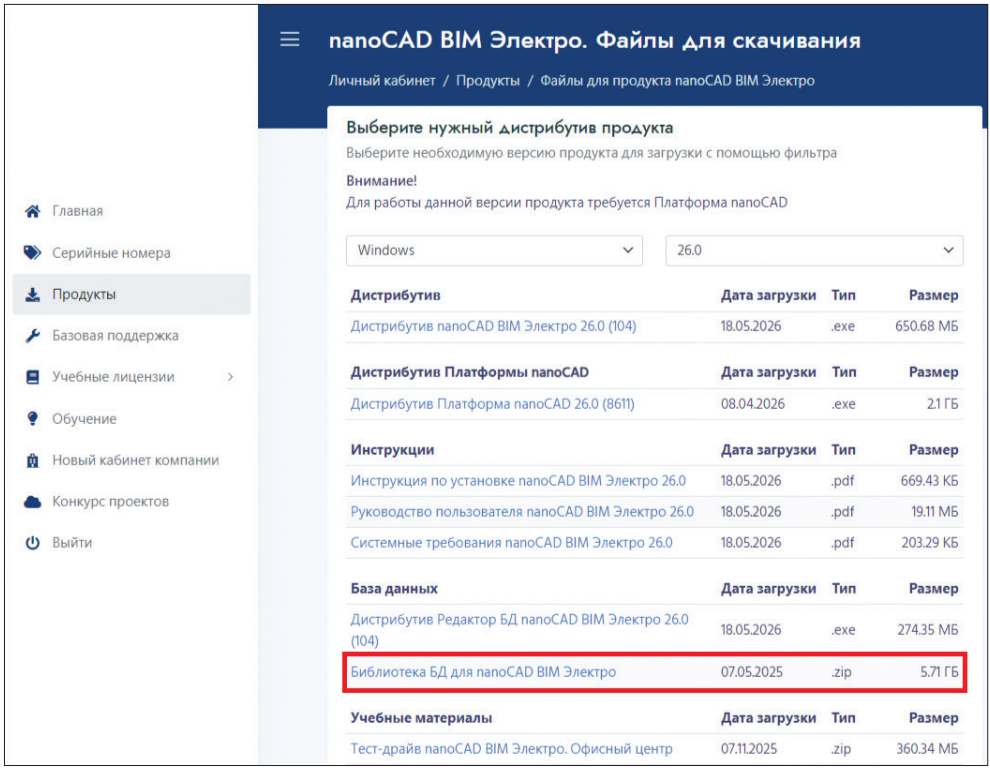


Рис. 2.25. Окно личного кабинета в nanoCAD →
Библиотека БД производителей для nanoCAD BIM Электро

Целые категории оборудования из внешних библиотек можно экспортировать в базу проекта для консолидации часто используемых элементов.

Подключение внешних баз осуществляется через использование инструмента на панели интерфейса nanoCAD BIM Электро **Импорт/Экспорт оборудования** (рис. 2.26). Для последующего подключения к проекту файлы баз данных оборудования необходимо предварительно загрузить и корректно подготовить [38, 59].

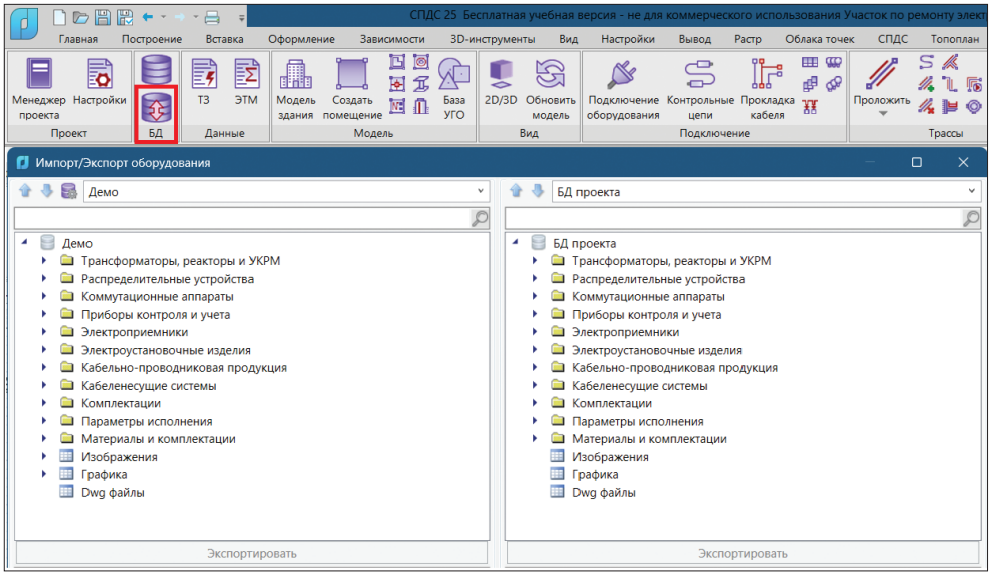


Рис. 2.26. Окно **Импорт/Экспорт БД оборудования** в nanoCAD BIM Электро

Как упоминалось ранее, исходные файлы библиотек оборудования следует получать из официальных источников – личного кабинета пользователя на портале nanoCAD (рис. 2.25) или CAD/BIM-библиотек на сайтах производителей электротехнической продукции. Полученные файлы часто распространяются в виде архивов (форматы *.zip или *.rar), поэтому перед использованием необходимо распаковать содержимое архива в отдельную, заранее созданную папку на жестком диске рабочего компьютера. После распаковки важно убедиться в корректности формата файлов библиотеки. Специализированные базы данных для nanoCAD BIM Электро, как правило, имеют определенные расширения, например *.sdf или *.db. Использование файлов поддерживаемого формата является обязательным условием для обеспечения полной функциональности, корректной работы всех атрибутов оборудования и выполнения точных инженерных расчетов в рамках проекта [40].

После подготовки файлов необходимо интегрировать библиотеку в рабочую среду проекта. Основным инструментом для этого служит функция **Импорт/Экспорт оборудования** (рис. 2.26). Для этого в интерфейсе nanoCAD BIM Электро необходимо выбрать функцию **Импорт/Экспорт оборудования** → используя инструмент для подключения новых библиотек, указать путь к папке, в которую были распакованы файлы базы данных. Путь может быть как локальным (на диске компьютера), так и сетевым (для организации коллективной работы) (рис. 2.27).

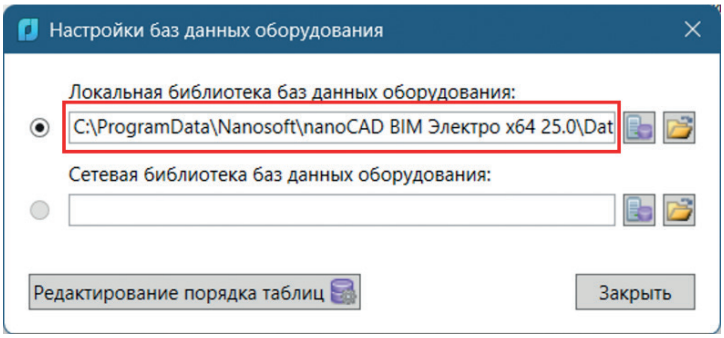


Рис. 2.27. Окно **Настройки баз данных оборудования** → экспорт БД оборудования в nanoCAD BIM Электро

После указания пути выбрать нужную библиотеку из списка доступных → активировать команду **Экспортировать в проект** → система загрузит структуру и каталог оборудования в локальную базу данных текущего проекта (рис. 2.28). Только после завершения процесса загрузки оборудование из новой библиотеки станет доступным для выбора и размещения в графической области проекта.

В ситуации, когда необходимый компонент отсутствует даже в актуальных библиотеках производителей, система предоставляет возможность создания собственных элементов. Инструмент **Ручное добавление элемента** позволяет создать пустую запись в базе данных и вручную заполнить весь набор атрибутивных свойств. Этот метод требует внимательности и времени, но является незаменимым для работы со специальным, уникальным или опытным оборудованием, которого нет в стандартных каталогах [40].

Таким образом, процесс работы с базой данных в nanoCAD BIM Электро носит гибкий и расширяемый характер. Последовательное выполнение шагов по получению, подключению и, при необходимости, созданию элементов оборудования формирует надежную и актуальную информационную основу. Это обеспечивает не только корректность автоматизированных расчетов и точность спецификаций, но и закладывает фундамент для слаженной коллективной работы над проектом, отвечающим всем требованиям нормативной документации.

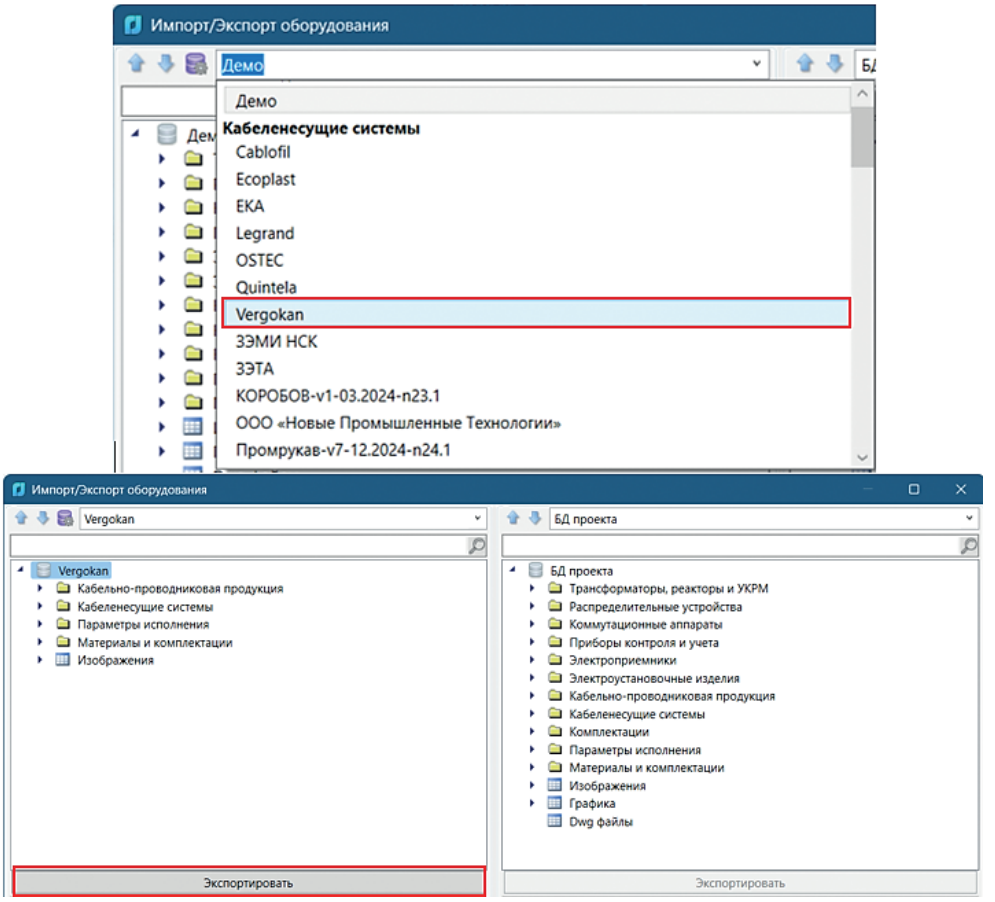


Рис. 2.28. Окно **Импорт/Экспорт БД оборудования** в nanoCAD BIM Электро → экспорт выбранной БД оборудования

Контрольные вопросы к § 2.3

1. Дайте определение базы данных в контексте систем автоматизированного проектирования. Чем база данных принципиально отличается от простого набора отдельных файлов (чертежей, текстовых документов)?
2. Перечислите и кратко охарактеризуйте четыре ключевых свойства, которые обеспечивает база данных в САПР.
3. На какие три основные группы классифицируются базы данных САПР по их функциональному назначению и содержанию? Кратко опишите, какую информацию содержит каждая из них.
4. Что такое нормативно-справочная база данных (НСБД)? Приведите не менее трех примеров информации, которая в нее входит, и поясните ее практическое значение для проектировщика.
5. В чем заключаются основные различия между локальной, централизованной (файл-серверной) и клиент-серверной архитектурами баз данных? Назовите по одному преимуществу и недостатку каждой из них.

6. Какой тип архитектуры баз данных (локальная, централизованная, клиент-серверная) является наиболее подходящим для организации коллективной работы над BIM-проектом и почему?
7. Объясните разницу между реляционной, объектно-ориентированной и графовой моделями данных. Какая из них является основой для BIM-платформ и почему она лучше всего подходит для моделирования систем электроснабжения?
8. Опишите иерархию работы с базами данных в nanoCAD BIM Электро. Чем отличаются системные (демонстрационные) библиотеки, внешние библиотеки производителей и локальная база данных проекта?
9. Почему для реального проектирования критически важно использовать актуальные библиотеки оборудования, полученные непосредственно от производителей, а не ограничиваться встроенными демобазами?
10. Какую функцию в nanoCAD BIM Электро выполняет инструмент **Импорт/Экспорт оборудования**? В каких практических ситуациях проектировщику может потребоваться его использование?

(!) Для закрепления материала по данной главе пройдите тест, который находится на странице с дополнительными материалами (см. на стр. 7).

Практическое задание № 1

Тема: «Создание и настройка проекта в nanoCAD BIM Электро с подключением архитектурной подосновы и базы данных оборудования».

Цель задания: освоить основные этапы начала работы в nanoCAD BIM Электро: создание проекта, настройка параметров, подключение архитектурной подосновы и базы данных электротехнического оборудования.

Задание

1. **Создать новый проект.**

Откройте nanoCAD BIM Электро → через **Менеджер проекта** создайте новый проект с именем **«Участок по ремонту электрооборудования подвижного состава (ЭПС)»** → сохраните проект в отдельную папку → в настройках используйте базу данных оборудования по умолчанию.

2. **Настроить параметры проекта.**

Откройте диалоговое окно **Настройки проекта** → во вкладке **Проект** выберите методику расчета нагрузок – **РТМ 36.18.32.4-92** → выберите методику расчета токов КЗ – **ГОСТ 28249-93** → установите номинальное напряжение – **230/400 В** → тип системы заземления – **TN-C-S** → региональный поправочный коэффициент – **0,91** → во вкладке **ГХ(СП 256.1325800.2016)** создайте новую групповую характеристику с именем **«Производственное оборудование»** → задайте категорию – **Спец. оборудование** → таблица Кс/Ко – **Т7.8 п.11** → учитывать на вводе – **Да**.

Кроме этого, во вкладке **ГХ (СП 256.1325800.2016)** должны быть групповые характеристики с именем **Рабочее освещение** → таблица Кс/Ко – **Т7.1.3** и с именем **Розеточная сеть** → таблица Кс/Ко – **Т7.7 п.1**, остальные настройки остаются по умолчанию.

3. **Подключить архитектурную подоснову.**

Подключите готовый файл подосновы в формате *.dwg (скачать на web-странице с дополнительными материалами, указанной на стр. 7 во введении) → разместите подоснову в координатах **X = 0, Y = 0, Z = 0**.

4. **Создать этаж и помещения.**

Создайте объект **Этаж**, охватывающий всю площадь здания → задайте параметры:

Номер здания – **1**.

Наименование здания – **Участок по ремонту электрооборудования подвижного состава**.

Вид строительства – **Реконструкция**.

Степень огнестойкости здания – **III**.

Номер этажа – **1**.

Наименование этажа – **1 этаж**.

Высотная отметка этажа – **0 мм**.

Высота этажа – **8000 мм**.

Высота помещений этажа – **7700 мм**.

Создайте помещения автоматически в соответствии с рис. 2.29.

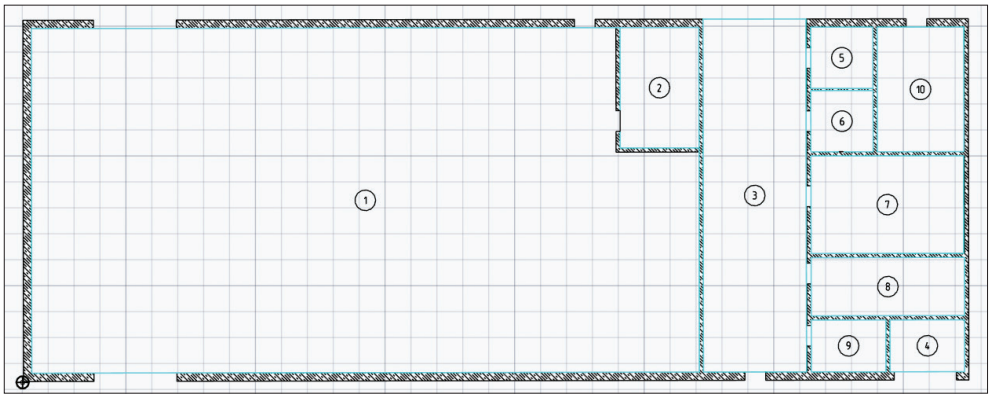


Рис. 2.29. План помещений участка по ремонту электрооборудования подвижного состава

Заполните наименования всех помещений и их высоту в соответствии с данными, приведенными в табл. 2.1.

Все остальные параметры (площадь, периметр, коэффициенты отражения, категория среды и др.) оставьте без изменений – они либо вычисляются автоматически, либо будут заданы на следующих этапах проектирования. Правильность заполнения можно проверить, сверив отображаемые значения с табл. 2.1. Несоответствие высоты помещения фактической может привести к ошибкам при расчете освещения и вентиляции, поэтому уделите этому шагу особое внимание.

Таблица 2.1. Заданные параметры помещений

№ помещения	Наименование помещения	Высота помещения, мм
1	Производственный цех	7700
2	Склад готовой продукции	7700
3	Коридор	7700
4	Электрощитовая	7700
5	Кабинет 1	3000
6	Кабинет 2	3000
7	Кабинет 3	3000
8	Кабинет 4	3000
9	Кабинет 5	3000
10	Склад	7700

5. **Подключить базу данных оборудования.**

Загрузите базу данных оборудования на компьютер → через инструмент **Импорт/Экспорт оборудования** подключите внешнюю базу данных к проекту → убедитесь, что база отображается в списке доступных библиотек.

6. **Сохранить проект.**

Сохраните все изменения через **Менеджер проекта → Сохранить все**.

Критерии правильного выполнения задания

1. **Проект создан и сохранен.**

В **Менеджере проекта** отображается проект с заданным именем **«Участок по ремонту ЭПС»**.

Структура проекта содержит раздел **Участок по ремонту ЭПС** и созданный план (рис. 2.30).

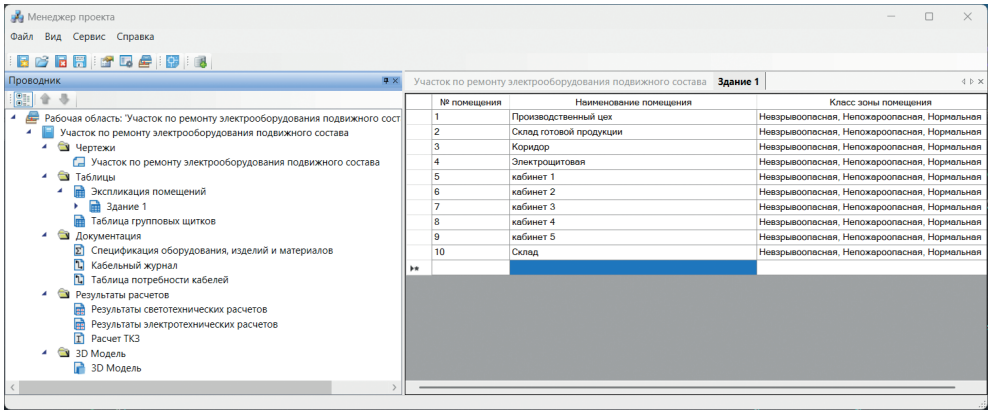


Рис. 2.30. Пример выполнения п. 1 практического задания № 1

2. **Настройки проекта корректны.**
   - В окне **Настройки проекта** во вкладке **Проект** заданы все вышеуказанные параметры (рис. 2.31).

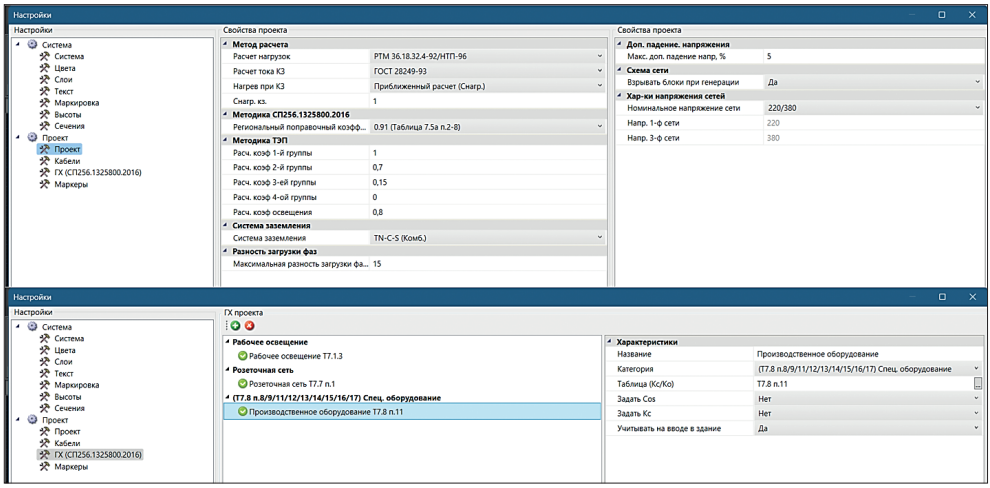


Рис. 2.31. Пример выполнения п. 2 практического задания № 1

   - Во вкладке **ГХ (СП 256.1325800.2016)** создана групповая характеристика с именем **«Производственное оборудование»** и заданы все параметры и свойства (рис. 2.31).

3. **Архитектурная подоснова подключена** (рис. 2.32): в графической области отображается план помещений, подоснова расположена в координатах **0,0,0**, масштаб документа **1:100**.

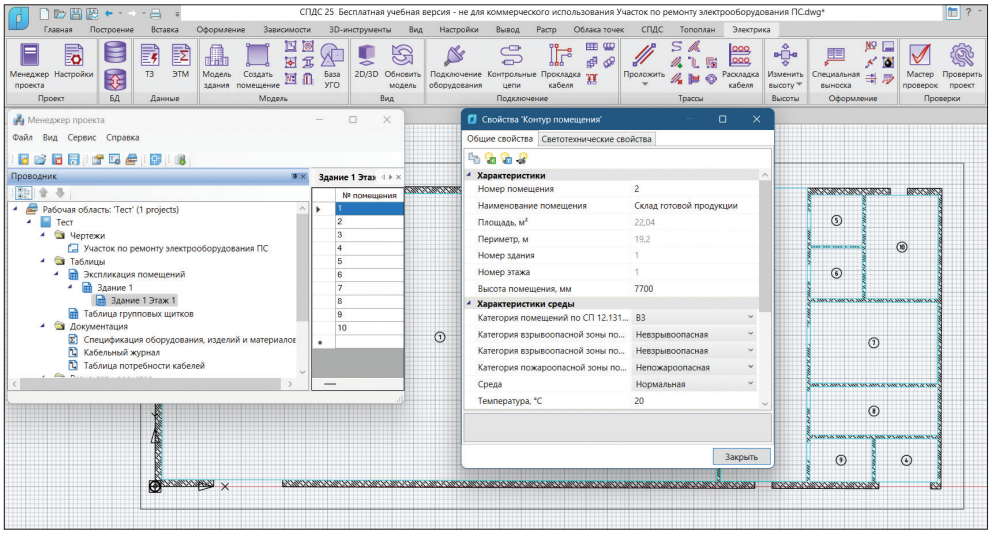


Рис. 2.32. Пример выполнения пп. 3, 4 практического задания № 1

4. **Этаж и помещения созданы**, в структуре проекта есть объект **1 этаж** с заданной высотой, созданы все помещения с заполненными свойствами, помещения корректно отображаются на плане (рис. 2.32).
5. **База данных оборудования подключена**, в окне **База данных оборудования** отображается подключенная библиотека, доступны категории оборудования (например, светильники, кабели, автоматические выключатели) (рис. 2.33).

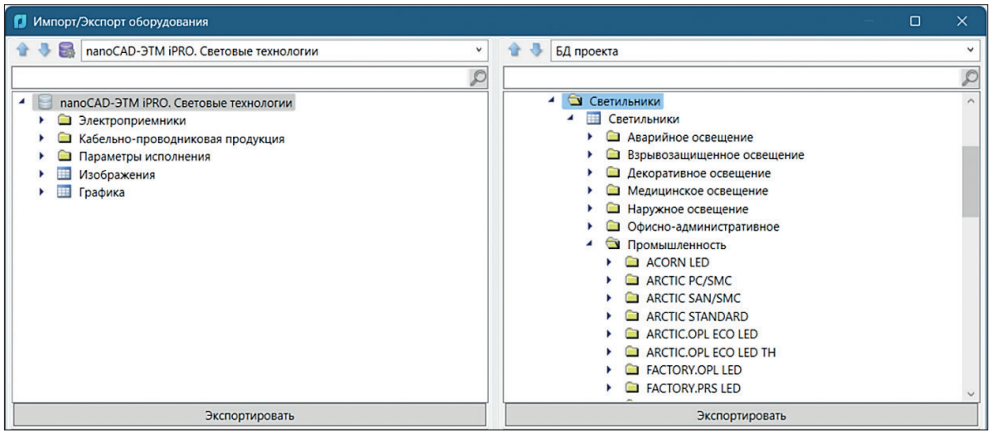


Рис. 2.33. Пример выполнения п. 5 практического задания № 1

6. **Проект сохранен полностью**, использована команда **Сохранить все**, все файлы проекта находятся в указанной папке.

Задание считается **выполненным**, если обучающийся продемонстрировал все этапы работы в программе, корректно заполнил параметры проекта, создал план с помещениями и подключил базу данных. Ошибки в масштабах, отсутствие подосновы или неподключенная БД являются основанием для доработки задания.

ГЛАВА 3

Разработка информационной модели объекта проектирования в nanoCAD BIM Электро

§ 3.1. Моделирование и расчет системы освещения в nanoCAD BIM Электро

Проектирование освещения – один из ключевых этапов разработки проекта системы электроснабжения промышленных предприятий и предприятий транспорта. От этого зависят безопасность, производительность труда, комфорт и энергоэффективность любого производственного помещения. Современные BIM-системы, такие как nanoCAD BIM Электро, позволяют автоматизировать этот процесс, интегрируя расчеты освещения в общую информационную модель объекта.

Освещение подразделяется на естественное и искусственное.

Естественное освещение создается прямым или рассеянным солнечным светом через световые проемы (окна, зенитные фонари). Оно нормируется коэффициентом естественной освещенности (КЕО), но в рамках электротехнического проекта в nanoCAD BIM Электро, как правило, не рассчитывается, а учитывается архитектурными решениями.

Искусственное освещение создается электрическими источниками света. В зависимости от назначения его разделяют на несколько видов (рис. 3.1).

Рабочее освещение обеспечивает нормативные условия зрительной работы во всех помещениях и на территориях, требующих выполнения производственных процессов, это основной вид освещения.

Аварийное освещение предназначено для продолжения работы (освещение безопасности) или безопасной эвакуации людей (эвакуационное освещение) при отключении рабочего освещения. Особенность аварийного освещения заключается в обязательном наличии автономного питания (от аккумуляторных батарей, дизель-генераторов, источников бесперебойного питания (ИБП) и т. п.). В nanoCAD BIM Электро для него создаются отдельные группы и цепи

питания, которые рассчитываются с учетом требований к минимальной продолжительности работы и уровню освещенности (по СП 52.13330.2016 и СП 256.1325800.2016) [56].

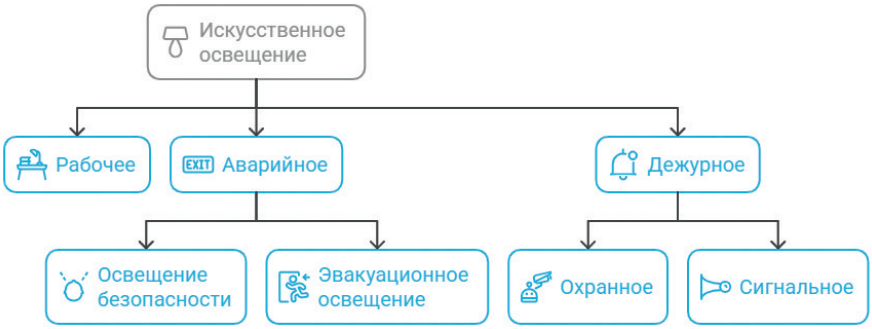


Рис. 3.1. Классификация искусственного освещения

Дежурное освещение (охранное, сигнальное) предусматривается для несения дежурств в нерабочее время и нормируется только по необходимости.

В промышленных зданиях предприятий транспорта корректный расчет освещения очень важен, так как влияет на:

1) безопасность (снижает риск травматизма из-за недостаточной видимости движущихся частей оборудования, ступеней, проходов);
2) качество продукции (достаточный и равномерный свет позволяет операторам контролировать технологические процессы, выявлять дефекты);
3) производительность труда (оптимальная освещенность снижает зрительное утомление, способствует сохранению здоровья работников и повышению эффективности);
4) энергоэффективность (грамотный подбор светильников и их размещение позволяет достичь нормативных показателей с минимальными затратами электроэнергии) (рис. 3.2) [56].

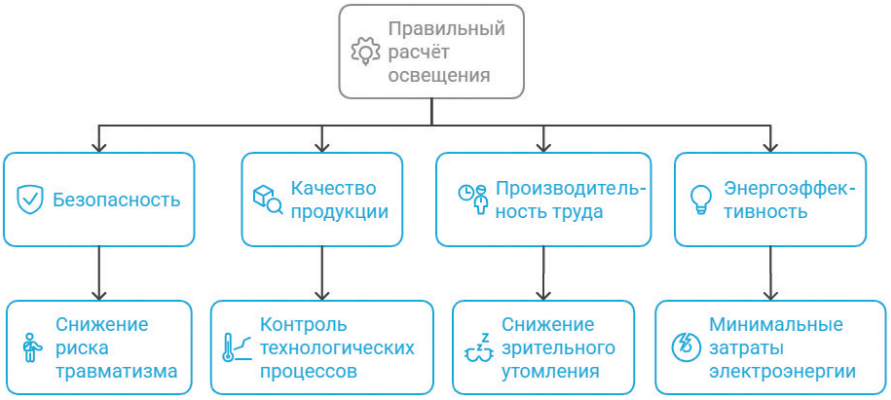


Рис. 3.2. Значение правильного расчета освещения промышленных объектов

Для расчета искусственного освещения на промышленных предприятиях и предприятиях транспорта применяются две основные методики, реализованные в nanoCAD BIM Электро, – **метод коэффициента использования** светового потока и **точечный метод**. Чтобы понять особенности применения этих методов расчета, рассмотрим их достоинства, недостатки и сферу применения (табл. 3.1).

Таблица 3.1. Сравнение методов расчета искусственного освещения

Критерий	Метод коэффициента использования ($К_и$)	Точечный метод
Область применения	Общая равномерная освещенность горизонтальных поверхностей в помещениях правильной формы	Локализованное освещение, освещение наклонных/вертикальных поверхностей, наружное освещение, проверка неравномерности
Учет отражений	Учитывает комплексно через коэффициент использования	Не учитывает или учитывает частично
Достоинства	Простота, скорость расчета для стандартных помещений	Высокая точность для любой геометрии и требований
Недостатки	Неточность для помещений сложной формы или при нестандартном размещении светильников	Трудоемкость ручного расчета
Применение в nanoCAD BIM Электро	Основной метод для автоматического расчета рабочего и аварийного освещения помещений	Применяется для внешнего освещения и как проверочный для сложных случаев

На выбор и результат расчета напрямую влияют свойства модели объекта **Помещение**, созданного ранее (см. § 2.2), а именно:

- **геометрия** (длина, ширина, высота) определяет расчетную площадь и индекс помещения для метода $K_и$;
- **коэффициенты отражения** потолка, стен, пола зависят от отделки и учитываются в методе $K_и$ через коэффициент использования, задаются в свойствах помещения;
- **тип среды** (пыльная, влажная) определяет требуемую степень защиты (*IP*) светильников;
- **категория по взрывопожарной опасности** определяет необходимость применения взрывозащищенных светильников;
- **нормируемая освещенность** – это ключевой исходный параметр, который зависит от разряда зрительной работы по СП 52.13330.2016.

Для ускорения работы в nanoCAD BIM Электро используются **Прототипы помещений**. Это заранее созданные и настроенные шаблоны с предопределенными атрибутами (категория, освещенность, коэффициенты отражения). Назначив прототип, например «Офис» или «Производственный цех точных работ», проектировщик сразу задает все параметры, необходимые для корректного расчета.

§ 3.1.1. Расчет освещения методом коэффициента использования

Расчет освещения методом коэффициента использования ($K_и$) в nanoCAD BIM Электро используется для расчета общего равномерного освещения.

Алгоритм расчета следующий (рис. 3.3).

1. Подготовка исходных данных – площадь (S), высота (h), коэффициенты отражения, нормируемая освещенность ($E_{норм}$).
2. Выбор светильника из БД оборудования – тип, кривая силы света (КСС), мощность лампы ($Ф_л$).
3. Расчет индекса помещения:

$$i = S / (h \cdot (A + B)), \qquad (3.1)$$

   где A, B – длина и ширина.

4. Определение коэффициента использования (η) по «Таблице $K_и$» выбранного светильника (из БД оборудования) с учетом индекса помещения и коэффициентов отражения поверхностей.
5. Расчет требуемого количества светильников (N):

$$N = (E_{норм} \cdot S \cdot K_з) / (Ф_л \cdot \eta \cdot n), \qquad (3.2)$$

   где $K_з$ – коэффициент запаса, n – число ламп в светильнике.
6. Оптимизация размещения светильников на плане [40, 56].

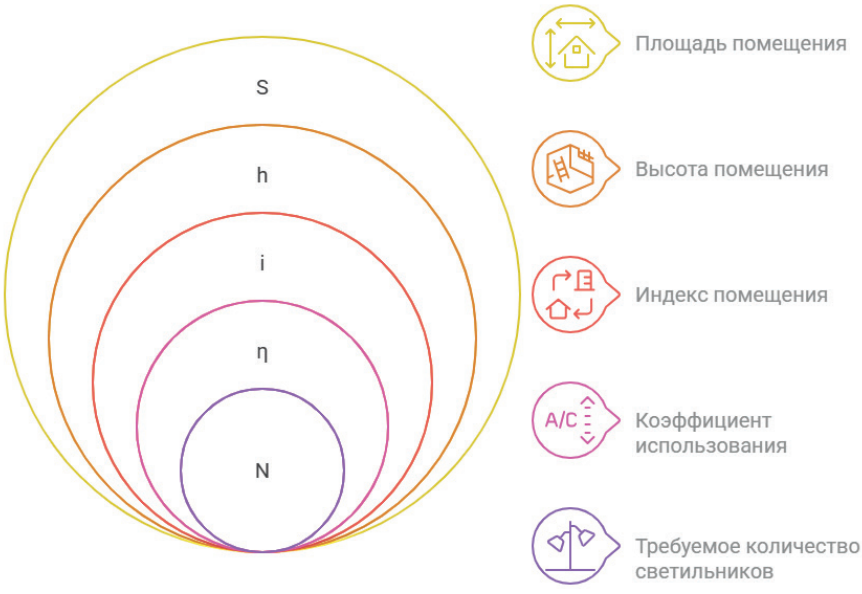


Рис. 3.3. Последовательность расчета освещения методом коэффициента использования

Метод коэффициента использования удобен на стадии **проектной документации (П)** для быстрой оценки необходимого количества светильников при равномерном общем освещении. Его преимущества:

- полное соответствие требованиям СП 52.13330.2016;
- высокая степень алгоритмизации, позволяющая интегрировать метод в свойства объектов информационной модели (**Помещение**);
- универсальность для большинства типовых помещений гражданского и промышленного назначения;
- возможность быстрого тиражирования параметров освещения на аналогичные помещения через **Копирование свойств** или **Прототипы помещений** [40, 56].

§ 3.1.2. Расчет освещения точечным методом

Точечный метод является основным, так как обеспечивает наибольшую точность расчета освещенности в любой точке поверхности с учетом реального светораспределения светильников и геометрии помещения. Он применяется для проверки сложных схем общего освещения, расчета локализованного и наружного освещения, а также для оценки неравномерности освещенности. Точечный метод позволяет определить фактическую освещенность в любой заданной точке поверхности с учетом реального расположения светильников, их светораспределения и влияния затеняющих элементов. В отличие от метода коэффициента использования, который дает лишь среднюю оценку, точечный метод незаменим при проверке сложных схем общего освещения, расчете локализованного освещения (например, над рабочими местами), проектировании наружного освещения (территории, дороги, фасады), учете затенений от оборудования, колонн, перекрытий [40, 56].

Освещенность в любой точке расчетной поверхности определяется как геометрическая сумма освещенностей, создаваемых каждым светильником в отдельности. Расчет ведется на основе законов фотометрии с учетом кривой силы света (КСС) выбранного светильника, расстояния до расчетной точки и угла падения лучей. Важно отметить, что в большинстве практических задач (для помещений и открытых территорий) рассчитывается горизонтальная освещенность (на уровне пола, рабочей поверхности или грунта). Это соответствует требованиям нормативных документов (СП 52.13330, СП 256.1325800), где нормируется **средняя освещенность** $E_{ср}$ (лк) для различных типов помещений и зон.

Точечный метод является единственно применимым для расчета наружного освещения, поскольку отсутствуют замкнутые отражающие поверхности (потолок, стены), поэтому метод коэффициента использования не работает. Объекты имеют сложную геометрию и рельеф, требуется обеспечить нормы для конкретных зон, а не равномерное освещение всей площади, а также необходимо учитывать реальную кривую силу света (КСС) приборов освещения.

Алгоритм расчета освещения точечным методом следующий (рис. 3.4).

1. Подготовка исходных данных – на плане помещения или территории размещаются светильники (вручную или по предварительному расчету), задаются высота рабочей (расчетной) поверхности (h) и коэффициент запаса ($K_з$).
2. Создание расчетных точек и учет теневых объектов – программа автоматически формирует сетку расчетных точек в пределах заданной зоны.

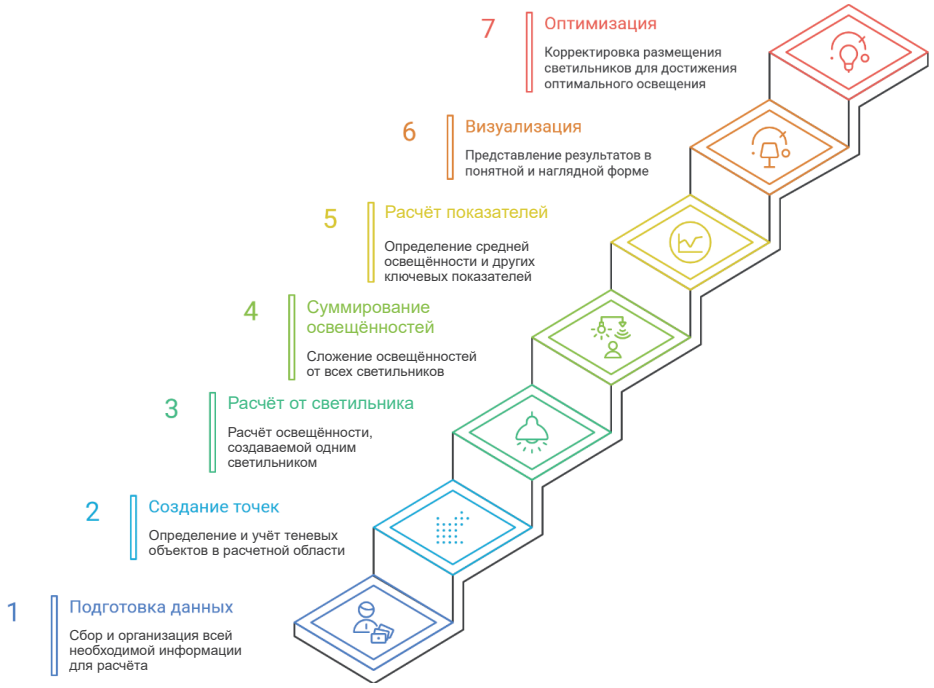


Рис. 3.4. Последовательность расчета освещения точечным методом

3. Расчет освещенности от одного светильника – для каждой расчетной точки определяется освещенность, создаваемая каждым светильником, по формуле:

$$E = (I_\alpha \cdot \cos^3\alpha) / (K_з \cdot H_p^2), \quad (3.3)$$

где I_α – сила света светильника в направлении к расчетной точке, определяется по кривой силы света (КСС) выбранного светильника; α – угол между вертикалью и направлением от светильника к расчетной точке (град.); H_p – высота подвеса светильника над расчетной плоскостью; $K_з$ – коэффициент запаса.

4. Суммирование освещенностей – в каждой расчетной точке суммируются освещенности от всех светильников, попадающих в зону действия.
5. Расчет средней освещенности $E_{ср}$ и других показателей. По всем расчетным точкам в заданной зоне программа вычисляет:
   - среднюю освещенность $E_{ср}$;
   - минимальную освещенность E_{min};
   - максимальную освещенность E_{max};
   - коэффициент неравномерности $K_{нер}$.

6. Визуализация и анализ результатов. Результаты расчета отображаются в виде:
   - изолиний (линий равной освещенности) на плане;
   - цветовой карты (распределение освещенности по зонам);
   - числовых значений в расчетных точках (по запросу).
7. Оптимизация размещения светильников. На основе результатов расчета выполняется окончательная расстановка светильников (перемещение, добавление, удаление). После каждого изменения расчет можно повторить для проверки [40, 56].

Таким образом, точечный метод в nanoCAD BIM Электро обеспечивает высокую точность расчета, возможность учета теневых объектов и получение наглядных результатов (изолинии, цветовые карты), что особенно важно для сложных промышленных объектов, предприятий транспорта и наружного освещения (рис. 3.5).

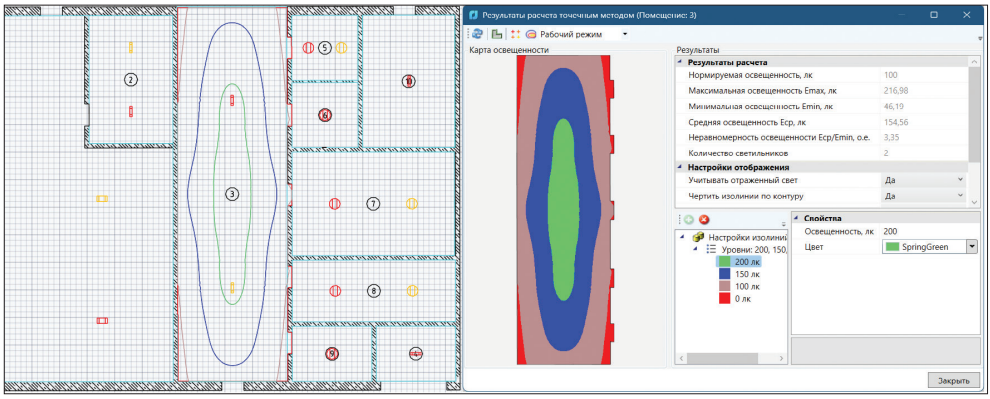


Рис. 3.5. Результаты моделирования расчета освещения точечным методом

§ 3.1.3. Моделирование системы освещения в nanoCAD BIM Электро

Разработка системы освещения начинается с подготовки исходных данных, которые должны быть определены для каждого помещения в отдельности. После создания объектов **Помещение** (см. § 2.2) необходимо заполнить их свойства, определяющие условия будущего светотехнического расчета. Для проведения расчета освещенности следует задать светотехнические свойства и характеристики среды помещения, это делается в окне свойств объекта **Помещение** (рис. 3.6). Хотя все параметры можно ввести вручную, этот процесс трудоемок и чреват ошибками.

Для автоматизации и стандартизации в nanoCAD BIM Электро реализована **База прототипов помещений**. **Прототип помещений** – это шаблон с предустановленными значениями всех необходимых параметров для типового помещения (разряд зрительных работ, нормируемая освещенность, коэффициенты отражения поверхностей и т. д.), составленный в соответствии с нормативными документами.

Для использования прототипов в окне свойств помещения необходимо выбрать **Базы прототипов** → в открывшемся диалоговом окне выбрать нужный

нормативный документ → категорию и тип помещения (рис. 3.7), при выборе прототипа система отображает все заданные в нем характеристики → и подтвердить выбор. Таким образом, пользователь применяет весь набор параметров к помещению одним действием. Этот подход гарантирует соответствие нормам и значительно экономит время проектировщика [40, 49, 55].

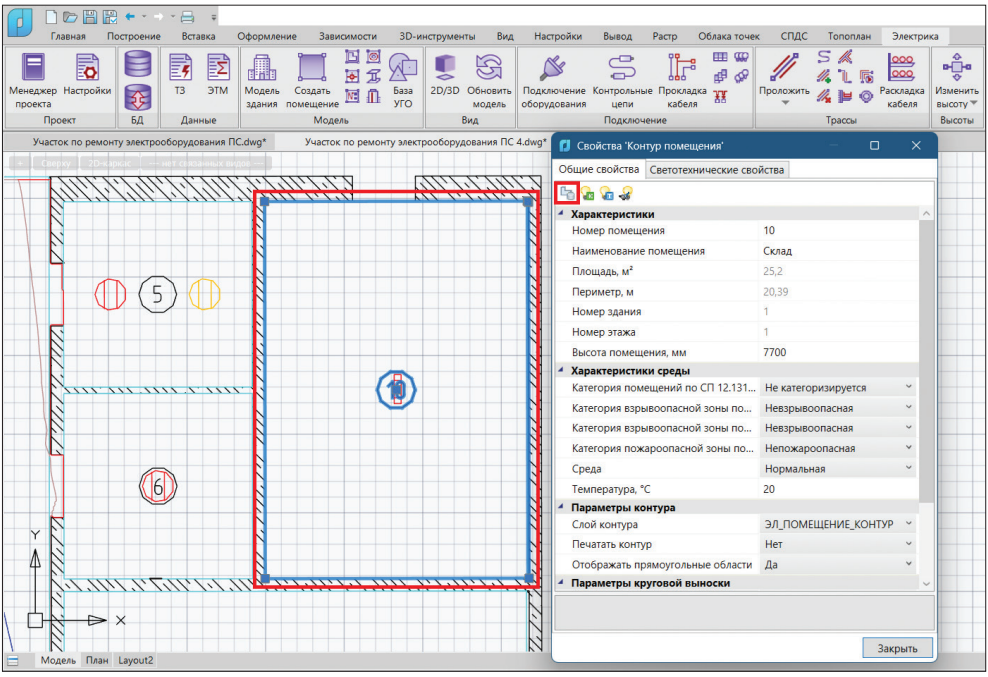


Рис. 3.6. Окно свойств помещения с вкладками **Общие свойства** и **Светотехнические свойства**

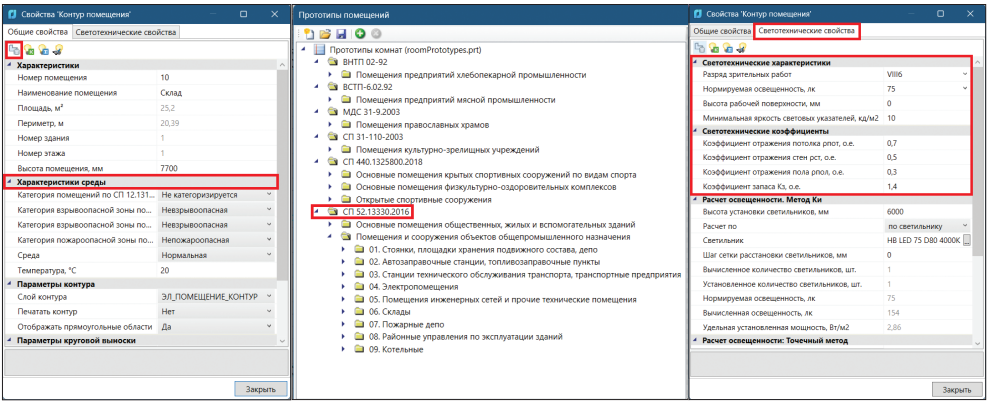


Рис. 3.7. Окно выбора прототипа помещения из БД nanoCAD BIM Электро

После выбора прототипа или задания свойств помещения вручную можно переходить к расчету. В окне свойств помещения активируется инструмент **Расчет**

освещенности методом коэффициента использования → в открывшемся окне программа автоматически подставляет данные из свойств помещения (площадь, высота, коэффициенты отражения, нормируемая освещенность) → пользователь проверяет и при необходимости корректирует высоту установки светильников. Командой выбора **Светильник** открывается **База данных оборудования проекта** (рис. 3.8). Если при создании проекта использовалась база по умолчанию, она может быть пуста, в этом случае необходимо в выпадающем списке выбрать подключенную библиотеку оборудования производителя и перейти в раздел **Светотехническое оборудование** (рис. 3.9).

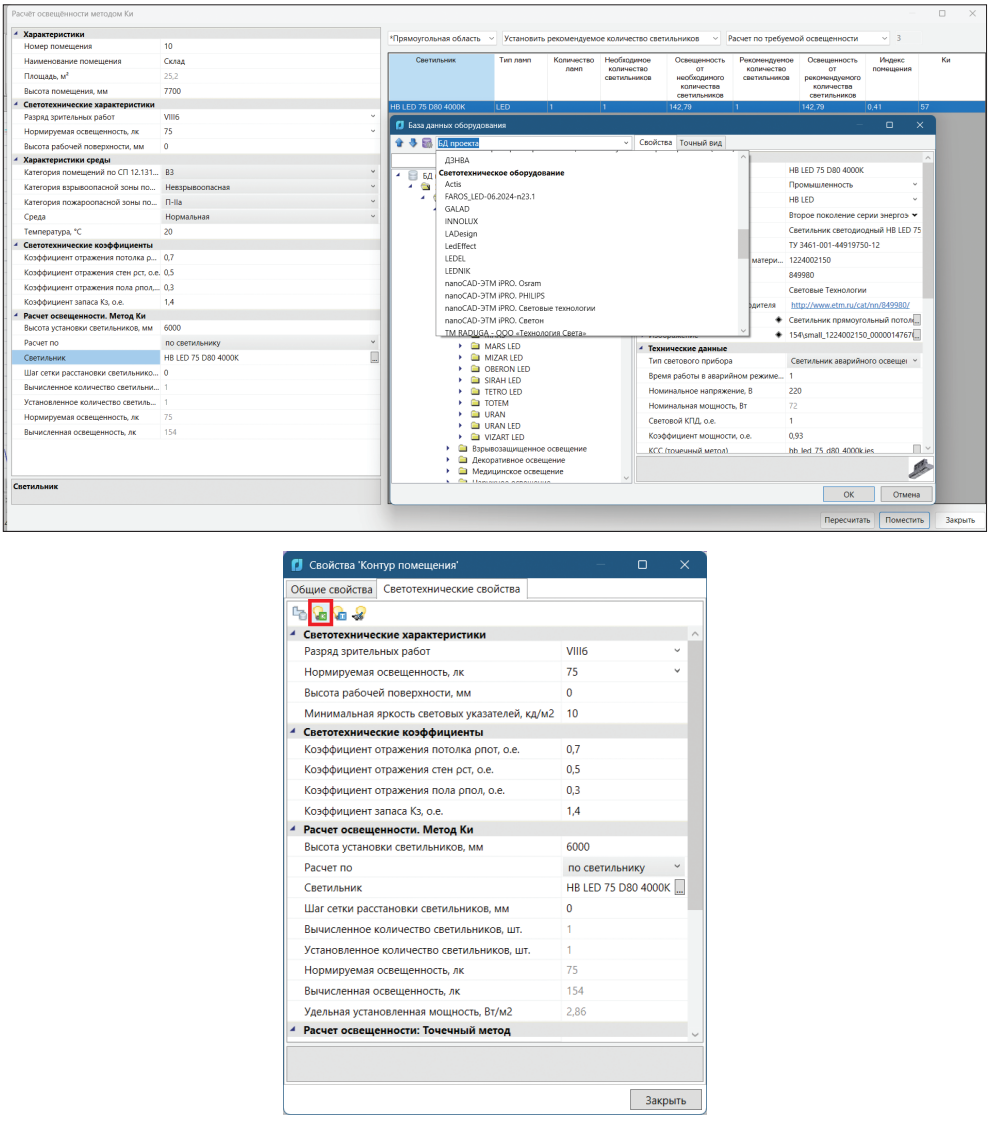


Рис. 3.8. Окно расчета освещения методом коэффициента использования → выбор приборов освещения

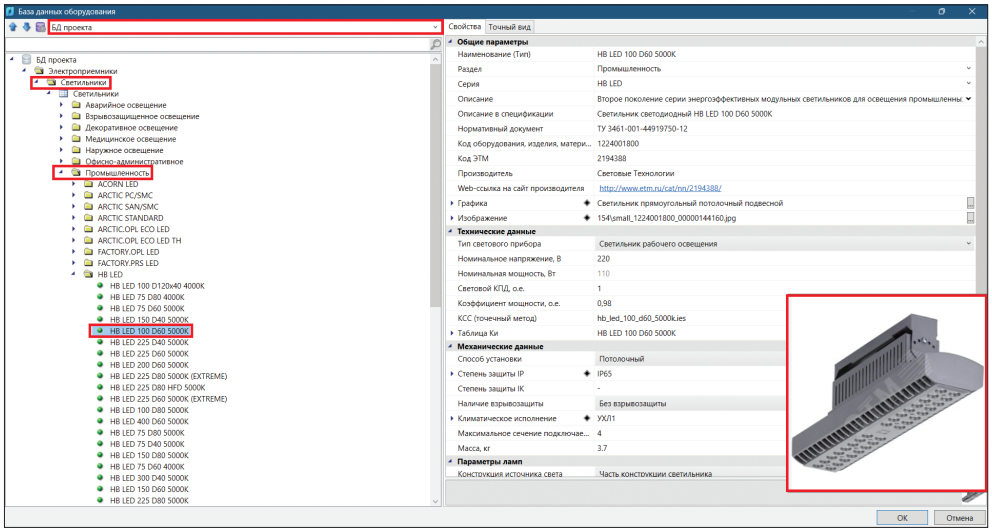


Рис. 3.9. Окно выбора светильников из **Базы данных оборудования**

Программа предлагает два способа выбора светильников:

1) при выборе конкретной модели пользователь указывает определенный тип светильника (например, конкретный светодиодный промышленный светильник с заданной мощностью и световым потоком). Программа рассчитывает необходимое количество таких светильников для достижения нормируемой освещенности;
2) при выборе серии светильников пользователь выбирает не одну модель, а целую серию (например, все светодиодные светильники определенного производителя). В этом случае программа автоматически перебирает все светильники из выбранной серии, для каждого рассчитывает требуемое количество и фактическую освещенность, а затем предлагает оптимальный вариант.

После завершения расчета и размещения светильников на плане в любой момент можно вернуться в окно расчета, изменить параметры (например, выбрать другую модель из серии, скорректировать высоту подвеса) и пересчитать освещение заново, тогда программа обновит количество и расположение светильников в соответствии с новыми условиями [40, 56].

Для помещений, где светильники могут размещаться только с определенным шагом (например, по ячейкам подвесного потолка 600×600 мм), задается параметр **Шаг сетки расстановки**, программа будет учитывать это ограничение при автоматическом размещении (рис. 3.10).

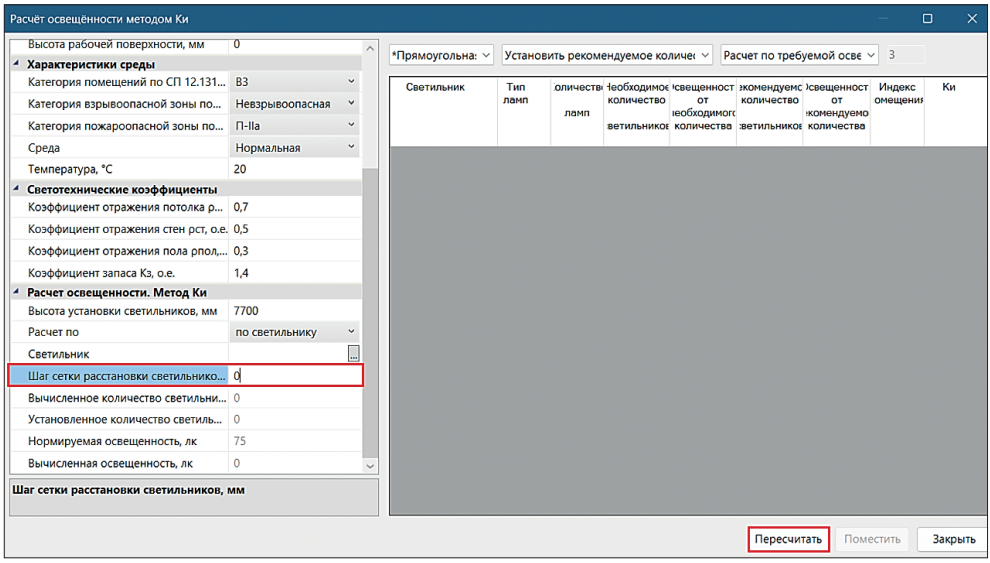


Рис. 3.10. Окно выбора **Шага сетки расстановки** светильников в помещении

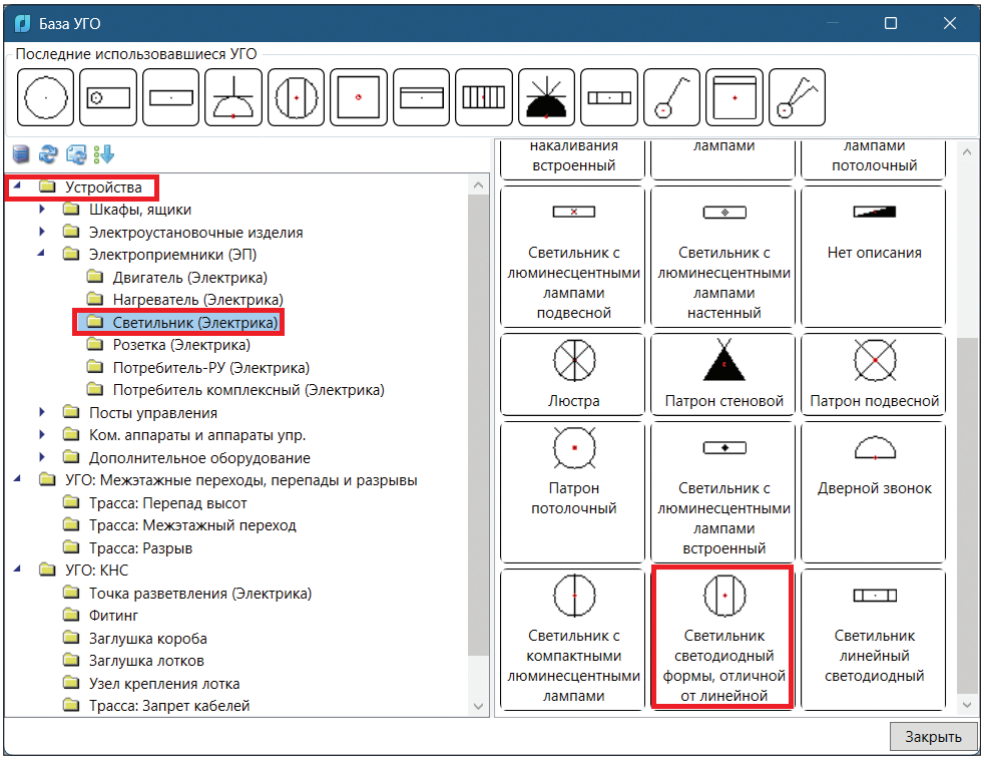
После нажатия кнопки **Пересчитать** программа выполняет расчет и выводит результаты (рис. 3.11):

- необходимое количество светильников, количество, полученное прямым расчетом для достижения нормируемой освещенности при строго равномерном размещении;
- фактическая освещенность при расчетном количестве выбранных светильников;
- рекомендуемое количество светильников, оптимальное с точки зрения равномерности размещения в геометрии конкретного помещения (например, 8 вместо расчетных 7 в прямоугольной комнате);
- промежуточные коэффициенты – индекс помещения и коэффициент использования, позволяющие проверить расчет.

Пользователь может принять рекомендуемое количество, оставить расчетное или задать свое. После активации команды **Поместить** программа автоматически расставляет светильники в границах помещения с учетом заданных параметров, создавая на плане их условно-графические обозначения (УГО), как показано на рис. 3.12.

Светильник	Тип ламп	Количество ламп	Необходимое количество светильников	Освещенность от необходимого количества светильников	Рекомендуемое количество светильников	Освещенность от рекомендуемого количества светильников	Индекс помещения	Ки
HB LED 225 D80 HFD 5000K	LED	1	1	410,53	1	410,53	0,32	57

Рис. 3.11. Результаты расчета освещения методом Ки



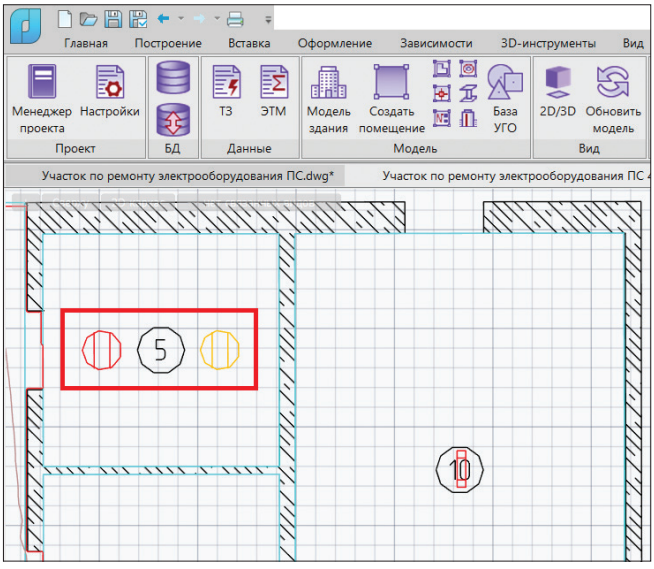


Рис. 3.12. Результаты расчета освещения методом коэффициента использования

Если в проекте несколько однотипных помещений, нет необходимости повторять расчет для каждого, инструмент **Копировать параметры расчета освещенности** позволяет выделить помещение-донор с выполненным расчетом,

затем выбрать целевые помещения и применить к ним все светотехнические настройки, включая автоматический расчет и расстановку светильников.

Таким образом, алгоритм расчета освещения помещений в nanoCAD BIM Электро методом Ки включает выбор прототипа → открытие окна расчета Ки → выбор светильника из БД оборудования → задание параметров расстановки светильников → автоматический расчет → размещение [40, 56].

Алгоритм расчета аварийного освещения (освещение безопасности и эвакуационное) проектируется с учетом дополнительных требований. Для помещения без готового прототипа свойства (высота установки, тип светильника) задаются вручную → выполняется стандартный расчет методом Ки, определяется количество, и светильники размещаются на плане помещения. Чтобы выделить аварийные светильники на плане, рекомендуется создавать отдельный слой, назначать ему отличительный цвет (красный) и помещать на него аварийные светильники (рис. 3.13).

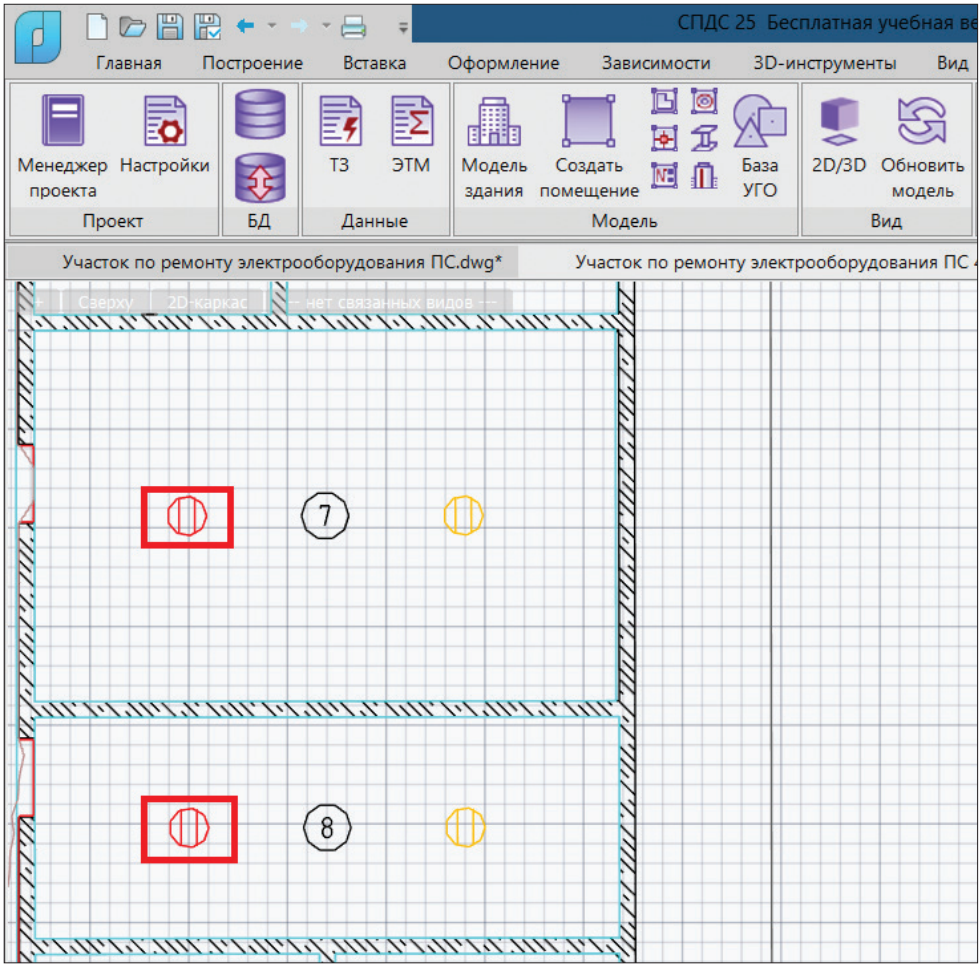


Рис. 3.13. Моделирование аварийного освещения

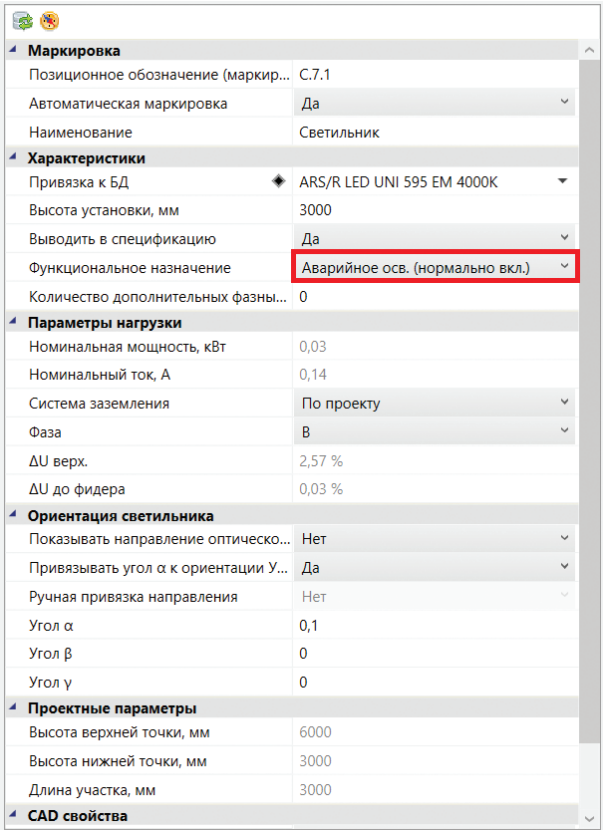


Рис. 3.13. *Окончание*

В свойствах светильника, предназначенного для аварийного освещения, изменяется параметр **Функциональное назначение** на **Аварийное освещение, нормально включенное или выключенное**. Также назначается соответствующая групповая характеристика (**Аварийное освещение**) для корректного учета нагрузки [40, 49].

В процессе проектирования системы освещения после расчета и размещения светильников методом коэффициента использования может возникать необходимость уточненного расчета с учетом зон затененности (например, скорректированного по архитектурным требованиям), в этом случае необходимо воспользоваться командой **Расчет освещенности точечным методом** (рис. 3.14).

Как правило, расчет точечным методом выполняется после предварительной оценки количества светильников методом коэффициента использования, чтобы уточнить фактическое распределение освещенности и выявить возможные затенения. Однако для некоторых помещений (со сложной геометрией, нестандартным расположением оборудования) или для открытых территорий (наружное освещение) точечный метод применяется как самостоятельный расчет, без предварительного использования метода коэффициента использования.

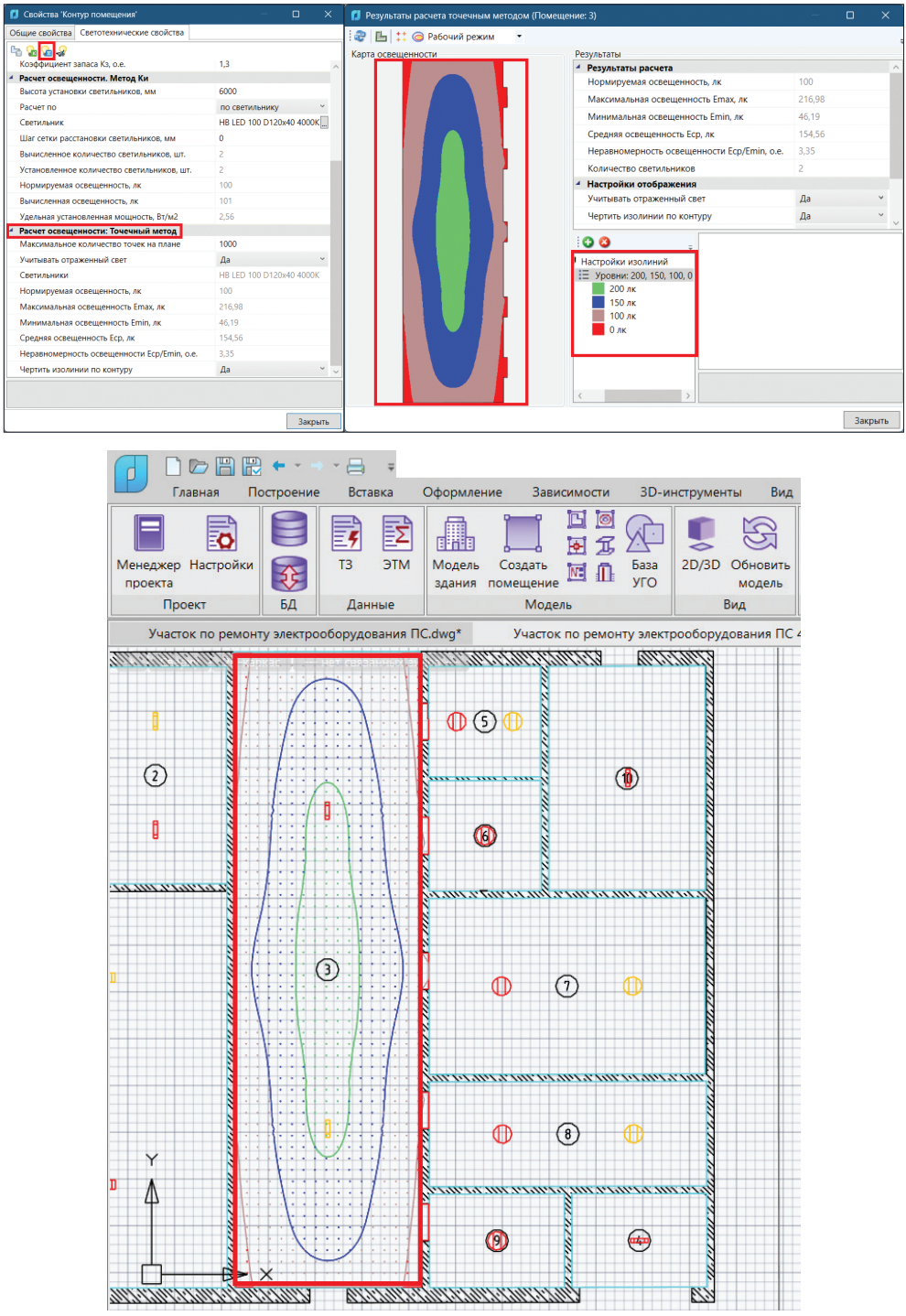


Рис. 3.14. Визуализация результатов точечного расчета, план помещения с изолиниями освещенности

Результаты расчета визуализируются в виде изолиний (линий равной освещенности) на плане (рис. 3.14). Пользователь может:

- добавлять уровни изолиний (например, 100, 200, 500 лк) и назначать им цвета для наглядности;
- наводить курсор на любую точку плана – программа отображает точное значение освещенности в данной точке;
- получить среднюю освещенность Eср по всей расчетной зоне.

При необходимости проектировщик может изменить шаг расчетной сетки, добавить или удалить теневые объекты, скорректировать высоту расчетной плоскости и выполнить повторный расчет – программа мгновенно обновит изолинии и числовые значения. Таким образом, точечный метод в nanoCAD BIM Электро обеспечивает высокую точность и наглядность, что особенно важно для промышленных объектов и наружного освещения.

Таким образом, алгоритм расчета освещения в nanoCAD BIM Электро точечным методом включает: подготовку исходных данных → размещение светильников на плане → задание теневых объектов (при необходимости) → автоматический расчет освещенности → визуализацию изолиний и численных значений → анализ Eср и выявление затененных зон → корректировку размещения светильников и повторный расчет (при необходимости).

Контрольные вопросы к § 3.1

1. Какие основные виды искусственного освещения выделяют по функциональному назначению и в чем заключается ключевая особенность аварийного освещения?
2. Назовите четыре ключевых фактора, на которые напрямую влияет качество проектирования освещения в промышленных зданиях предприятий транспорта.
3. Какие свойства объекта **Помещение** напрямую влияют на светотехнический расчет и выбор оборудования? Приведите не менее четырех параметров.
4. Что такое **Прототип помещения** в nanoCAD BIM Электро и какова основная практическая польза от его использования? Где следует хранить пользовательские прототипы?
5. Опишите последовательность основных шагов при расчете освещения методом коэффициента использования (КИ) в программе, начиная с подготовки помещения.
6. Почему метод коэффициента использования рекомендуется применять на стадии проектной документации (П), а не в качестве основного метода? Укажите не менее трех причин.
7. В чем заключается принципиальное отличие точечного метода расчета освещения от метода коэффициента использования? Какую освещенность (горизонтальную, вертикальную) рассчитывает точечный метод в nanoCAD BIM Электро?

8. Перечислите основные причины, по которым для расчета наружного освещения предпочтительнее использовать точечный метод, а не метод коэффициента использования. Как учитываются теневые объекты?
9. Как в nanoCAD BIM Электро можно быстро применить результаты расчета освещения одного помещения к другим аналогичным помещениям? Опишите используемый инструмент.
10. С какой целью и в какой последовательности рекомендуется применять метод коэффициента использования и точечный метод в рамках общего рабочего процесса проектирования освещения? Укажите, на каких стадиях (П или Р) какой метод является предпочтительным и почему.

§ 3.2. Моделирование силового оборудования и технологических электроприемников

Проектирование любой системы электроснабжения, особенно предприятий транспорта, начинается с анализа потребителей электроэнергии – электроприемников. Их правильная классификация и учет характеристик являются фундаментом для правильного расчета нагрузок, выбора защитной аппаратуры и кабельных линий. Проектирование систем электроснабжения транспортных, промышленных объектов и зданий с комплексным инженерным оснащением предполагает учет не только осветительной нагрузки, но и многочисленных силовых электроприемников. К ним относятся как оборудование, непосредственно входящее в сферу ответственности проектировщика (например, розеточные сети), так и аппараты, поставляемые по заданиям смежных специальностей, – технологические станки, сварочные посты, вентиляционные установки, холодильные агрегаты и т. д.

Электроприемник (ЭП) – это устройство, аппарат, механизм или установка, предназначенные для преобразования электрической энергии в другой вид энергии (механическую, тепловую, световую и т. д.) для выполнения полезной работы [49, 54].

Электроприемники классифицируют по нескольким ключевым признакам, что важно для их группировки и последующего расчета (табл. 3.2).

Важным критерием для проектирования, монтажа и эксплуатации является режим работы электроприемника, который напрямую влияет на расчетную мощность. Продолжительный режим предполагает работу под нагрузкой более 30 минут, кратковременный – менее 30 минут, а повторно-кратковременный характеризуется чередованием периодов работы (ПВ – продолжительность включения) и пауз [49, 52].

Однофазные ЭП подключаются между фазным и нулевым проводниками в сетях 220 В, к ним относится большинство бытовых и офисных приборов (освещение, компьютеры, маломощные нагреватели). Их основная особенность при проектировании – необходимость равномерного распределения по фазам для минимизации неравномерности нагрузки.

Таблица 3.2. Классификация электроприемников

Признак классификации	Группы электроприемников	Характерные примеры
Род тока и число фаз	Однофазные (~ 220 В)	лампы, розетки
	Трехфазные (~380/660 В)	асинхронные двигатели, печи
	Постоянного тока	гальванические установки
Номинальная мощность	Малой мощности	освещение, оргтехника
	Средней мощности	насосы, вентиляторы
	Большой мощности	мощные компрессоры
Назначение и характер нагрузки	Силовые (преобразуют энергию в механическую)	электродвигатели станков
	Осветительные и нагревательные (активная нагрузка)	лампы, ТЭНы, электрокотлы
	Электротехнологические (дуговые печи, выпрямители)	установки для плавки
Режим работы	Продолжительный (длительный)	насосы непрерывного действия, освещение
	Кратковременный	кран-балки, задвижки
	Повторно-кратковременный	подъемные механизмы, сварочные аппараты
Способ установки и мобильность	**Стационарные**	станки, вентиляторы
	Переносные (передвижные)	ручной электроинструмент, временное освещение
Степень надежности электроснабжения	1-й категории	ЭП, перерыв в питании которых может привести к опасности для жизни людей или национальной безопасности
	2-й категории	ЭП, перерыв в питании которых может привести к массовому браку, простою технологического оборудования
	3-й категории	ЭП, допускающие перерыв в питании на время, необходимое для включения резерва или ремонта

Трехфазные ЭП подключаются к трем фазным проводникам сетей 380 В (реже 660 В). Это в основном силовое оборудование – асинхронные и синхронные электродвигатели, мощные нагревательные установки, электрические печи.

При проектировании систем электроснабжения промышленных предприятий и предприятий транспорта часто встречаются трехфазные ЭП, которые включают в себя не только основную силовую часть, но и вспомогательное однофазное оборудование. Классический пример – металлорежущие станки, деревообрабатывающие станки или насосные агрегаты, оснащенные системами местного рабочего освещения, панелями управления, вентиляторами охлаж-

дения или сигнализации [49, 54]. С точки зрения электроснабжения такой станок представляет собой единый технологический комплекс, но с точки зрения электрических сетей – это совмещенная нагрузка:

1) трехфазная симметричная нагрузка – главный электродвигатель шпинделя или привода подач;
2) однофазные нагрузки – осветительные трансформаторы или светодиодные блоки питания на 220 В для местного освещения, цепи управления (ПЛК, датчики), смазочные насосы и т. п.

Физически все эти компоненты получают питание от одного общего вводного устройства станка (автоматического выключателя, силового разъема), но внутренняя разводка разделена на силовые и осветительные цепи.

Мощность однофазного ЭП рассчитывается по формуле:

$$P_{ном} = U_{ном} \cdot I_{ном}. \quad (3.4)$$

Мощность трехфазного ЭП рассчитывается по формуле:

$$P_{ном} = \sqrt{3} \cdot U_{ном} \cdot I_{ном} \cdot \cos \varphi, \quad (3.5)$$

где $P_{ном}$ – номинальная активная мощность, Вт;

$U_{ном}$ – номинальное линейное напряжение, В;

$I_{ном}$ – номинальный линейный ток, А;

cos φ – коэффициент мощности, указанный в паспорте оборудования [49].

Для электродвигателей ключевой особенностью является **пусковой ток** ($\mathbf{I_{пуск}}$), который в 3–8 раз превышает номинальный рабочий ток ($I_{ном}$). Эта зависимость выражается через **пусковой коэффициент ($K_п$)**:

$$K_п = I_{пуск} / I_{ном}. \quad (3.6)$$

Значение $K_п$ зависит от типа и мощности двигателя (табл. 3.3). Его учет обязателен при выборе аппаратов защиты (автоматических выключателей, предохранителей) и проверке кабелей на динамическую устойчивость к кратковременным перегрузкам.

Таблица 3.3. Типовые значения пускового коэффициента для асинхронных электродвигателей с короткозамкнутым ротором

Мощность двигателя	Пусковой коэффициент ($K_п$)
Малой мощности (до 5 кВт)	5,0–7,0
Средней мощности (5–50 кВт)	5,0–6,5
Большой мощности (свыше 50 кВт)	4,0–5,5

Таким образом, точный расчет нагрузок любого промышленного или транспортного предприятия требует не только знания паспортных данных ЭП, но и понимания их классификации, режимов работы и динамических характеристик. Это позволяет создать энергоэффективную, надежную и безопасную систему электроснабжения предприятия в целом.

§ 3.2.1. Автоматизированный расчет нагрузок и моделирование технологического оборудования в nanoCAD BIM Электро

Для систематизации и выполнения предварительного автоматизированного расчета нагрузок электроприемников силового технологического оборудования промышленных предприятий и предприятий транспорта в nanoCAD BIM Электро используется инструмент **Технологическое задание** (рис. 3.15). Данный расчет выполняется без распределения нагрузок по фазам (однофазная нагрузка приводится к условной трехфазной) и носит оценочный характер.

Полноценный расчет электрических нагрузок с учетом фактического распределения электроприемников по фазам и фидерам выполняется после подключения всех электроприемников и распределения их по фидерам в электротехнической модели (ЭТМ). Для получения развернутого отчета необходимо в окне ЭТМ правой кнопкой манипулятора выбрать распределительное устройство (РУ) и запустить команду **Расчет** [40].

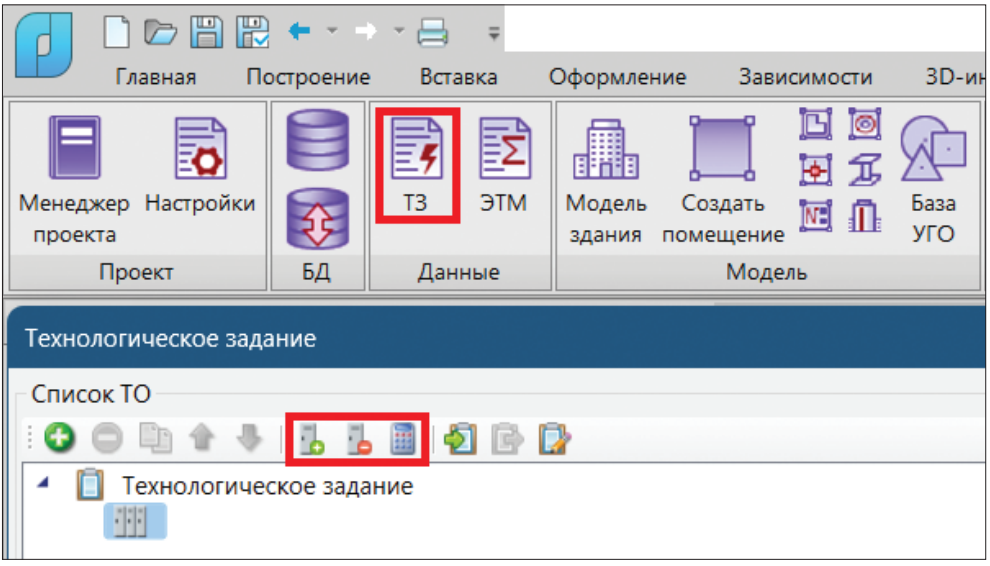


Рис. 3.15. Окно панели инструментов nanoCAD BIM Электро **Электрика** → **Технологическое задание** → **Импорт/Экспорт списка электроприемников**

Исходные данные о технологическом оборудовании могут быть получены разными способами. Идеальный случай – импорт структурированного списка из файла, подготовленного технологами или смежными проектировщиками. Для импорта/экспорта списка электроприемников на панели инструментов окна **Технологическое задание** предусмотрены соответствующие инструменты (рис. 3.15). Однако на практике чаще всего инженер-проектировщик формирует этот перечень самостоятельно на основе полученного технического задания.

В предложенном программой списке панели инструментов окна **Технологическое задание** необходимо выбрать действие **Добавить электроприемник** → затем для каждого ЭП заполнить карточку свойств, содержащую обязательные и рекомендательные параметры (рис. 3.16).

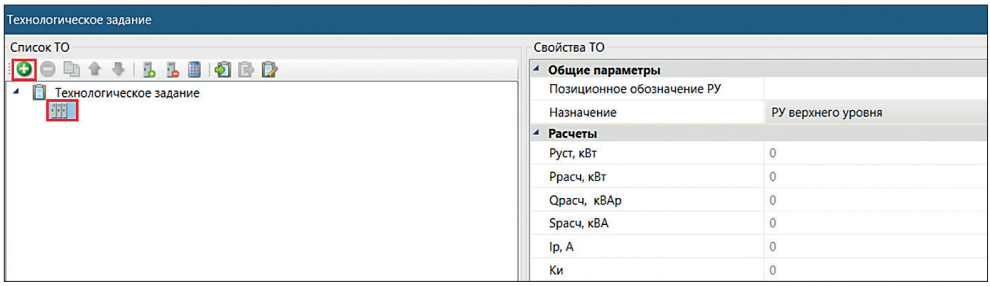


Рис. 3.16. Окно **Технологическое задание → Добавить электроприемник**

Ключевыми параметрами электроприемника являются (рис. 3.17):

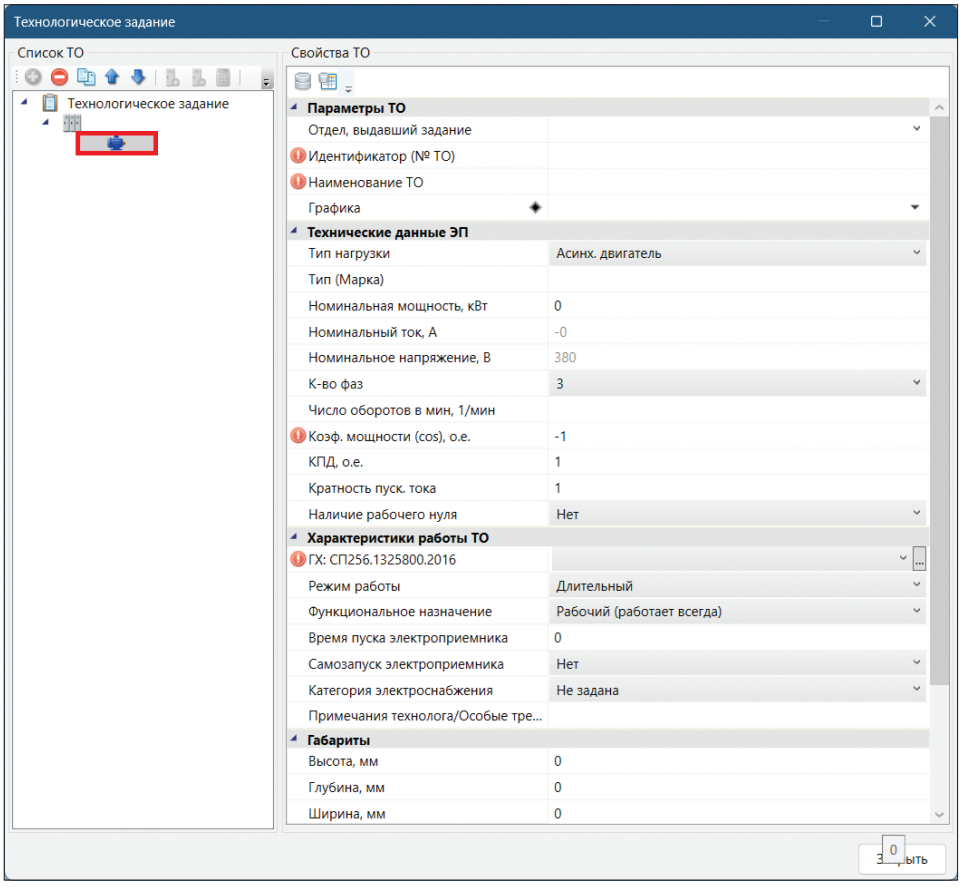
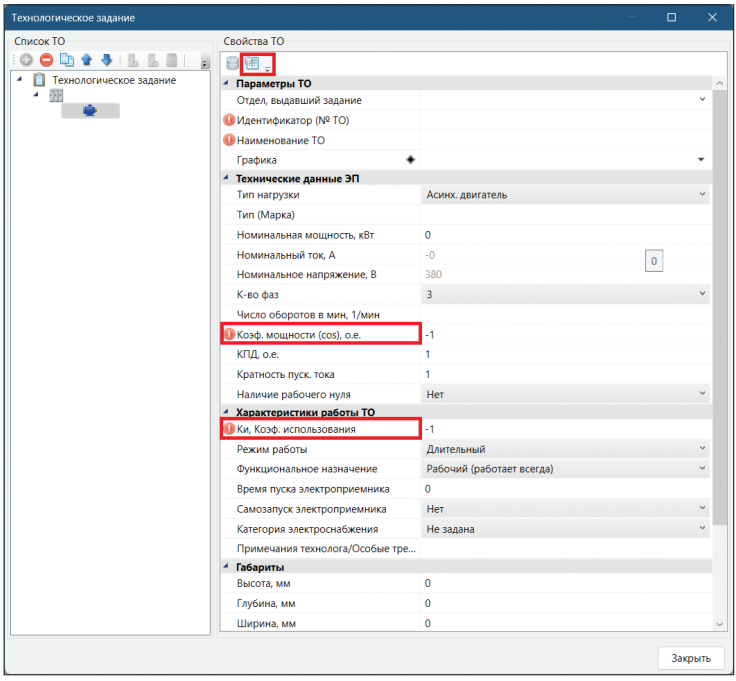


Рис. 3.17. Окно **Технологическое задание → Свойства ТО**

1) **Идентификатор** и **Наименование**. Уникальный код (например, порядковый номер электроприемника в списке оборудования) и понятное название (например, «Токарный обрабатывающий центр DMC DL8TH»);
2) **Тип нагрузки**. Для корректного расчета, особенно пусковых токов, принципиально важно разделение на основные категории:
   - асинхронный двигатель;
   - нагреватель;
   - комплексный электроприемник;
   - щит питания.

Для большинства типов нагрузок (нагреватели, комплексные электроприемники, щиты питания) в карточке свойств указывается электрическая активная мощность (кВт), потребляемая от сети. Особенность для асинхронных двигателей: в соответствии с методикой расчета электрических нагрузок РТМ 36.18.32.4-92 в расчете участвует механическая мощность на валу (кВт), которая всегда меньше электрической из-за потерь в самом двигателе. Однако в карточке свойств электроприемника пользователь указывает электрическую мощность (согласно паспортным данным). Программа автоматически пересчитывает ее в механическую [40, 52].

3) **Электрические параметры:**
   - Номинальная мощность (кВт);
   - Количество фаз (1 или 3);
   - Коэффициент мощности ($cos\ \varphi$);
   - Кратность пускового тока ($K_п$);
   - Наличие рабочего нуля (требуется для однофазной нагрузки внутри трехфазного аппарата или систем управления).
4) **Характеристики работы ТО** связывают конкретный ЭП с методикой расчета. Значения $K_и$ и $cos\ \varphi$ можно задавать самостоятельно, но для точности расчетов рекомендуется выбирать их из **Базы Ки** по типу технологического оборудования (рис. 3.18). В окне **База Ки** можно выбрать значение Ки и $cos\ \varphi$, в этом случае программа автоматически пересчитает все электрические параметры ЭП по заданным значениям.



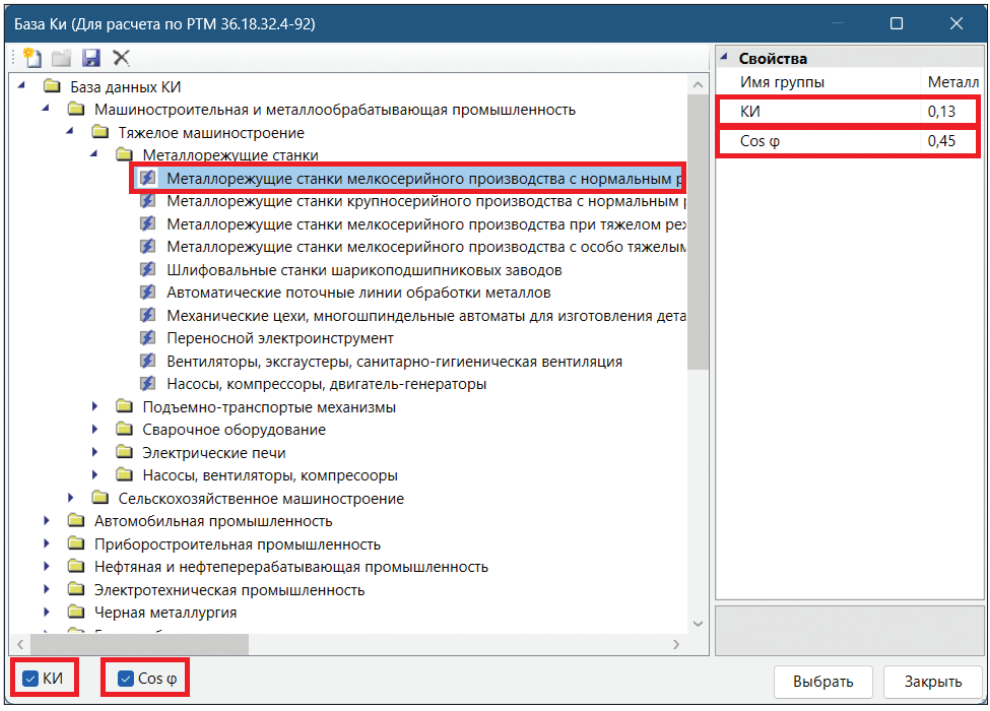


Рис. 3.18. Окно панели инструментов **Технологическое задание** в nanoCAD BIM Электро → **Свойства ТО** → **База Ки**

Данный механизм особенно важен при расчете нагрузок по методике РТМ 36.18.32.4 для промышленных предприятий и предприятий транспорта, где коэффициенты использования (Ки) и коэффициенты мощности (*cos φ*) для различных типов оборудования (металлорежущие станки, краны, вентиляторы, насосы, сварочные установки и др.) нормированы отраслевыми справочниками. Использование **Базы Ки** позволяет избежать ошибок ручного ввода и гарантирует соответствие расчета требованиям РТМ для промышленных объектов.

5) **Режим работы** определяет учет мощности ЭП в расчете суммарной нагрузки.
   - **Длительный (Продолжительный)**: ЭП работает постоянно или в течение длительных периодов (например, вентиляция, насосы). Учитывается в расчете полностью;
   - **Повторно-кратковременный**: ЭП работает циклами «включен-выключен» (например, некоторые станки). По современным методикам (СП 256.1325800) часто приравнивается к длительному для расчета;
   - **Кратковременный**: ЭП включается на короткое время (минуты) за длительный период. В nanoCAD BIM Электро не учитывается в расчете максимума.
6) **Функциональное назначение** – это параметр, важный для построения схемы автоматического включения резерва (АВР) и определения приоритета отключения. Возможны следующие варианты:
   - **Рабочий (отключается при технологической аварии)** – такие электроприемники могут быть отключены в аварийной ситуации для сохранения питания более ответственных потребителей;
   - **Рабочий (работает всегда)** – электроприемники, которые не должны отключаться в нормальном режиме;
   - **Резервный** – оборудование, которое включается автоматически при отказе основного (например, резервные насосы, вентиляторы). Для таких ЭП настройки АВР определяют приоритет и задержку включения;
   - **Аварийный** – электроприемники, которые включаются в режиме пожара или иной аварийной ситуации (например, системы дымоудаления, подпор воздуха, аварийное освещение, пожарные насосы). Такие ЭП, как правило, имеют значительную мощность. При расчете электрических нагрузок следует учитывать особый режим, в аварийной ситуации (пожар) расчетная нагрузка может быть выше, чем в нормальном режиме, поскольку одновременно могут включаться все аварийные системы. Это также необходимо учитывать при выборе мощности трансформаторов и резервных источников питания (дизель-генераторов).
7) **Категория надежности электроснабжения** определяет требования к источникам питания (I, II или III категория по ПУЭ) [40, 52].

Пример заполнения окна **Свойства ТО** для ЭП – на рис. 3.19.

После заполнения основных электрических параметров электроприемника в **Технологическом задании** или при его непосредственном размещении на плане важной задачей становится корректное графическое отображение объекта. Визуальная точность необходима для оценки занимаемой площади, проверки компоновки оборудования, выявления коллизий и создания рабочих чертежей, понятных монтажникам.

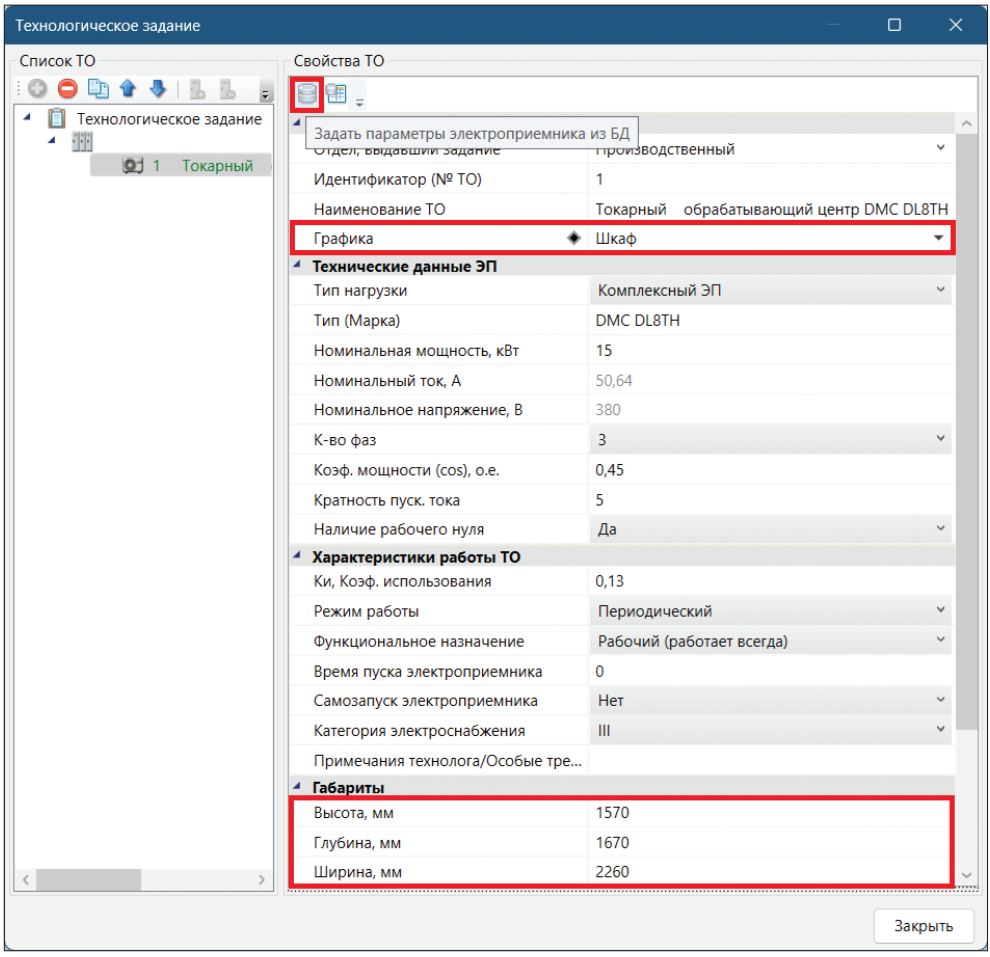


Рис. 3.19. Пример заполнения диалогового окна **Свойства ТО электроприемников**

Ключевые настройки внешнего вида выполняются в окне свойств ЭП на вкладке или в разделе, отвечающем за графику (рис. 3.20). Здесь пользователю доступны два основных подхода:

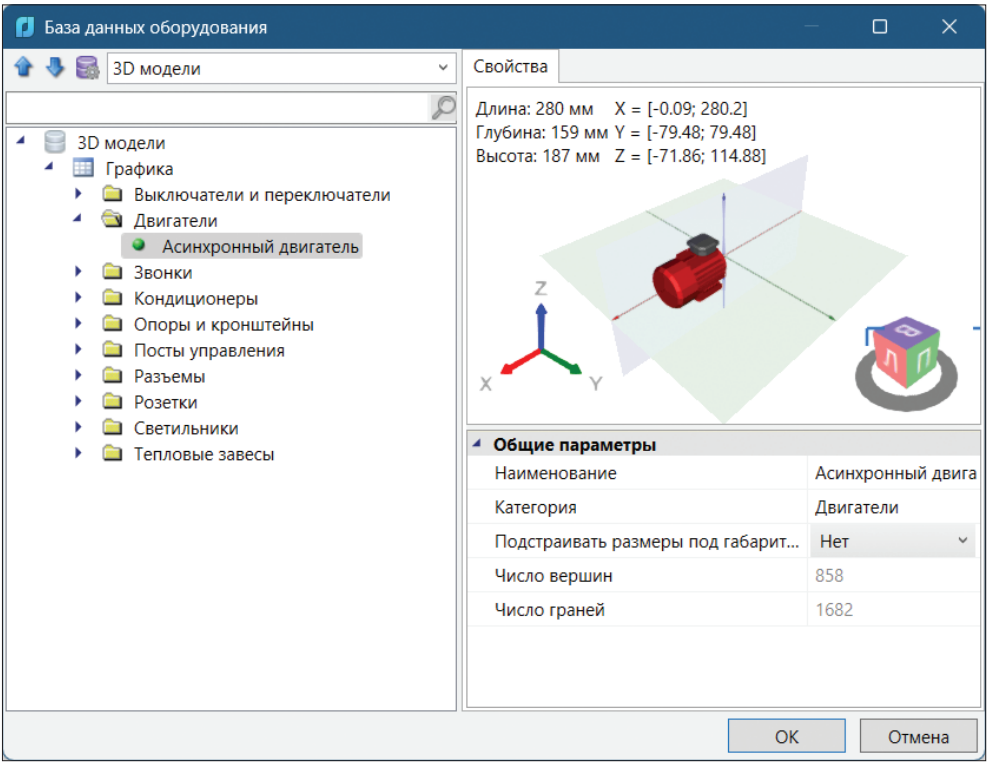


Рис. 3.20. Настройки внешнего вида ЭП, использование готовых изображений из библиотеки (БД) проекта

1) **использование готовых изображений из библиотеки (БД) проекта**.

Программа nanoCAD BIM Электро содержит обширную встроенную библиотеку типовых трехмерных изображений для распространенного оборудования (электроустановочных изделий, светильников, стандартных двигателей, кондиционеров, вентиляции и т. п.). Выбор такого изображения – самый быстрый способ корректно отобразить устройство на плане. Этот метод идеален для типовых изделий, где точные габариты либо стандартны, либо не являются критичными для планировки (рис. 3.20);

2) **использование стандартных геометрических фигур.**

В ситуациях, когда электроприемник имеет уникальную или нетипичную форму, либо когда его точные габаритные размеры (высота, ширина, глубина) критически важны для расстановки мебели, станков, организации проходов или обслуживания, следует использовать геометрическую фигуру, например куб (рис. 3.21). В демонстрационной БД программы nanoCAD BIM Электро присутствует универсальный объект **Шкаф**; выбрав такой объект, пользователь получает изображение в виде геометрической фигуры и вручную задает ее фактические размеры в соответствующих полях свойств (**Высота**, **Глубина**, **Ширина**), соответствующие реальным размерам оборудования (рис. 3.19). Этот подход гарантирует, что на плане и в трехмерной

модели оборудование будет занимать площадь, точно соответствующую его реальным габаритам, что является основой для корректной координации со смежными разделами проекта [40].

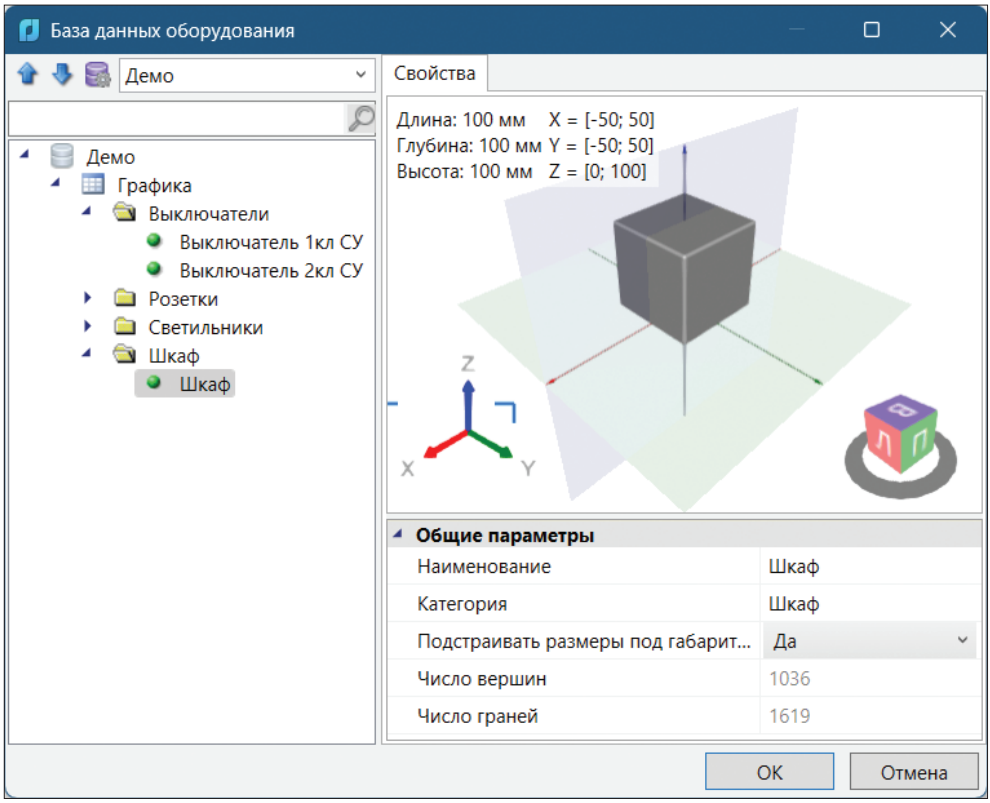


Рис. 3.21. Настройки внешнего вида ЭП, использование стандартных геометрических фигур из библиотеки (БД) проекта

Для этого в окне **Свойства ТО** необходимо перейти в раздел **Графика** → откроется окно **БД проекта** → выбрать готовое 3D-изображение ЭП → если в выпадающем списке **БД проекта** доступных изображений нет подходящего, то выбрать **Демо** → выбрать **Шкаф** → в полях **Габариты** ввести фактические размеры оборудования в миллиметрах, основываясь на данных каталога производителя или технического задания. После применения изменений оборудование на плане будет отображаться в виде прямоугольника (или иной выбранной формы) с заданными размерами в 2D и 3D, что позволит точно оценить его размещение.

Таким образом, гибкий механизм настройки графического вида позволяет адаптировать уровень детализации модели под конкретные задачи проекта.

После формирования перечня всех электроприемников оборудование (ЭП) необходимо разместить на архитектурно-строительной подоснове. Для этого используется панель **База УГО** (условно-графических обозначений) (рис. 3.22).

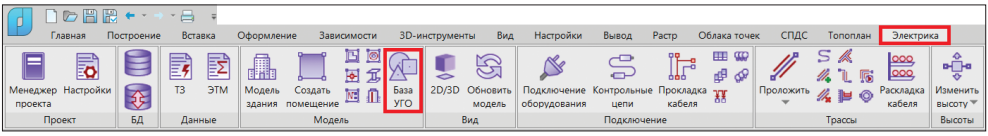


Рис. 3.22. Окно панели инструментов nanoCAD BIM Электро **Электрика** → **База УГО**

После активации инструмента **База УГО** открывается библиотека, где обозначения сгруппированы по категориям (рис. 3.23) → выбирается категория (например, **Электроприемники** → **Нагреватели** или **Комплексные ЭП**) → на плане указывается точка вставки выбранного графического блока → программа автоматически открывает диалоговое окно для привязки графического символа к конкретному ЭП из **Технологического задания** [40, 65].

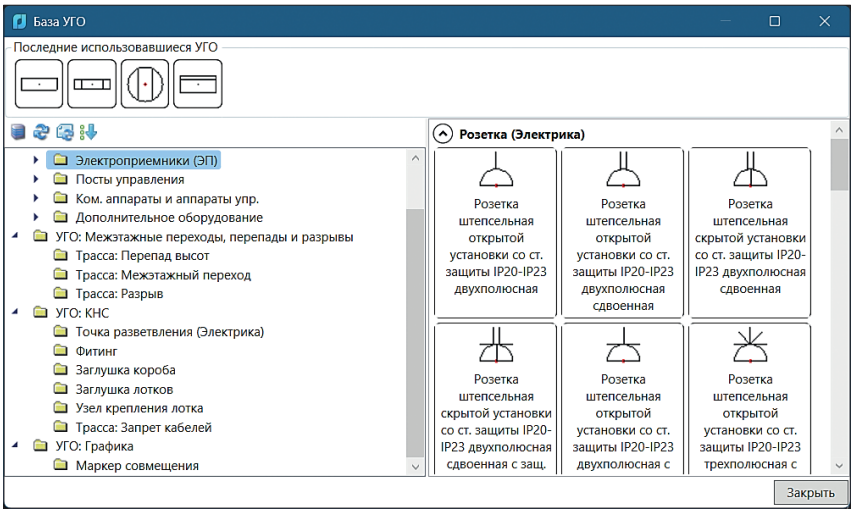
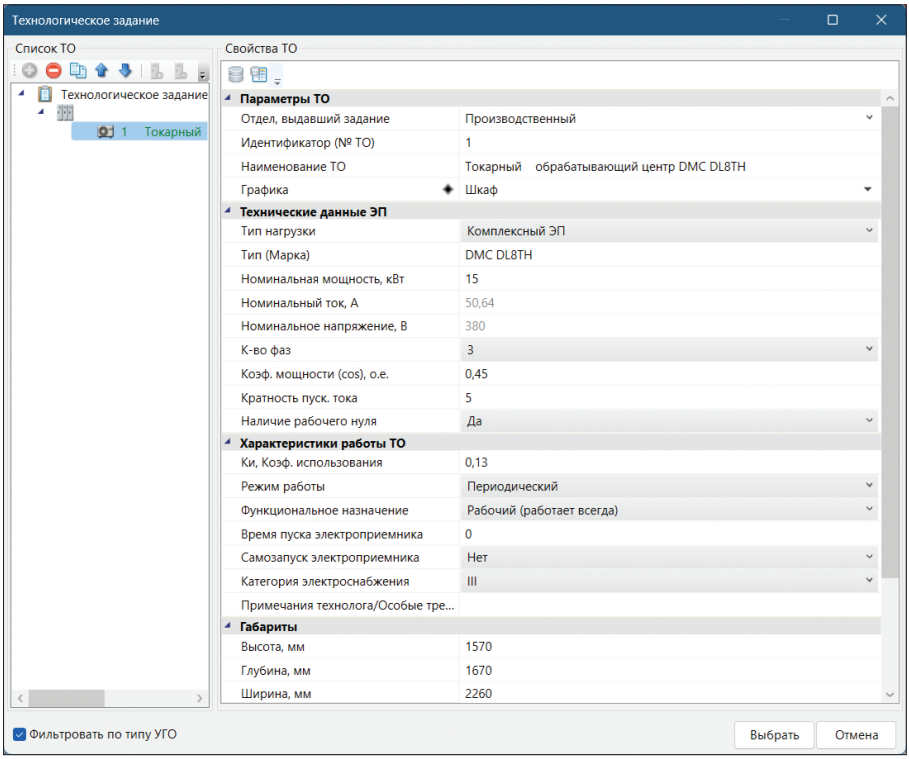


Рис. 3.23. Окно библиотеки условно-графических обозначений (**База УГО**) с фильтром по категориям оборудования

Важная функция – фильтрация списка, система может показывать только те ЭП, тип которых соответствует выбранному УГО (например, для символа нагревателя не будут показаны двигатели), что исключает ошибки → затем откроется окно **Свойства конструктива** (рис. 3.24) для проверки основных параметров оборудования → автоматически сформируется слой с электроприемниками. В свойствах размещаемого объекта задается высота установки (например, 0,000 мм для напольного станка или любое другое значение для настенного аппарата) → при необходимости объект поворачивается стандартными командами редактирования (например, **Повернуть на 90°**) [40, 41].



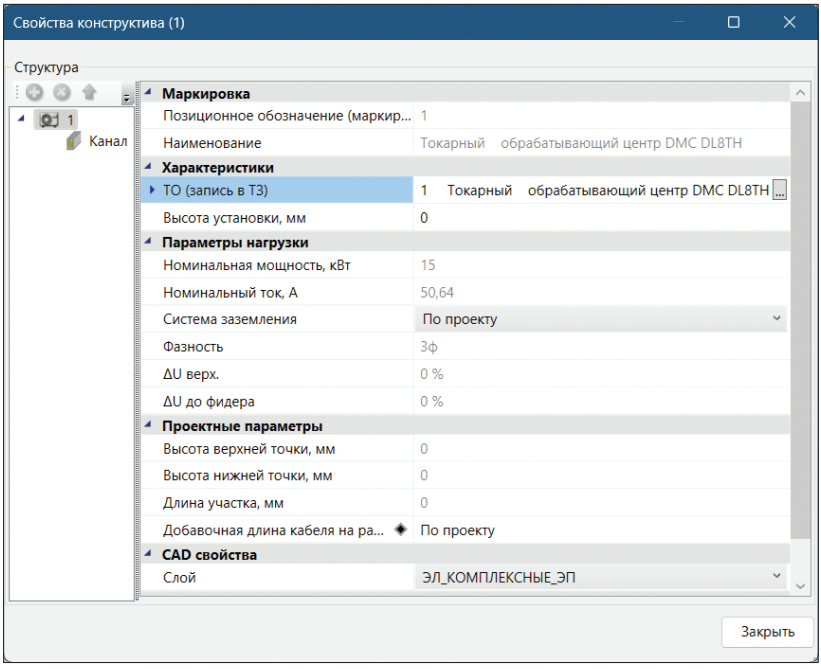


Рис. 3.24. Окно библиотеки условно-графических обозначений **База УГО** по категориям оборудования → **Свойства конструктива**

Таким образом, последовательная работа с **Технологическим заданием** и **Базой УГО** позволяет не только графически отобразить все силовое оборудование на плане, но и создать структурированную базу данных для последующего автоматического расчета электрических нагрузок, токов короткого замыкания и формирования спецификаций. Корректное заполнение электрических и режимных параметров каждого электроприемника является залогом точности этих расчетов.

Как следует из порядка изучения материла, проектирование внутренних электрических сетей здания (цеха) начинается с размещения конечных точек потребления – светильников, электроприемников, а также электроустановочных изделий (выключателей, розеток). Этот этап следует после создания архитектурной подосновы и моделирования помещений.

§ 3.2.2. Выбор и моделирование электроустановочных изделий в nanoCAD BIM Электро

Электроустановочные изделия – это устройства, предназначенные для коммутации, управления и подключения электроприемников к сети. Их корректный подбор и размещение определяют удобство, безопасность и соответствие проекта нормативным требованиям. Основные типы электроустановочных изделий, которые чаще всего применяют при проектировании розеточной и осветительной сети, представлены в табл. 3.4.

Таблица 3.4. Основные типы электроустановочных изделий, используемых в помещениях различного назначения

Тип изделия	Назначение	Ключевые параметры для выбора
Выключатели	Управление освещением	Число клавиш (1, 2, 3), номинальный ток (10 А), напряжение (250 В), степень защиты (IP20 для сухих помещений), способ установки (скрытый/открытый)
Штепсельные розетки	Подключение переносных электроприемников	Номинальный ток (10 А, 16 А), наличие заземляющего контакта, степень защиты (IP20 для сухих, IP44 для влажных помещений), тип (бытовая, компьютерная, силовая)
Установочные коробки (подрозетники)	Монтажная основа для скрытой установки выключателей и розеток	Материал (пластик для гипсокартона, бетона), форма (круглая, прямоугольная), глубина
Суппорты (монтажные пластины)	Основа для крепления модульных изделий в кабельные каналы или на поверхности	Количество постов (мест), ширина
Рамки	Декоративные лицевые панели, объединяющие несколько устройств в единый блок	Количество постов, цвет, материал

Для размещения электроустановочных изделий на планах в nanoCAD BIM Электро используется библиотека условно-графических обозначений (УГО) – инструмент **База УГО**, интерфейс которого представлен на рис. 3.25.

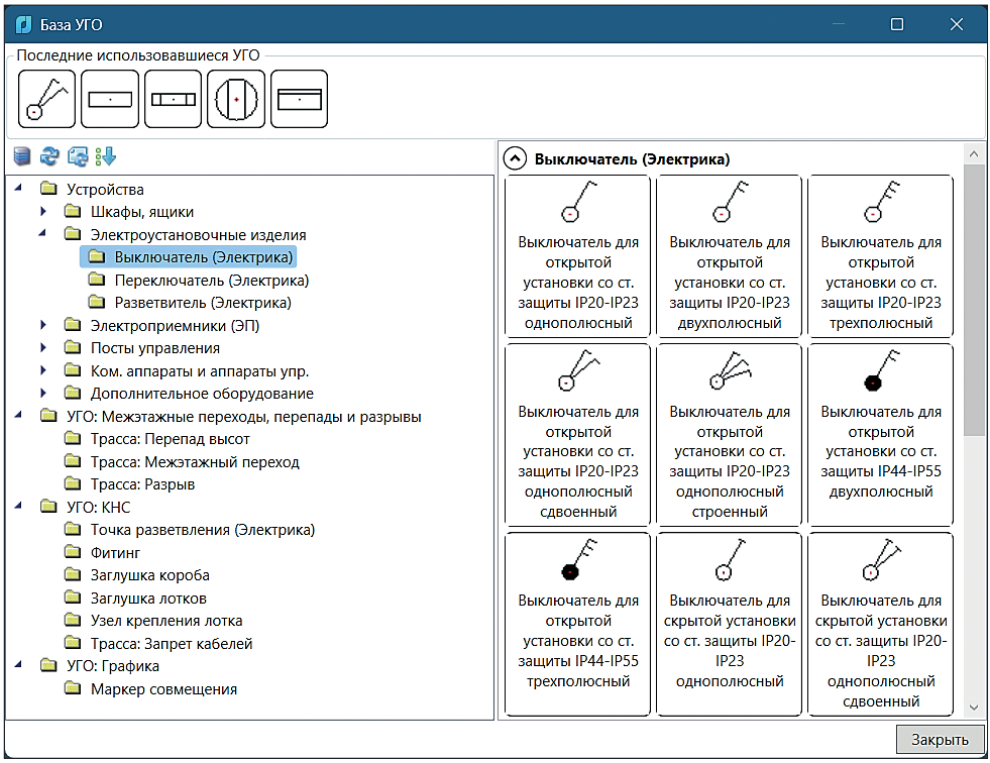


Рис. 3.25. Окно библиотеки условно-графических обозначений
База УГО по категориям оборудования → **Электроустановочные изделия**

Для установки и размещения выключателей системы освещения помещения необходимо выбрать подходящие для этого изделия. В **Базе УГО** выбрать раздел **Электроустановочные изделия** → далее **Выключатели** → для «скрытой (СУ) / открытой (ОУ) установки» выбрать необходимое УГО (одно- или двухклавишный) (рис. 3.25). Затем программа запрашивает выбор конкретной модели из базы данных оборудования. Если демонстрационная база или база проекта пуста, в верхнем выпадающем списке необходимо подключить актуальную библиотеку производителя (например, IEK, Schneider Electric, Legrand), выбрать модель, тип (например, одноклавишный, 10 А, 250 В) и подтвердить выбор (рис. 3.26) [65].

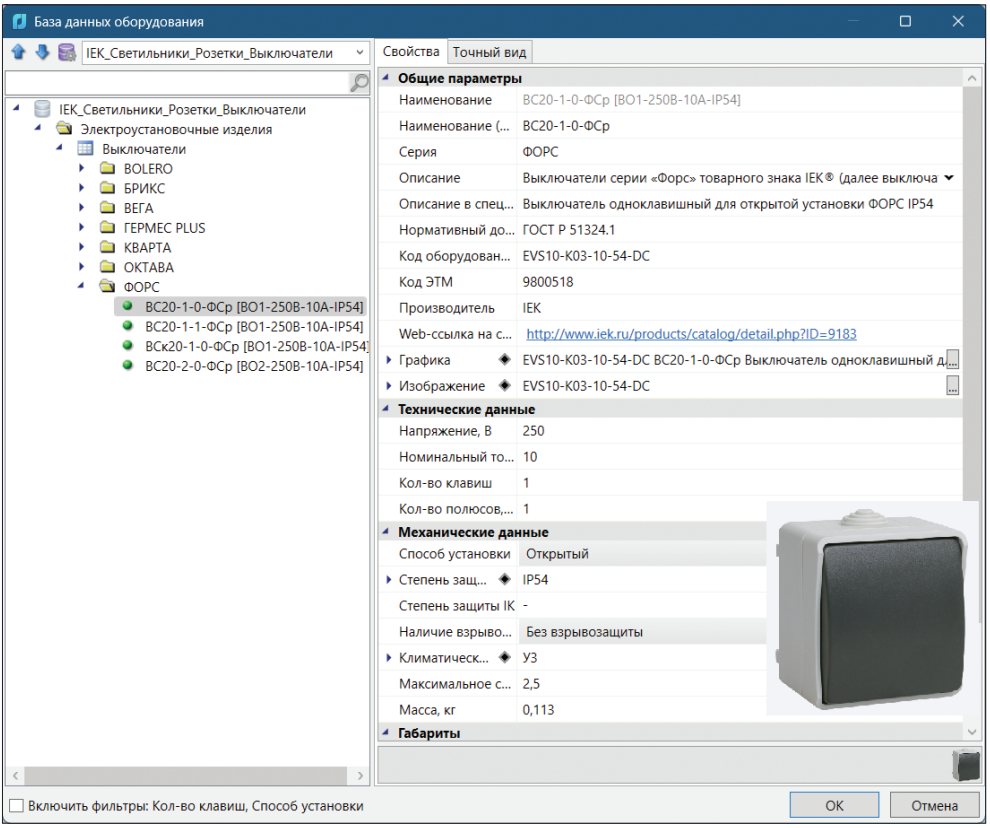


Рис. 3.26. Окно библиотеки **База данных оборудования → Электроустановочные изделия → Розетки, выключатели**

В открывшемся окне **Свойства конструктива** задается высота установки (стандартно 900–1000 мм от чистого пола) и плоскость крепления (**По точке установки** для стен или **Не задано** для общих случаев) (рис. 3.27).

Для скрытой проводки сразу необходимо добавить установочную коробку, нажимаем кнопку **Добавить индивидуальную комплектацию**, в той же базе производителя находим раздел **Установочные коробки** и выбираем подходящую модель (например, для бетонной или гипсокартонной стены). Это обеспечит автоматический учет коробки в спецификации [40, 57].

После настройки первого выключателя его можно скопировать стандартными средствами платформы в другие помещения. При последующем размещении программа предложит выбрать изделие уже из базы данных проекта, куда ранее выбранная модель и коробка были автоматически добавлены (рис. 3.28).

Особый случай – выключатель аварийного освещения, для наглядности такой выключатель следует разместить на отдельном слое (например, ЭЛ_Аварийное_освещение), назначив ему отличительный цвет (красный) в свойствах слоя.

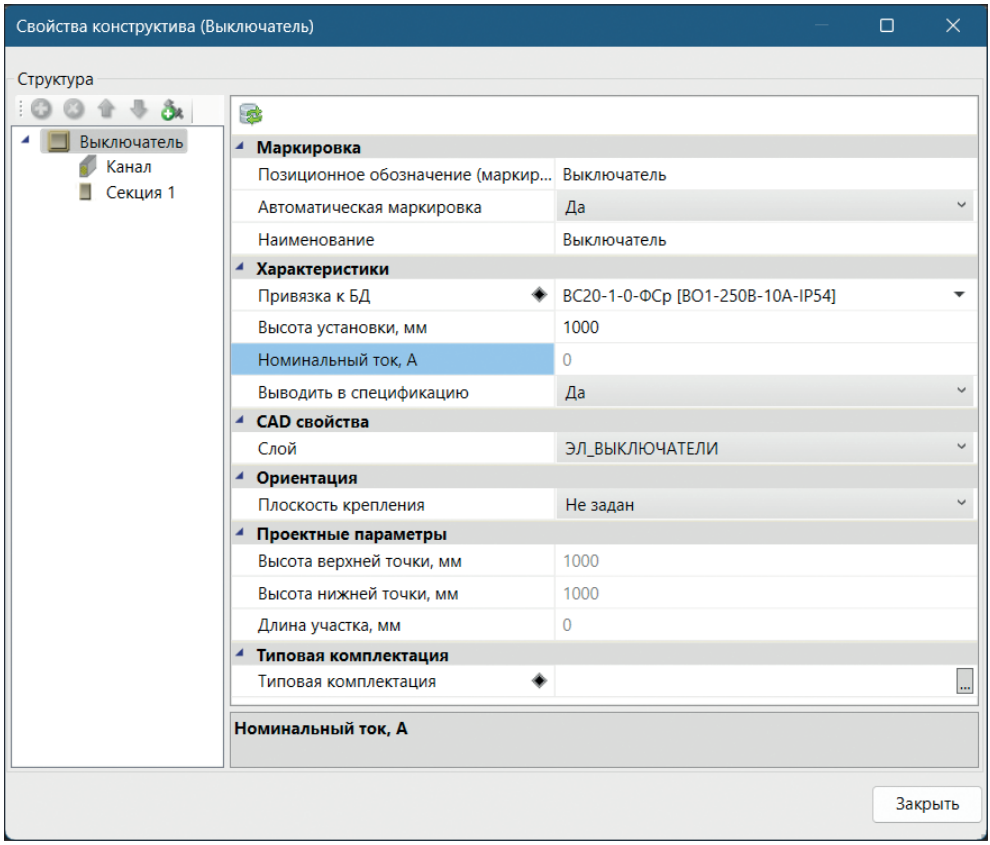


Рис. 3.27. Окно **Свойства конструктива** → **Выключатель**

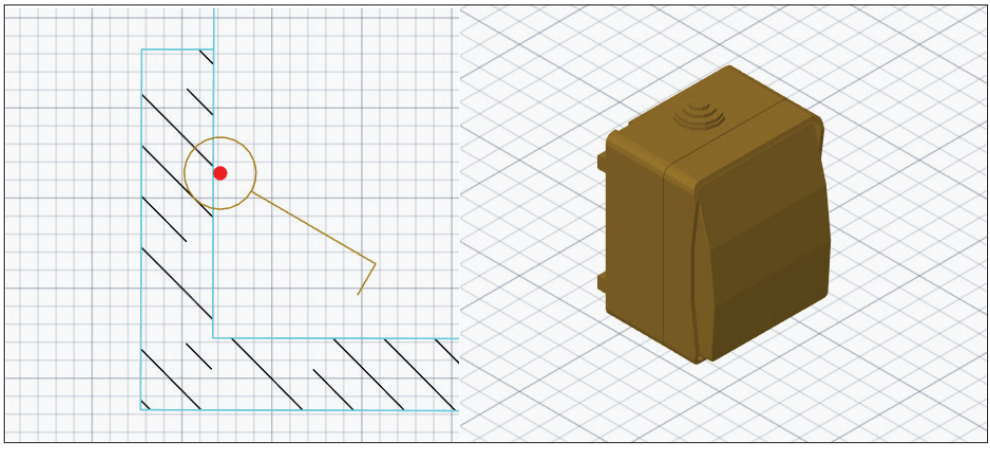


Рис. 3.28. 2D- и 3D-изображения выключателя освещения на плане помещения

Проектирование розеточной сети в производственных и технологических помещениях на промышленных предприятиях и предприятиях транспорта – это ответственная задача, от которой зависит не только бесперебойность работы оборудования, но и электробезопасность персонала. В отличие от бытовых и офисных аналогов, промышленные розеточные сети характеризуются повышенными нагрузками, жесткими условиями эксплуатации и особыми требованиями к надежности.

Производственная розеточная сеть предназначена для подключения переносного электроинструмента, передвижного технологического оборудования, сварочных аппаратов, испытательных стендов и других электроприемников, требующих периодического или мобильного соединения с сетью.

Основные типы промышленных розеток и разъемов представлены в табл. 3.5.

Таблица 3.5. Классификация промышленных розеток и разъемов

Признак классификации	Типы и характеристики	Область применения
По номинальному току и напряжению	16 А, 23 0В (1P+PE, 3P+PE)	Ручной инструмент, маломощные аппараты
	32 А, 63 А, 125 А, 230/400 В (3P+PE+N)	Передвижные станки, сварочные посты, мощные насосы
	16 А, 32 А, 63 А, 400 В (3P+PE)	Трехфазные двигатели без нуля
	Разъемы постоянного тока (DC)	Зарядные станции, гальванические линии
По количеству полюсов и наличию контакта заземления	1P+PE (фаза, земля)	Однофазное оборудование
	3P+PE (три фазы, земля)	Трехфазное оборудование, не требующее нейтрали (двигатели)
	3P+PE+N (три фазы, нейтраль, земля)	Трехфазное оборудование с цепями управления 230 В (станки с ЧПУ, комплексные аппараты)
По степени защиты (IP)	IP44 – защита от брызг и частиц > 1 мм	Цеха с нормальной средой
	IP54 – защита от пыли и брызг < 1 мм	Помещения с повышенной запыленностью или влажностью (деревообработка, мойки)
	IP67 – пыленепроницаемость, защита от временного погружения в воду	Особо жесткие условия (химические производства, улица)
По конструкции и способу монтажа	Накладные, для открытой проводки	Промышленные здания, кабельные трассы
	Встраиваемые, для установки в щиты или стены	Диспетчерские, щитовые
	Переносные (соединительные коробки)	Временное электроснабжение строительных площадок

При выборе конкретной модели необходимо руководствоваться техническим заданием от технологов, в котором указаны типы подключаемого оборудования, их электрические параметры и условия работы.

Организация розеточной сети должна соответствовать нескольким ключевым принципам:

1) группировка по назначению и режиму работы.
   - Розетки для переносного инструмента объединяются в отдельные группы, питающиеся от общего автоматического выключателя и УЗО в распределительном щите.
   - Розетки для стационарного, но периодически подключаемого оборудования (например, сварочных аппаратов) также выделяются в самостоятельные группы.
   - Мощные трехфазные розетки (32 А, 63 А) часто подключаются индивидуальными линиями;
2) мощность розеточной группы определяется не простым суммированием номинальных токов всех розеток, а с учетом коэффициента спроса (K_c). Для производственных розеточных сетей K_c может варьироваться от 0,2 до 0,6 в зависимости от специфики производства и вероятности одновременного включения оборудования. Номинальный ток защитного аппарата (автоматического выключателя) выбирается исходя из расчетного тока группы с учетом пусковых токов самого мощного электроприемника.
   - Обеспечение безопасности (обязательные требования по ПУЭ) – все розеточные группы в производственных помещениях обязательно должны защищаться устройством защитного отключения (УЗО), розетки должны иметь контакт защитного заземления (PE), а кабели – соответствующую жилу.

Таким образом, комплексный подход к проектированию, объединяющий нормативные требования, правильный расчет и использование возможностей BIM-моделирования, позволяет создать безопасную, надежную и эффективную розеточную сеть для любого производственного объекта.

Организация розеточной сети вне производственных помещений на промышленных предприятиях и предприятиях транспорта, как правило, заключается в организации типового рабочего места, оно может включать в себя блок из нескольких розеток: две компьютерные (для системного блока и монитора) и одну бытовую (для зарядных устройств, настольной лампы). Процесс размещения розеток в помещении аналогичен размещению выключателей, но имеет особенности [49, 57].

Как правило, розетки размещают либо в стене (скрытой установки), либо на стене (открытой установки), либо в специальном кабель-канале (блоке). Вопрос места размещения розеток, способа и высоты должен быть решен на стадии технического задания.

Для каждой розетки операция повторяется – выбор УГО из **Базы УГО** (рис. 3.29) → привязка к модели из библиотеки производителя → задание вы-

соты установки компьютерной или бытовой розетки (стандарт 300–400 мм от пола для рабочих зон). Для розеток трехфазных, предназначенных для подключения мощного технологического оборудования, высота установки должна быть определена в техническом задании и соответствовать требованиям нормативно-технической документации.

В свойствах каждой розетки необходимо определить **способ задания нагрузки**:

- **Установленной мощностью**: универсальный способ, для компьютерной розетки задается мощность 300–500 Вт (в зависимости от типа ПК), cos φ = 0,8–0,95, для бытовой – 1000–1500 Вт, cos $\varphi \approx 1$;
- **Подключением технологического оборудования**: используется, если розетка предназначена для строго определенного прибора из **Технологического задания** (например, станка) (рис. 3.30).

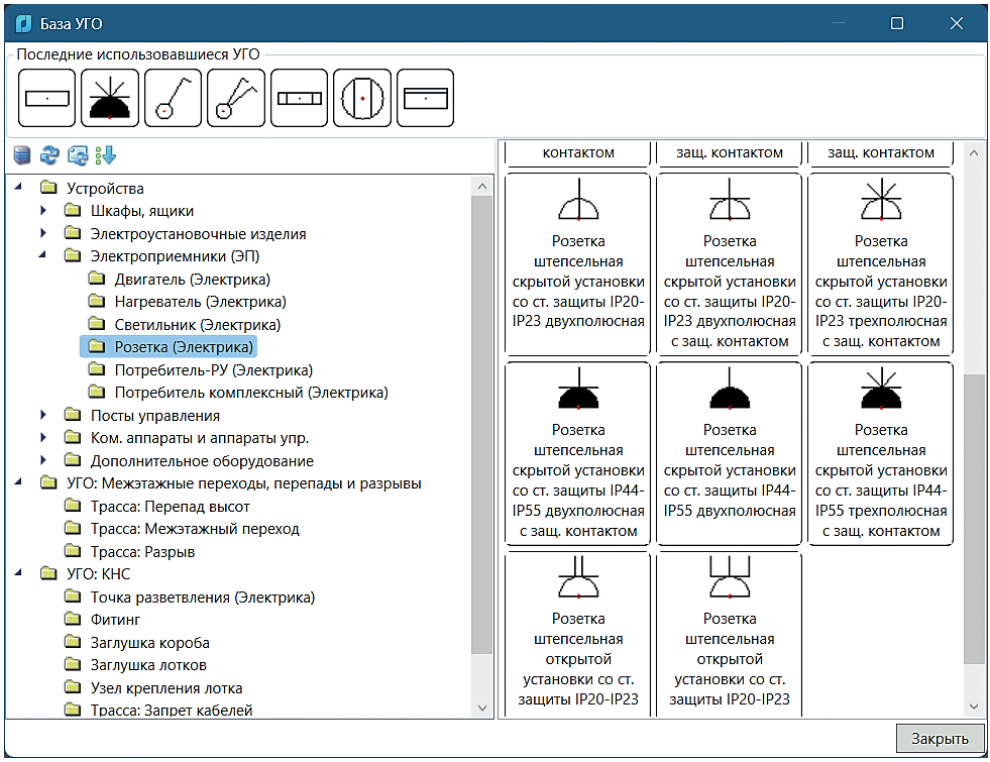


Рис. 3.29. Окно **База УГО** → **Розетки**

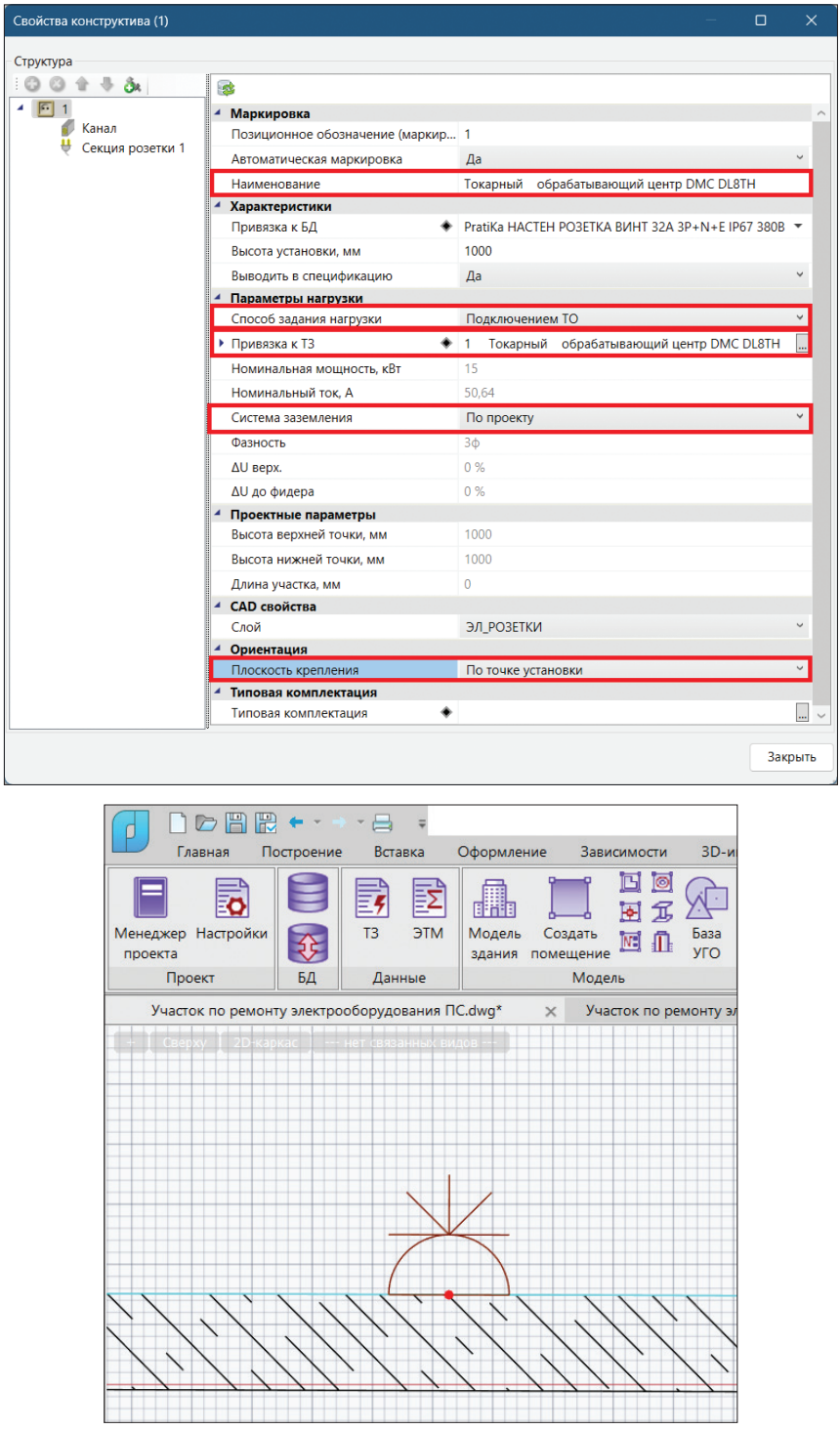


Рис. 3.30. Окно **Свойства конструктива (Розетка)** технологического оборудования

Если техническим заданием предусмотрена комплектация розеток, так же как и выключателей для монтажа в кабельный канал, то каждой отдельной розетке в канале должен соответствовать свой суппорт (монтажная пластина), он добавляется к каждой розетке отдельно (рис. 3.31). На весь блок из трех розеток требуется одна общая декоративная рамка, ее достаточно добавить в комплектацию только к одной из розеток в блоке (например, к бытовой), в библиотеке выбирается рамка на соответствующее число постов. Для улучшения читаемости чертежа розетки разных групп рекомендуется размещать на разных слоях (например, ЭЛ_Розетки_Комп и ЭЛ_Розетки_Быт) с присвоением им разных цветов [40].

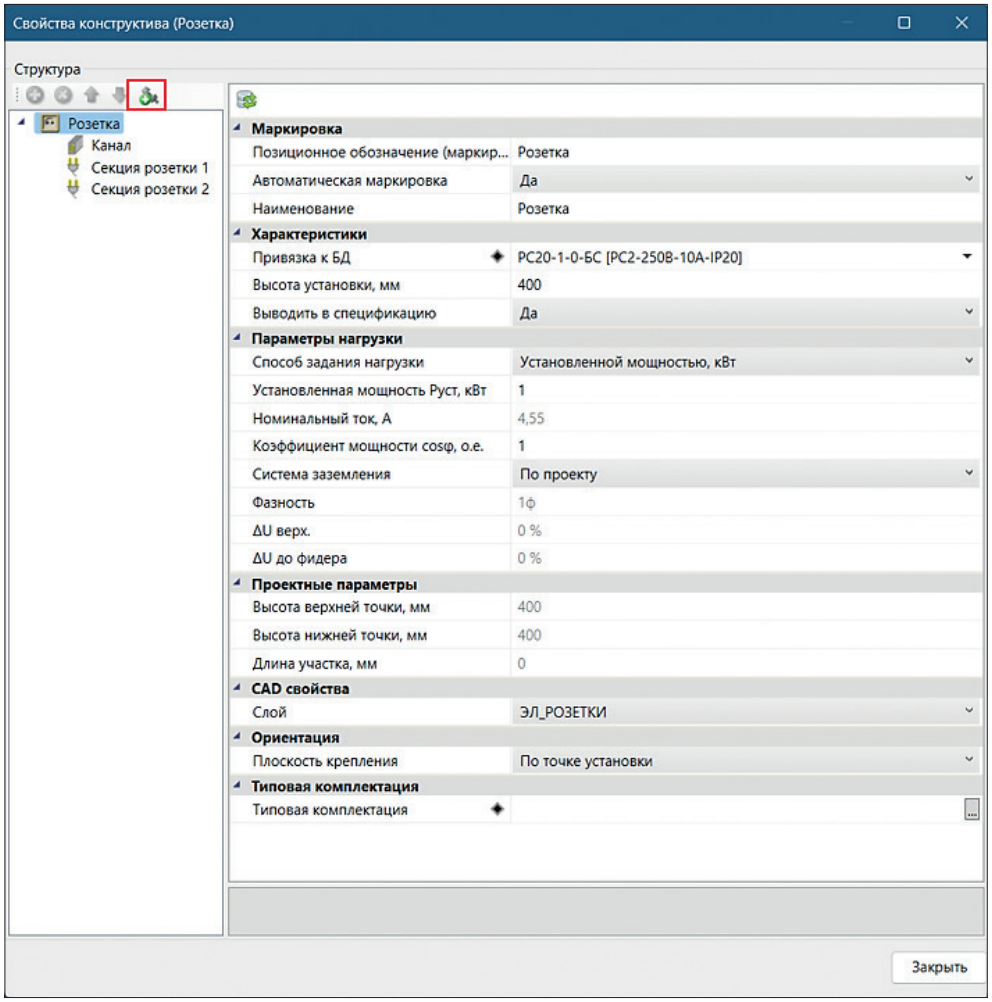


Рис. 3.31. Окно **Свойства конструктива (Розетка)** бытовая или компьютерная

Контрольные вопросы к § 3.2

1. Дайте определение электроприемника и назовите основную цель его классификации на этапе проектирования системы электроснабжения.
2. Назовите не менее пяти ключевых признаков классификации электроприемников и поясните практическое значение каждого признака для проектировщика.
3. В чем заключается принципиальная разница между продолжительным, кратковременным и повторно-кратковременным режимами работы электроприемника? Как режим работы влияет на его учет в расчете электрических нагрузок?
4. Каковы основные особенности проектирования электроснабжения для однофазных электроприемников? С какой целью их необходимо равномерно распределять по фазам?
5. Опишите структуру нагрузки сложного трехфазного технологического электроприемника (например, станка). Какие виды нагрузок в нем могут совмещаться и как это учитывается при расчете его общей мощности?
6. Запишите формулу для расчета номинальной активной мощности трехфазного электроприемника и поясните физический смысл каждого входящего в нее параметра.
7. Что такое пусковой коэффициент ($К_п$) асинхронного электродвигателя и почему его учет критически важен при выборе аппаратов защиты и сечения кабелей?
8. Какова основная функция инструмента **Технологическое задание** в nanoCAD BIM Электро? Каковы возможные источники исходных данных для формирования в нем перечня оборудования?
9. Перечислите основные группы параметров электроприемника, которые необходимо заполнить в его карточке свойств. Какие из них напрямую влияют на автоматизированный расчет нагрузок?
10. Для чего предназначена **База Ки** в свойствах электроприемника и как ее использование повышает точность проектных решений?
11. Какие два принципиально разных подхода к графическому отображению электроприемника на плане доступны в программе? В каких проектных ситуациях целесообразно применять каждый из них?
12. Опишите пошаговый алгоритм размещения условно-графического обозначения (УГО) электроприемника на плане с момента открытия **Базы УГО** до задания высоты установки.
13. Назовите основные типы электроустановочных изделий, используемых для организации групповых сетей. По каким ключевым параметрам осуществляется выбор конкретной модели розетки или выключателя?
14. В чем заключаются основные отличия и специфические требования к проектированию розеточной сети в производственном помещении по сравнению с офисным?
15. Какие дополнительные комплектующие (помимо самой розетки) необходимо учесть в спецификации при проектировании блока розеток, монтируемого в кабельный канал?

§ 3.3. Распределительные устройства: классификация, конструкция и выбор электрических щитов

После того как на плане здания размещены все электроприемники, светильники и электроустановочные изделия, возникает ключевой вопрос: откуда и как они будут получать электропитание? Ответом на этот вопрос является система распределительных устройств – электрических щитов.

Проектирование распределительной сети логически завершается моделированием щитов. Именно они принимают электропитание от вводного устройства здания или трансформаторной подстанции и распределяют его по сформированным ранее группам (отходящим питающим линиям) – освещению, розеткам, силовому оборудованию. Вопросы размещения и внутренней компоновки щитов создают основу для трассировки кабельных линий и выполнения проверочных расчетов.

Электрический щит – это не просто «ящик с автоматами». Это центральный узел любой системы электроснабжения, выполняющий функции приема, распределения, учета и защиты электрической энергии. От того, насколько грамотно выбраны типы щитов и как они скомпонованы, зависят надежность, безопасность и удобство эксплуатации всего объекта.

Электрический распределительный щит (щит, шкаф, пункт) – это изделие, предназначенное для установки аппаратов защиты, управления и учета электроэнергии, а также для соединения входящих и отходящих кабельных линий.

Независимо от конструкции и назначения, любой щит решает три основные задачи (рис. 3.32):

1) **прием электроэнергии** – подключение к питающей линии (от трансформатора, ВРУ вышестоящего уровня или ввода в здание);
2) **распределение** – разделение одного вводного потока энергии на несколько отходящих групповых линий;
3) **защита и управление** – установка аппаратов, защищающих линии от перегрузок и коротких замыканий, а также позволяющих вручную или автоматически включать/отключать потребителей.

На рис. 3.33 представлен фрагмент типовой принципиальной однолинейной схемы группового распределительного щита. Схема наглядно демонстрирует иерархию построения системы электроснабжения: от вводного аппарата через коммутационно-защитные устройства к конкретным потребителям или распределительным пунктам [40, 49].

В левой части расположена спецификация аппаратов защиты с четким разделением на вводные аппараты и аппараты, защищающие отходящие линии. Для каждого автоматического выключателя указан индивидуальный номер (QF1, QF2 и т. д.), модель (YON MD, PROKVAN), номинальный ток.



Рис. 3.32. Основные функции электрических распределительных щитов в системе электроснабжения

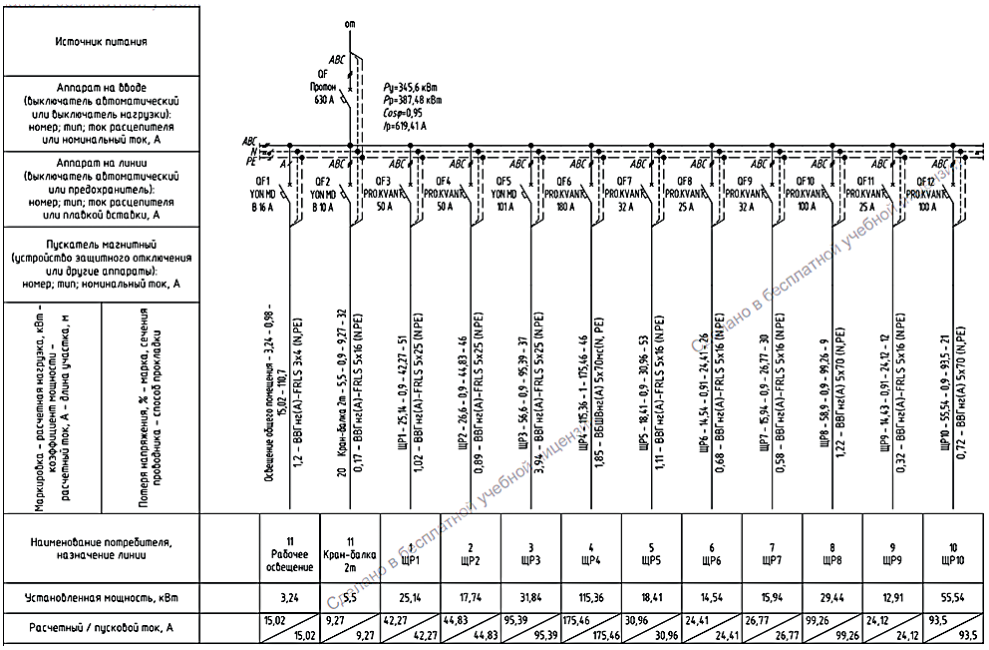


Рис. 3.33. Типовая принципиальная схема группового распределительного щита

Схема обслуживает смешанную нагрузку – освещение, силовое оборудование, распределительные шкафы, питающие удаленные группы потребителей.

Это типовой подход к проектированию распределительных сетей 0,4 кВ, где каждый этап – от ввода до конечного потребителя – сопровождается расчетом и выбором аппаратуры, обеспечивающей как защиту от перегрузок и коротких замыканий, так и возможность оперативного управления.

Внешне электрические щиты представляют собой металлические или пластиковые корпуса (шкафы, ящики, боксы), внутрь которых монтируется оборудование (рис. 3.34). Выбор конструктивного исполнения зависит от условий эксплуатации и способа монтажа. Все электрические распределительные щиты можно классифицировать по ряду признаков.

По материалу корпуса:

- металлические шкафы – наиболее распространенный тип для ВРУ, ГРЩ, силовых щитов. Обеспечивают высокую механическую прочность, защиту от пожара, возможность применения тяжелых аппаратов (рубильников, трансформаторов). Степень защиты обычно IP31–IP66;
- пластиковые боксы – используются для квартирных щитков, этажных щитов, щитов освещения в сухих помещениях. Легкие, эстетичные, имеют степень защиты IP40–IP65.



Рис. 3.34. Пример корпусов электрических распределительных шкафов

По способу монтажа:

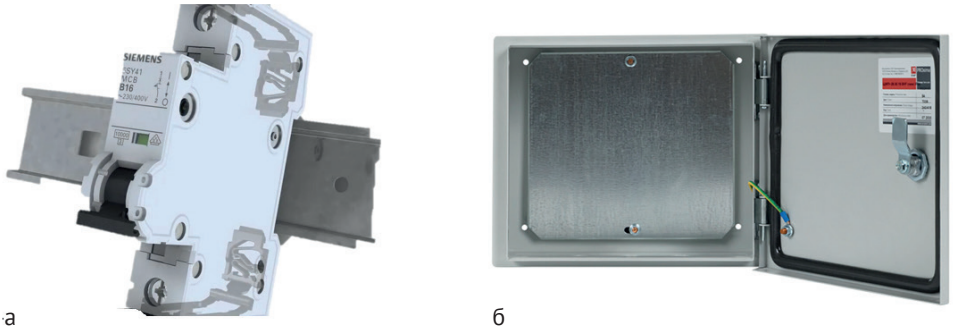
- навесные – крепятся на стену (основной тип для производственных и административных зданий);
- встраиваемые – утапливаются в ниши стен (жилые и офисные помещения);
- напольные – устанавливаются на пол или фундамент (мощные ВРУ, крупные распределительные шкафы).

Ключевое конструктивное отличие распределительных щитов определяется типом монтажной поверхности: DIN-рейка либо монтажная панель. Выбор конструкции напрямую зависит от номенклатуры устанавливаемых аппаратов – модульной или промышленной серии (табл. 3.6).

Таблица 3.6. Особенности применения DIN-рейки и монтажной панели

Характеристика	DIN-рейка	Монтажная панель
Тип устанавливаемых аппаратов	Модульные (автоматы, УЗО, реле)	Стационарные (рубильники, предохранители, пускатели)
Номинальные токи	Обычно до 125 А	От 63 А до 6300 А
Способ монтажа	Защелкивание, без инструмента	Крепление винтами, болтами
Применение	Щиты освещения, квартирные щитки, розеточные группы	ВРУ, ГРЩ, силовые щиты, щиты управления двигателями

DIN-рейка (DIN-rail) – это стандартный металлический профиль шириной 35 мм, предназначенный для быстрой установки модульных аппаратов (рис. 3.35а). **Модульное оборудование** (автоматические выключатели, УЗО, дифференциальные автоматы, реле, счетчики) имеет стандартную ширину, кратную 17,5 мм (1 модуль). Такие аппараты просто защелкиваются на рейку без использования инструмента и фиксируются на месте. Этот принцип используется в щитах освещения, этажных щитках, щитах розеточных групп – везде, где применяются автоматы стандартных номиналов до 63–125 А [40, 41, 49].



а б

Рис. 3.35. Внешний вид DIN-рейки (а) и монтажной панели (б)

Монтажная панель – это сплошной металлический лист с прорезями или резьбовыми отверстиями (рис. 3.35б). Она необходима для установки силовых аппаратов в литом корпусе, которые не предназначены для DIN-рейки:

- вводные рубильники и разъединители на токи 250–1600 А;
- рубильники-предохранители (типа РПС, ППН);
- контакторы, пускатели.

Такие щиты (часто их называют силовыми шкафами ШС) используются на вводе в здание, в составе ВРУ, для питания мощного технологического оборудования.

В проектной практике используется устоявшаяся классификация, которая позволяет однозначно определить роль каждого щита в системе электроснабжения, ключевое различие – место в иерархии питания и тип подключаемых потребителей.

1. **Вводно-распределительные устройства (ВРУ) и главные распределительные щиты (ГРЩ)** – это основа системы электроснабжения здания или корпуса, поэтому для этого используются металлические напольные или навесные шкафы, монтажная панель, силовые аппараты на большие токи (250–1600 А), шинные сборки. ВРУ, как правило, устанавливается на границе балансовой принадлежности (после ввода кабеля от трансформаторной подстанции) и выполняет следующие функции:
   - прием электроэнергии от питающей сети;
   - распределение по основным магистральным линиям, питающим нижестоящие щиты (освещения, силовые, этажные);
   - учет электроэнергии (общедомовые/общеобъектовые счетчики);
   - защита вводных и межсекционных линий;
   - секционирование (деление на секции) для обеспечения надежности;
   - устройства АВР (автоматического включения резерва) – при наличии двух вводов.
2. **Щиты освещения (ЩО) и щиты аварийного освещения (ЩОА, ЩАО)** предназначены для питания **сетей освещения**. Они получают питание от ВРУ и распределяют его по группам светильников рабочего или аварийного освещения. Щит рабочего освещения (ЩО) включает модульные автоматические выключатели (обычно 6–16 А), УЗО (при необходимости), контакторы для автоматического управления. Щит аварийного освещения (ЩАО, ЩОА) отличается, его принципиальное отличие – питание от независимого источника (другой ввод, дизель-генератор, аккумуляторные батареи), в остальном конструкция аналогична. Маркировка таких щитов и подключаемых к ним групп строго регламентирована (красный цвет, особая маркировка).
3. **Силовые распределительные щиты и шкафы (ЩС, ШР, ПР)** предназначены для питания **силовых электроприемников** – станков, насосов, вентиляторов, кондиционеров, сварочных постов. В зависимости от мощности могут быть выполнены как в модульном (до 63–100 А), так и в стационарном исполнении. Часто внутри щитов этого типа устанавливаются пускозащитная аппаратура (контакторы, тепловые реле) для управления электродвигателями.
4. **Щиты розеточных сетей (ЩРС)** – это разновидность силовых щитов, но предназначенная исключительно для питания **розеточных групп** (как офисных, так и производственных). Обычно это навесной металлический ящик с DIN-рейками, модульными автоматами и УЗО, для офисных помещений часто используются пластиковые боксы.
5. **Этажные щитки (ЩЭ)** используются в жилых и административных зданиях для распределения электроэнергии по квартирам или офисам на этаже. Включают в себя вводной аппарат, счетчики (при квартирном учете) и аппараты защиты отходящих линий [40].

Особенности применения электрических щитов по функциональному назначению – в табл. 3.7.

Таблица 3.7. Особенности применения электрических щитов по функциональному назначению

Тип щита	Сокращение	Основное назначение	Типовая конструкция	Характерные аппараты
Вводно-распределительное устройство	ВРУ, ГРЩ	Прием и распределение на вводе в здание	Металлический шкаф, монтажная панель	Рубильники, предохранители, трансформаторы тока, шины
Щит освещения рабочий	ЩО, ОЩ	Питание сетей рабочего освещения	Пластик/металл, DIN-рейка	Модульные автоматы, УЗО, контакторы
Щит аварийного освещения	ЩАО, АОЩ	Питание сетей эвакуационного освещения	Металл, DIN-рейка, отличительная окраска	Автоматы, УЗО, устройства АВР
Щит силовой	ЩС, ШР, ПР	Питание технологического оборудования	Металл, DIN-рейка или панель	Автоматы, пускатели, реле, частотники
Щит розеточных сетей	ЩРС, РЩ	Питание групп розеток	Пластик/металл, DIN-рейка	Автоматы, УЗО
Этажный щит	ЩЭ	Распределение по квартирам/офисам этажа	Металл/пластик, DIN-рейка	Вводной автомат, счетчики, групповые автоматы

Для того чтобы правильно выбрать тип электрического щита для конкретной проектной задачи, необходимо последовательно ответить на пять вопросов:

1. Каково функциональное назначение щита? (Что он будет питать: ВРУ, освещение, розетки, станки?)
2. Каков расчетный ток вводного аппарата и отходящих линий? (Как правило, до 63 А – модульное исполнение на DIN-рейке, выше – силовые аппараты на панели.)
3. Где будет установлен щит? (В сухом отапливаемом помещении – IP31, на улице или в сыром цехе – IP54–IP66.)
4. Каков способ монтажа? (На стену, в нишу, на пол.)
5. Требуется ли учет электроэнергии и тип учета?

Пример 1. Требуется запитать группу из 10 светильников рабочего освещения в сухом офисном помещении. Расчетный ток группы – 16 А, ввод щита – 25 А.

Решение: пластиковый встраиваемый бокс на 12–18 модулей с DIN-рейкой, внутри вводной автомат 25 А, групповые автоматы 10 А, УЗО 30 мА. **Это ЩО (щит освещения).**

Пример 2. Требуется организовать питание токарного станка мощностью 22 кВт. Расчетный ток – 45 А, требуется управление (пускатель) и защита двигателя.

Решение: металлический навесной шкаф с монтажной панелью, внутри рубильник, автоматический выключатель 63 А, контактор, тепловое реле. **Это ШР (силовой шкаф) или ПР (пункт распределительный).**

Пример 3. Требуется организовать ввод в здание от двух независимых трансформаторов с АВР. Ток ввода – 630 А.

Решение: напольный металлический шкаф ВРУ (секционный), внутри вводные рубильники, трансформаторы тока, измерительные приборы, секционный автомат, устройства АВР. **Это ВРУ.**

В nanoCAD BIM Электро все перечисленные типы щитов присутствуют в базе данных оборудования производителей. Для проектировщика важно не только выбрать корпус, но и скомплектовать его внутреннее наполнение – заполнить спецификацию модульными аппаратами, которые будут установлены на DIN-рейку. Этот процесс (компоновка щита) является отдельным этапом проектирования.

Однако уже на этапе размещения оборудования на плане необходимо установить условно-графическое обозначение (УГО) щита, указать его тип (навесной/встраиваемый), степень защиты и высоту установки. Это позволит скоординировать его расположение с архитектурными и технологическими решениями.

Размещение всех конечных потребителей (светильников, розеток, выключателей, стационарных электроприемников) – это только часть задач, которые стоят перед проектировщиком. Чтобы смоделированная на плане система электроснабжения обрела законченный вид, необходимо добавить распределительные устройства (щиты). Они служат связующим звеном между внешним вводом и групповыми линиями, принимая энергию, распределяя ее по направлениям и обеспечивая защиту каждого присоединения. В nanoCAD BIM Электро работа со щитами – это не просто расстановка условных обозначений на плане, а полноценное информационное моделирование (задаются электрические параметры, конфигурация вводов и отходящих питающих линий, характеристики вышестоящей сети). Все это в дальнейшем используется для автоматического расчета токов короткого замыкания, потерь напряжения и формирования однолинейных схем.

Распределительные щиты интегрируются в модель и на план объекта проектирования через **Базу УГО**. Однако подход к выбору условного обозначения зависит от типа щита и степени детализации модели.

Для мощных ВРУ (вводно-распределительных устройств) и силовых шкафов, которые комплектуются стационарными аппаратами на монтажной панели, целесообразно использовать **Шкаф одностороннего обслуживания, подстраиваемый под реальные размеры**. Это УГО позволяет задать фактические габариты шкафа (ширину, высоту, глубину), отобразить его на плане в масштабе и учесть пространственные ограничения в помещении (рис. 3.36).

Для групповых щитков (освещения, розеток, аварийного освещения) чаще применяются готовые пластиковые или металлические боксы из библиотек производителей, тогда следует выбрать **Щит распределительный, подстраиваемый под реальные размеры**. Такие изделия уже имеют фиксированные размеры и конфигурацию, что упрощает их выбор и исключает необходимость ручного масштабирования.

Для размещения распределительного щита на плане необходимо в **Базе УГО** выбрать → **Устройства** → затем раздел **Шкафы, ящики**, для нестандартного шкафа → УГО **Шкаф одностороннего обслуживания**, а для типового → **Щит распределительный (подстраиваемый под реальные размеры)** (рис. 3.36) → указать точку вставки на плане, при необходимости повернуть УГО стандартными средствами → выбрать щит из **БД оборудования** (рис. 3.37). В открывшемся окне **Свойства конструктива** перейти к настройке параметров щита (рис. 3.38).

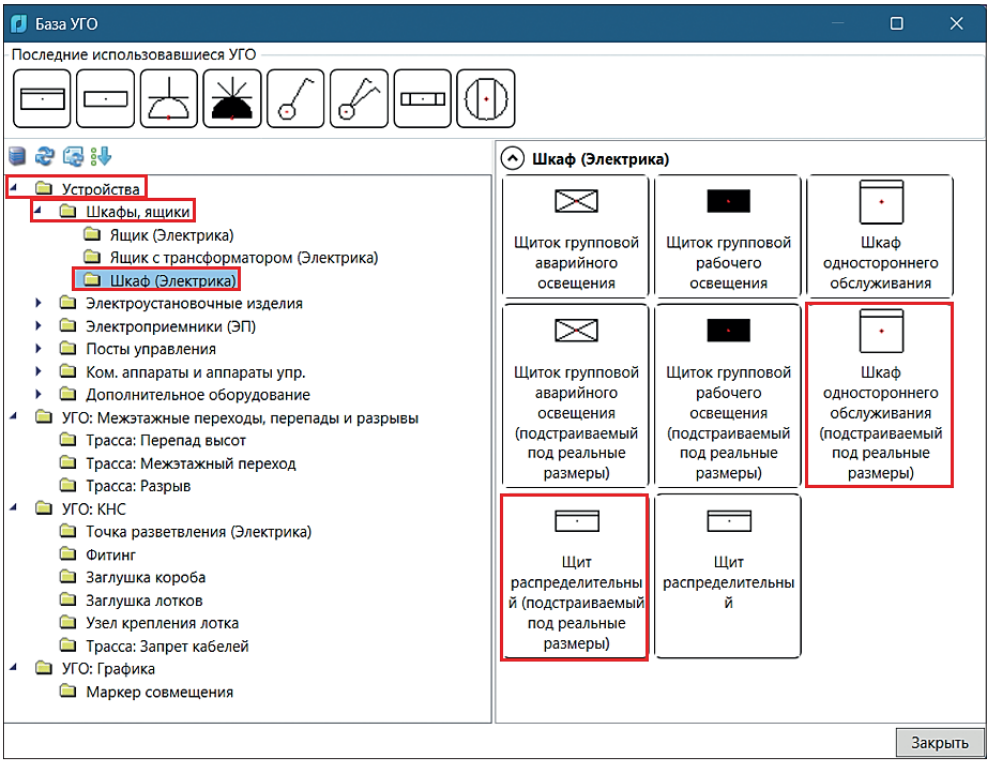


Рис. 3.36. Окно **База УГО** → выбор щита из базы **УГО Щит распределительный (подстраиваемый под реальные размеры)** или **Шкаф одностороннего обслуживания (подстраиваемый под реальные размеры)**

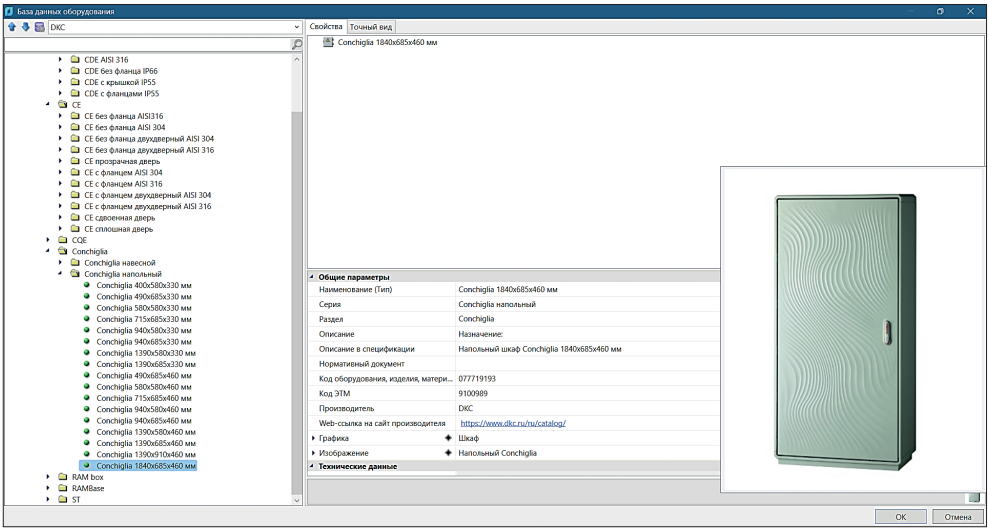


Рис. 3.37. Окно выбора типового распределительного щита из **БД оборудования**

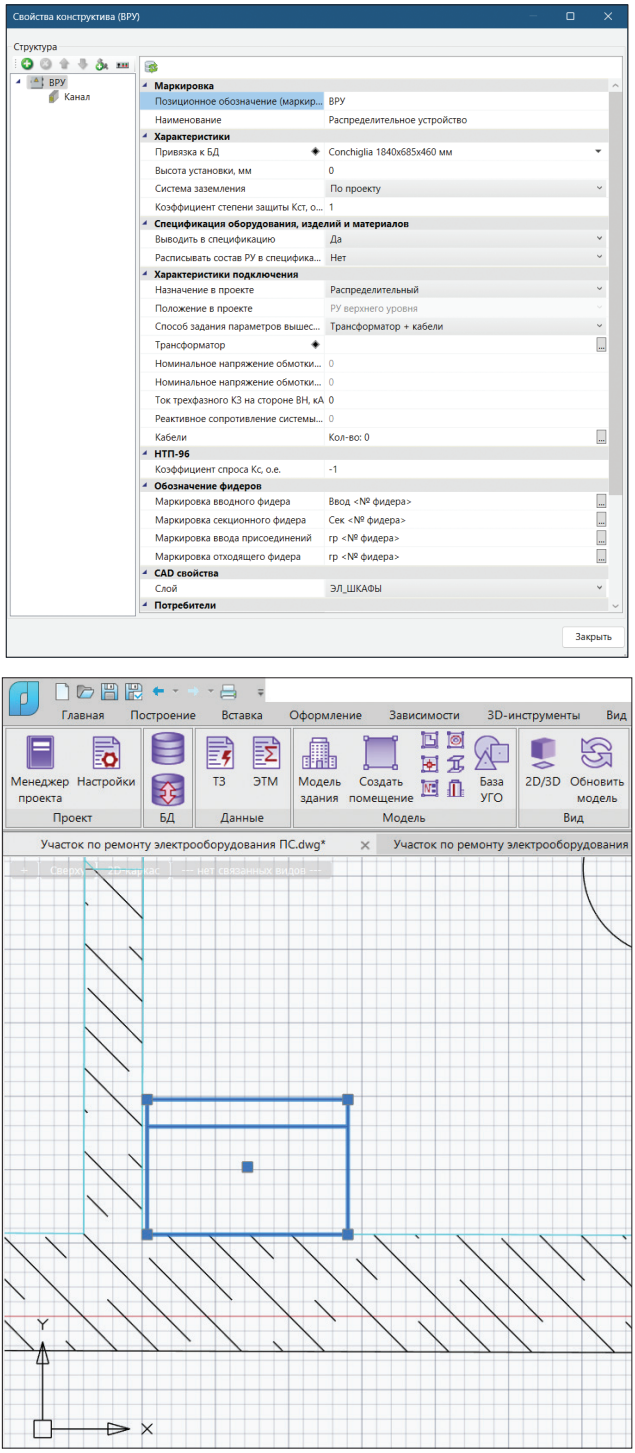


Рис. 3.38. Окно интерфейса **Свойства конструктива** распределительного щита

Окно свойств щита содержит несколько функциональных блоков, рассмотрим ключевые из них:

Позиционное обозначение – уникальный код щита в проекте (например, ВРУ-1, ЩО-01, ЩАО).

Наименование – текстовая расшифровка (например, «Вводно-распределительное устройство корпуса А»).

Высота установки – расстояние от уровня чистого пола до низа корпуса (мм), для напольных шкафов – 0 мм, для навесных – 1500–1700 мм.

Система заземления – выбирается для данного щита (TN-C, TN-S, TN-C-S). Важно: для ВРУ на границе балансовой принадлежности часто применяется TN-C (совмещенный PEN-проводник), а внутри здания – TN-S с разделением N и PE.

Назначение в проекте – определяет роль щита в иерархии:

- Питающий – головное устройство (ВРУ, ГРЩ);
- Распределительный – промежуточный щит (силовой шкаф);
- Групповой рабочего освещения / розеточной сети / аварийного освещения – щит освещения или розеточной сети (ЩО, ЩР, ЩАО).

Управление спецификацией предусматривает два варианта выводить спецификацию – включать/выключать позицию в итоговую ведомость и расписывать состав РУ в спецификации. Если **Да**, то все аппараты, смоделированные внутри щита, будут показаны в спецификации как отдельные строки под заголовком щита. Для серийных боксов, собираемых на месте монтажа, обычно ставится **Да**; для заказных шкафов (ВРУ, изготовленных на заводе) – **Нет**, чтобы в спецификации фигурировало только заказное изделие целиком.

Для выполнения электротехнических расчетов (токов КЗ, потерь напряжения) необходимо задать параметры источника питания, подключенного к вводу щита. Программа nanoCAD BIM Электро предлагает два способа:

1) **Напрямую** – пользователь вручную вводит эквивалентные сопротивления прямой, обратной и нулевой последовательности до точки ввода, этот способ применяется редко из-за сложности получения точных данных;
2) **Трансформатор + кабели** – наиболее практичный вариант, пользователь последовательно выбирает из базы данных:
   - **Силовой трансформатор** (тип, мощность, схема соединения);
   - **Кабельную линию** (марка, сечение, длина, количество параллельных кабелей).

Если между трансформаторной подстанцией и рассчитываемым щитом есть промежуточные коммутационные аппараты, их сопротивления, как правило, малы и не учитываются.

Важный нюанс – задание тока короткого замыкания на высокой стороне. Точное значение сопротивления системы со стороны высокого напряжения (10/6 кВ) проектировщику обычно неизвестно. ГОСТ Р 52735 допускает определять его по коммутационной способности выключателя на вводе трансформатора или по ожидаемому току КЗ на шинах подстанции (задается в технических условиях). В программе это значение вводится в поле **Ток КЗ на высокой**

стороне. На основе этих данных программа автоматически рассчитывает реактивное сопротивление системы, активным сопротивлением на высоком напряжении пренебрегают.

Когда между трансформатором и щитом добавлен кабель, программа рассчитывает потерю напряжения в нем автоматически. Однако в реальном проектировании эта линия может быть общей для нескольких потребителей, и проектировщик не всегда знает суммарный ток в ней. В таких случаях в техническом задании указывают допустимые потери напряжения «сверху» (например, 1 %). В окне свойств щита можно явно задать это значение в поле **ΔU сверху**, и расчет собственных сетей будет выполняться с учетом этого ограничения [40].

Главное преимущество информационной модели распределительного щита перед простым графическим изображением – возможность задания внутренней структуры. В nanoCAD BIM Электро она формируется последовательным добавлением элементов через команду **Добавить новый элемент** в окне **Свойства конструктива** (рис. 3.39).

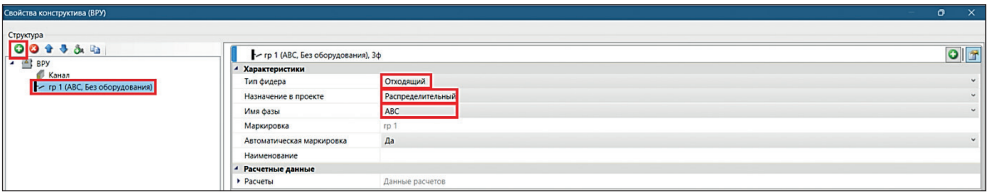


Рис. 3.39. Окно интерфейса **Свойства конструктива** распределительного щита → **Добавить новый элемент**

Каждый добавленный элемент представляет собой фидер – питающую линию (присоединение), выполняющий одну из следующих функций:

а) **вводной** – принимает питание от вышестоящей сети;

б) **секционный** – обеспечивает связь между секциями шин (в щитах с несколькими вводами);

в) **отходящий** – направляет электроэнергию к нижестоящим щитам или непосредственно к потребителям;

г) **ввод присоединений** (или **вводной для подчиненных**) – возникает, когда к отходящему фидеру добавляются один или несколько нижестоящих отходящих фидеров. Такой фидер не является самостоятельным вводом от внешнего источника, но играет роль «входной точки» для группы подчиненных фидеров. Например, при моделировании схемы с УЗО, т. е. на УЗО создается ввод присоединений, а к нему уже подключаются групповые автоматы как отходящие фидеры от этого ввода. Такая иерархия корректно отображается на однолинейной схеме;

д) **отходящий фидер от ввода присоединений** – это фидер, который подключается к «вводу присоединений» (т. е. является нижестоящим по отношению к нему). Используется для группировки нескольких линий под общим аппаратом защиты (например, несколько автоматических выключателей после одного УЗО). Такое разделение необходимо для правильной генерации принципиальных схем и расчета селективности.

Правила построения структуры распределительного щита следующие:

1. Структура щита должна быть линейной, все фидеры одного уровня располагаются последовательно.
2. Вводные фидеры (обычно их два для схемы с АВР) и секционный фидер создаются на том же уровне, что и отходящие линии. Программа автоматически распознает их роль и строит однолинейную схему корректно.
3. Недопустимо создавать подчиненные фидеры (нажимать «+» на уже существующем фидере), если только вы не моделируете щит с групповой защитой (например, УЗО, от которого отходят несколько автоматов). Такой прием допустим, но должен быть осознанным – он применяется при необходимости сэкономить место в щите или реализовать отключение целой группы потребителей одним аппаратом (например, при пожаротушении).

Для групповых щитков освещения и розеточных сетей структура проще:

- один вводной фидер (автоматический выключатель или рубильник);
- несколько отходящих фидеров (групповые автоматы).

На этапе расстановки оборудования часто создают только каркас структуры – перечень фидеров без привязки к конкретным аппаратам. Выбор моделей автоматических выключателей, УЗО, контакторов выполняется позже, в процессе расчета нагрузок и компоновки однолинейной схемы.

Важно: для производственных зданий и помещений часто требуются щиты с повышенной степенью защиты (IP54, IP65), выбор корпуса осуществляется из соответствующих разделов библиотеки.

Правильное моделирование распределительных устройств в nanoCAD BIM Электро – это основа для:

- корректного автоматического расчета токов КЗ и потерь напряжения;
- формирования однолинейных расчетных схем;
- создания заказных спецификаций и опросных листов;
- координации с архитектурно-строительными решениями [28].

На данном этапе проектировщик должен четко представлять иерархию щитов: ВРУ → распределительные щиты (силовые, освещения) → групповые щитки. Каждый щит занимает свое место в этой структуре, и только при соблюдении этого порядка возможна правильная интеграция всех разделов проекта в единую информационную модель.

Контрольные вопросы к § 3.2

1. Дайте определение электрического распределительного щита. Какие три основные задачи он решает в системе электроснабжения?
2. По каким признакам классифицируются электрические щиты? Опишите классификацию по материалу корпуса и способу монтажа, приведите примеры применения каждого типа.
3. В чем принципиальное конструктивное различие между DIN-рейкой и монтажной панелью? Для установки каких типов аппаратов предназначена каждая из них и в каких щитах применяется?

4. Перечислите основные функциональные типы электрических щитов в иерархии системы электроснабжения (от ввода до конечных потребителей). Кратко охарактеризуйте назначение каждого из них.
5. Чем отличается щит аварийного освещения (ЩАО) от щита рабочего освещения (ЩО)? Каковы его конструктивные особенности и требования к питанию?
6. Назовите пять последовательных вопросов, на которые необходимо ответить проектировщику для правильного выбора типа электрического щита. Приведите пример выбора щита для конкретной задачи (по заданию преподавателя).
7. Какие два варианта настройки параметров источника питания для расчета токов короткого замыкания предусмотрены в nanoCAD BIM Электро? Какой из них является наиболее практичным и почему?
8. Что означает параметр **ΔU сверху** в окне свойств щита и в каких случаях его необходимо задавать вручную?
9. Опишите процедуру создания структуры распределительного щита в nanoCAD BIM Электро. Какие типы фидеров можно создать и каковы правила построения иерархии элементов внутри щита?
10. Для чего в окне свойств щита предусмотрены параметры **Расписывать состав РУ в спецификации** и **Выводить спецификацию**? В каких случаях следует устанавливать значение **Да**, а в каких – **Нет**?
11. Какие условные графические обозначения (УГО) используются в nanoCAD BIM Электро для размещения на плане мощных ВРУ и для групповых щитков освещения/розеток? В чем разница в их применении?
12. Почему правильное моделирование распределительных устройств в информационной модели является основой для корректных автоматических расчетов и формирования однолинейных схем?

Для закрепления материала по данной главе пройдите тест, который находится на странице с дополнительными материалами (см. на стр. 7).

Практическое задание № 2

Тема: «Комплексное проектирование внутреннего электроснабжения производственного участка транспортного предприятия: освещение, розеточная сеть, силовое оборудование и распределительные щиты в nanoCAD BIM Электро».

Цель задания: освоить сквозной процесс проектирования внутреннего электроснабжения участка:

- расчет и проектирование рабочего и аварийного освещения;
- проектирование розеточной сети и размещение выключателей;
- формирование технологического задания и подключение силовых электроприемников;
- моделирование распределительных устройств (щитов), настройка их параметров, создание отходящих групп и привязка их к потребителям.

Задание

Задание выполняется на основе результатов **практического задания № 1**. Должны быть выполнены следующие этапы:

1) создан проект **Участок по ремонту электрооборудования подвижного состава (ЭПС)**;
2) настроены параметры проекта;
3) подключена архитектурная подоснова;
4) созданы этаж и помещения;
5) подключены необходимые базы данных оборудования, которое будет использоваться в проекте.

Все эти данные должны быть сохранены в проекте. Если какой-либо из этапов пропущен, необходимо вернуться к соответствующим заданиям и выполнить их.

1. **Моделирование и расчет системы освещения.**

1.1. Подготовка помещений к светотехническому расчету.

Откройте ранее созданный проект **Участок по ремонту электрооборудования подвижного состава** → откройте в **Менеджере проекта** чертеж → выберите помещение **Производственный цех** (№ 1) → откройте окно свойств помещения, перейдите на вкладку **Светотехнические свойства**. Нажмите кнопку вызова **Базы прототипов помещений** → в диалоговом окне выберите нормативный документ **СП 52.13330.2016** → категория **Помещения и сооружения объектов общепромышленного назначения** → тип помещения **21 Участки ремонта электрооборудования и приборов питания** → примените прототип (рис. 3.40).

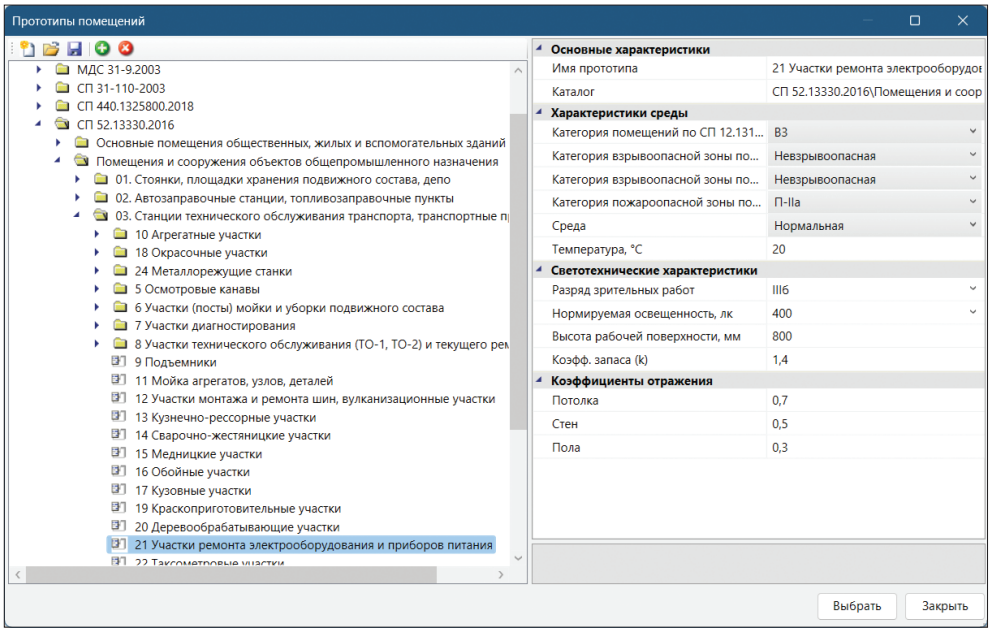


Рис. 3.40. Пример выполнения задания → **Прототипы помещений**

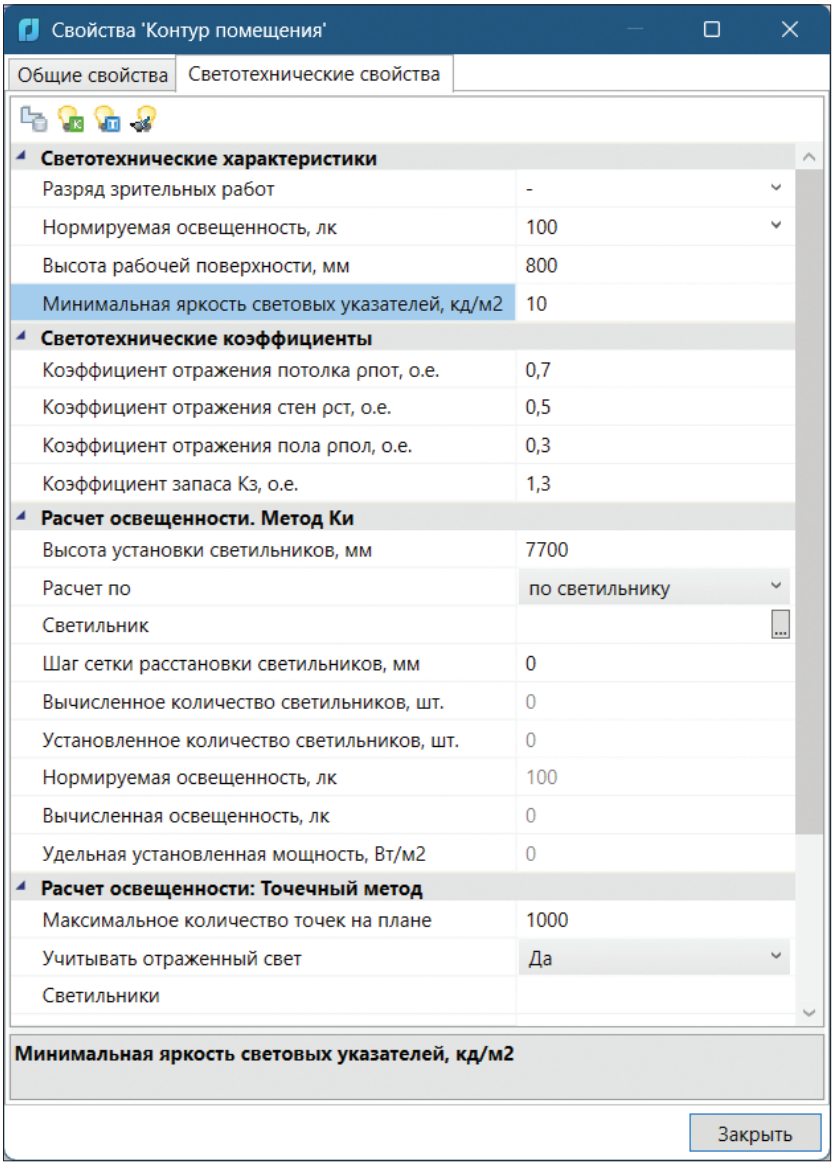


Рис. 3.40. *Окончание*

Убедитесь, что:

- нормируемая освещенность установлена **400 лк**;
- коэффициенты отражения потолка/стен/пола загружены автоматически;
- разряд зрительных работ – **IIIб**.

Аналогично выберите из **Базы прототипов помещений** прототипы для всех помещений здания в соответствии с табл. 3.8.

Таблица 3.8. Заданные прототипы помещений

№ помещения	Наименование помещения	Наименование прототипа помещений
1	Производственный цех	21 Участки ремонта электрооборудования и приборов питания
2	Склад готовой продукции	64 Склады, кладовые: металла; запчастей; ремонтного фонда; готовой продукции деталей...
3	Коридор	3 Помещения для посетителей, приемные, экспедиции...
4	Электрощитовая	28б Электропомещения. Помещения распределительных устройств... с периодическим пребыванием людей
5	Кабинет 1	1 Кабинеты и рабочие комнаты, офисы, представительства
6	Кабинет 2	
7	Кабинет 3	
8	Кабинет 4	
9	Кабинет 5	
10	Склад	64 Склады, кладовые: металла; запчастей; ремонтного фонда; готовой продукции деталей...

1.2. Расчет рабочего освещения методом коэффициента использования.

Выберите помещение **Производственный цех** (№ 1) → откройте окно свойств помещения → перейдите на вкладку **Светотехнические свойства** → в окне свойств помещения активируйте инструмент **Расчет освещенности методом коэффициента использования** → проверьте характеристики помещения → установите высоту установки светильника – 6000 мм. Нажмите кнопку **Светильник** для выбора оборудования → из **Базы данных оборудования** используйте библиотеку производителя → выберите светильник для производственных помещений (рис. 3.41).

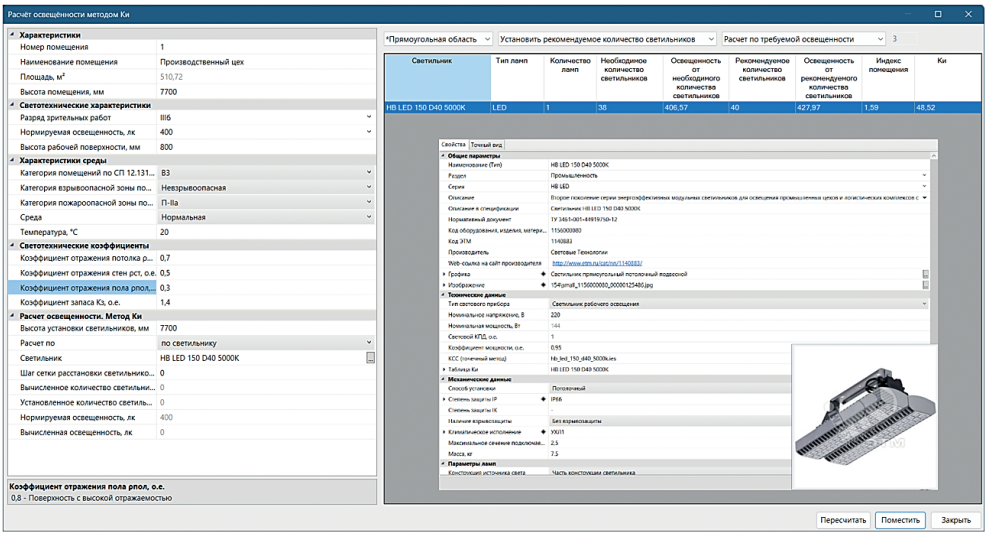


Рис. 3.41. Пример выполнения задания **Расчет освещения методом коэффициента использования**

При выборе светильника ориентируйтесь на следующие характеристики:

- **Тип:** светодиодный промышленный;
- **Мощность:** 200 Вт;
- **Световой поток:** 18 000–25 000 лм;
- **КСС:** Д (косинусная);
- **Степень защиты:** IP65;
- **Исполнение:** подвесной/потолочный.

Нажмите **Пересчитать** → выберите **рекомендуемое количество** светильников → активируйте функцию **Поместить** → выберите из **Базы УГО** светильник линейный светодиодный → выполните автоматическую расстановку светильников на плане цеха (рис. 3.42).

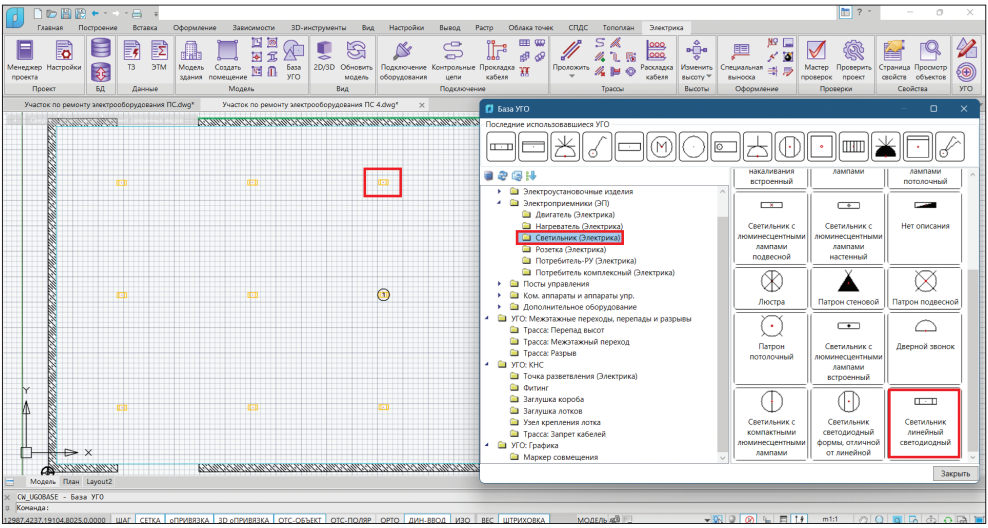


Рис. 3.42. Пример выполнения задания
Расчет освещения методом коэффициента использования

Повторите эти действия для всех помещений в соответствии с табл. 3.9.

Таблица 3.9. Заданные условия расчета освещения в помещениях объекта проектирования

№ помещения	Наименование помещения	Высота помещения, мм	Высота установки светильника, мм	Дополнительные условия
1	Производственный цех	7700	6000	Необходимо использовать современные светодиодные светильники для промышленных помещений мощностью не менее 150 Вт

Окончание табл. 3.9

№ помещения	Наименование помещения	Высота помещения, мм	Высота установки светильника, мм	Дополнительные условия
2	Склад готовой продукции	7700	6000	Необходимо использовать современные светодиодные светильники для промышленных помещений
3	Коридор	7700	6000	
4	Электрощитовая	7700	3000	
5	Кабинет 1	3000	3000	Необходимо использовать светильники для потолка типа «Армстронг» мощностью 36–50 Вт, используйте шаг сетки расстановки под размер плитки потолка
6	Кабинет 2			
7	Кабинет 3			
8	Кабинет 4			
9	Кабинет 5			
10	Склад	7700	6000	Необходимо использовать современные светодиодные светильники для промышленных помещений

1.3. Размещение выключателей освещения.

Перейдите на вкладку **База УГО** → раздел **Электроустановочные изделия** → **Выключатели** → выберите категорию **Выключатель одноклавишный для открытой установки** → в **БД оборудования** подключите библиотеку производителя, выберите модель (рис. 3.43):

- **Номинальный ток:** 10 А;
- **Напряжение:** 250 В;
- **Степень защиты:** IP20.

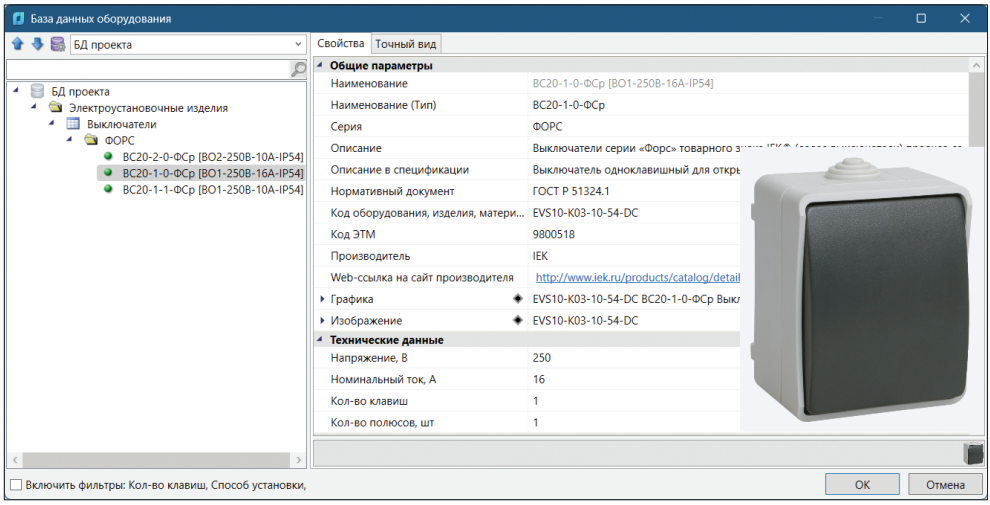


Рис. 3.43. Пример выполнения задания – выбор электроустановочных изделий **Выключатели → Выключатель двухклавишный для открытой установки**

В окне **Свойства конструктива** задайте высоту установки: **900 мм** от чистого пола, плоскость крепления – **Стена**, установите УГО выключателя во всех помещениях здания, результаты проектирования должны соответствовать рис. 3.44.

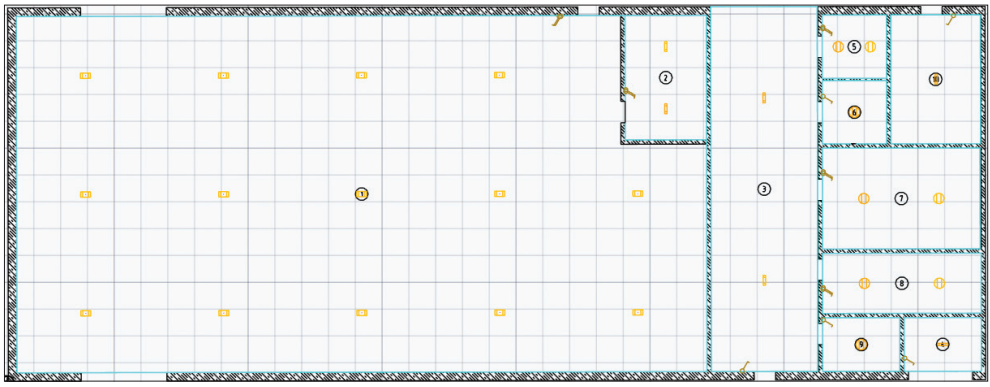
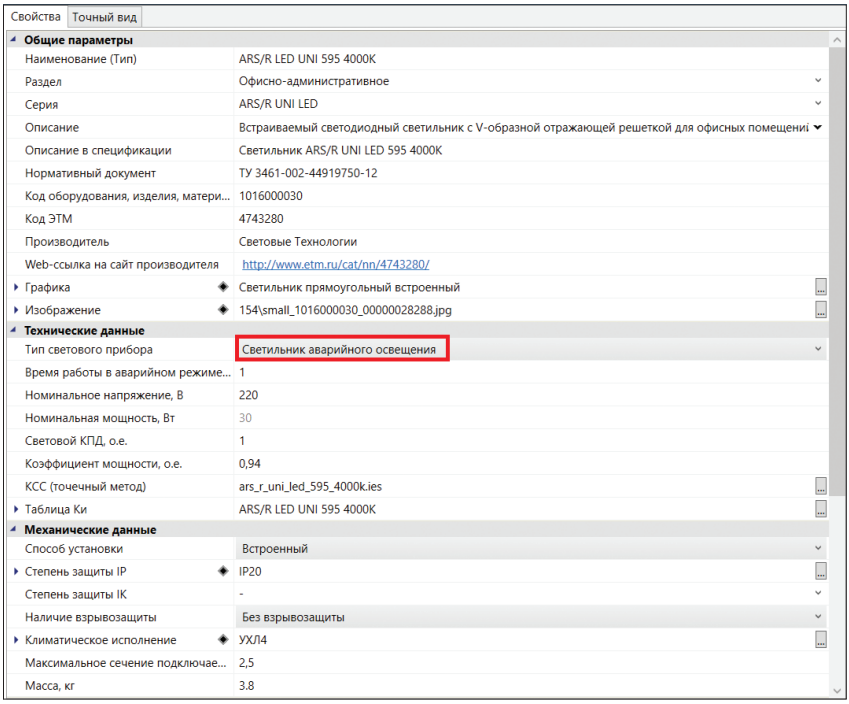


Рис. 3.44. Пример выполнения задания – размещение светильников и установка выключателей освещения в помещениях объекта проектирования

Скопируйте свойства выключателя на другие помещения (кабинеты, склад) с помощью инструмента **Копировать параметры**.

1.4. Настройка и размещение аварийного освещения.

Создайте новый слой: **ЭЛ_Аварийное_освещение**, цвет – красный → откройте план помещения **Производственный цех** → выберите светильник, который будет выполнять функцию аварийного освещения (вдоль и напротив эвакуационных проходов), измените его тип на такой же, но со встроенным аккумулятором (из БД оборудования, время работы ⩾ 1 ч) (рис. 3.45) → в свойствах размещаемого светильника измените параметр **Функциональное назначение** на **Аварийное освещение, нормально включенное** → выберите и измените тип светильников во всех помещениях → переместите их на слой **ЭЛ_Аварийное_освещение**. Результаты настройки и размещения аварийных светильников должны соответствовать рис. 3.46.



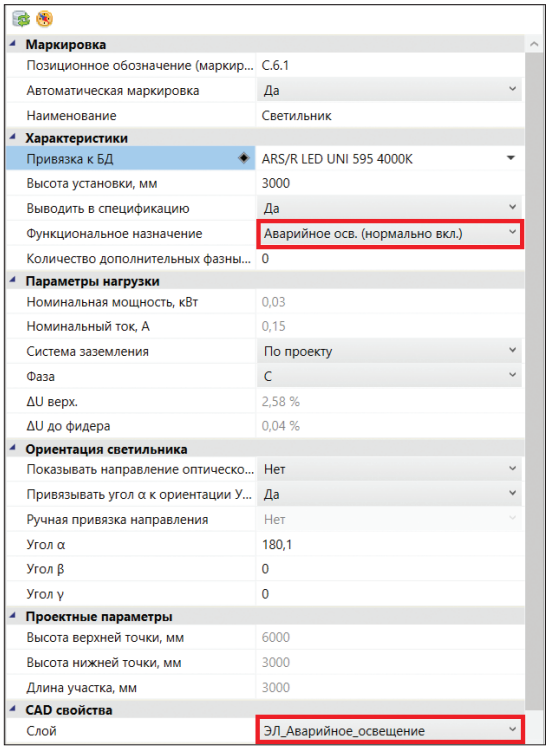


Рис. 3.45. Пример выполнения задания – настройка и размещение аварийного освещения

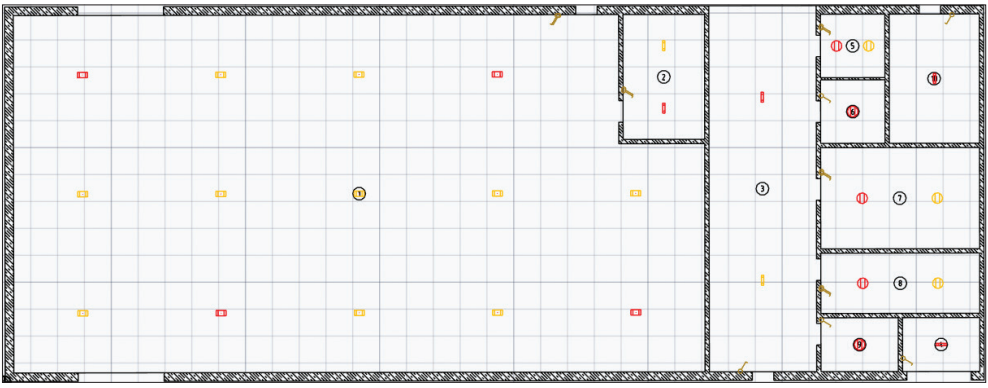


Рис. 3.46. Пример выполнения задания – настройка аварийного освещения

1.5. Проверочный расчет освещенности точечным методом.

Выделите помещение **Коридор** → на панели инструментов выберите **Расчет освещенности точечным методом** → выполните расчет → визуализируйте результат в виде **изолиний освещенности**, как показано на рис. 3.47 → добавьте изолинии на чертеж (рис. 3.48).

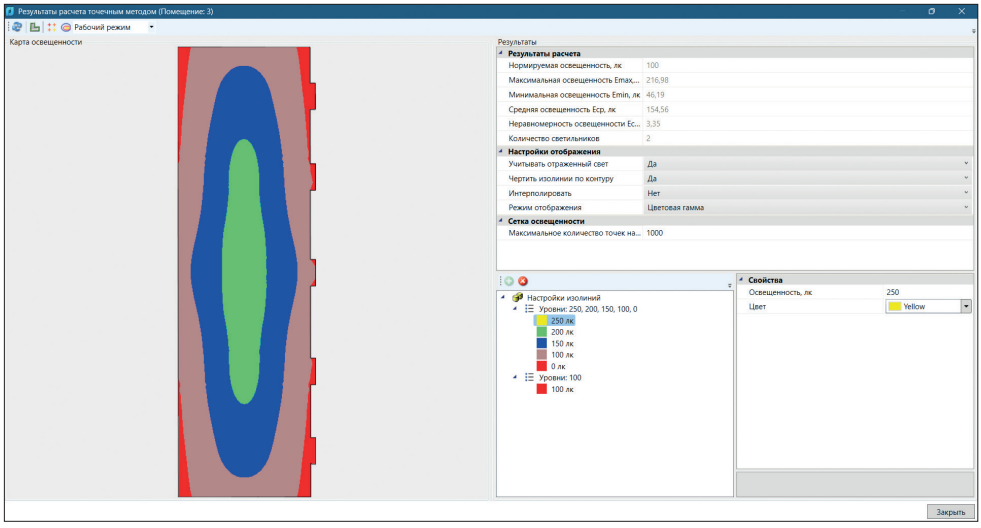


Рис. 3.47. Пример выполнения задания – расчет точечным методом

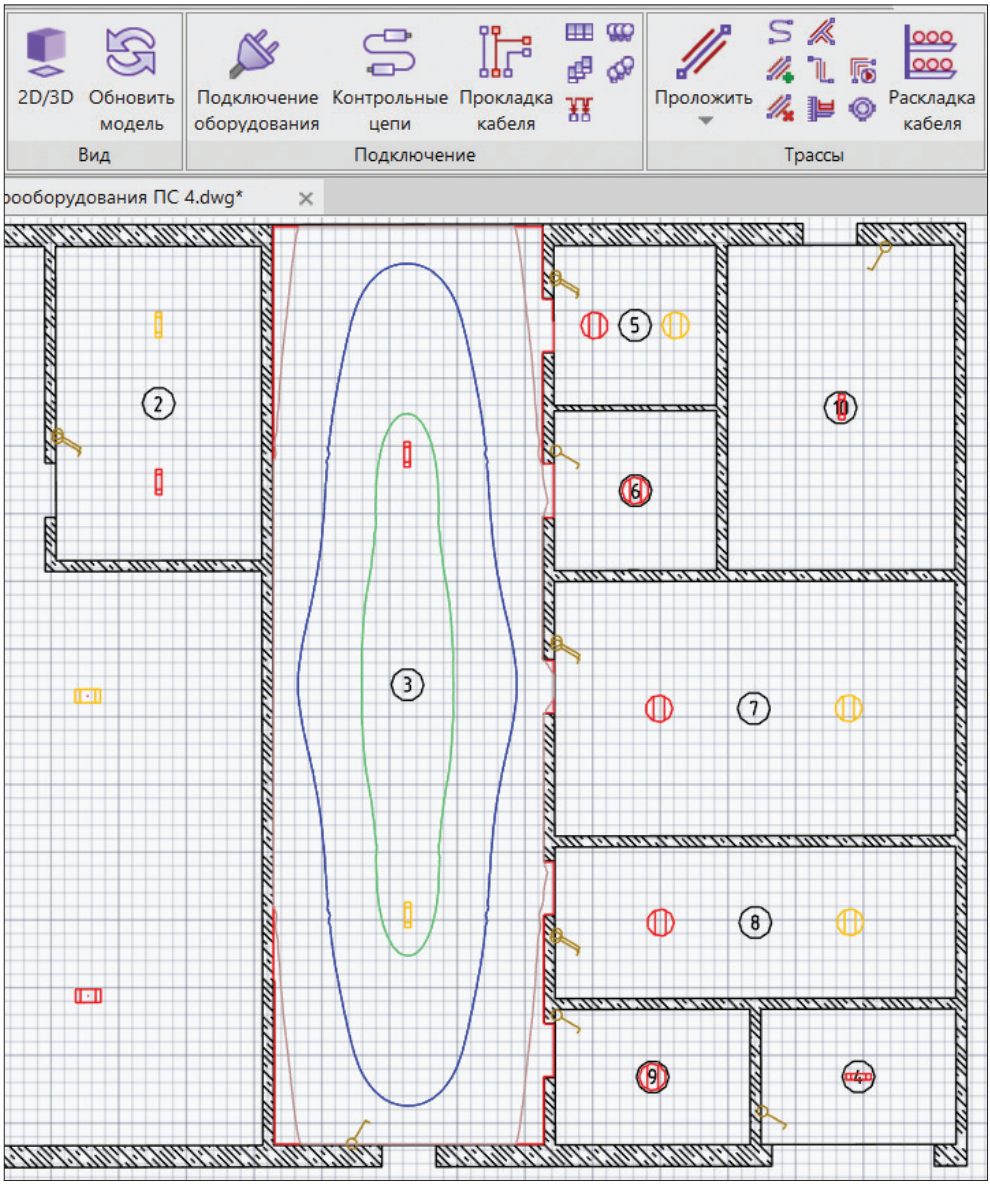


Рис. 3.48. Пример результатов расчета точечным методом на плане

2. **Проектирование розеточной сети** (рис. 3.49).

2.1. Розетки для административных помещений (кабинеты 1–5).

Перейдите в **База УГО** → раздел **Электроприемники** → **Розетки** → выберите розетку с заземлением, открытой установки, **16А, 250В, IP20** → в **Свойствах конструктива** задайте:

- **Высота установки:** 300 мм;
- **Способ задания нагрузки:** Установленной мощностью;
- **Мощность:** 500 Вт (компьютерная нагрузка);
- **cos *φ*:** 0,95.

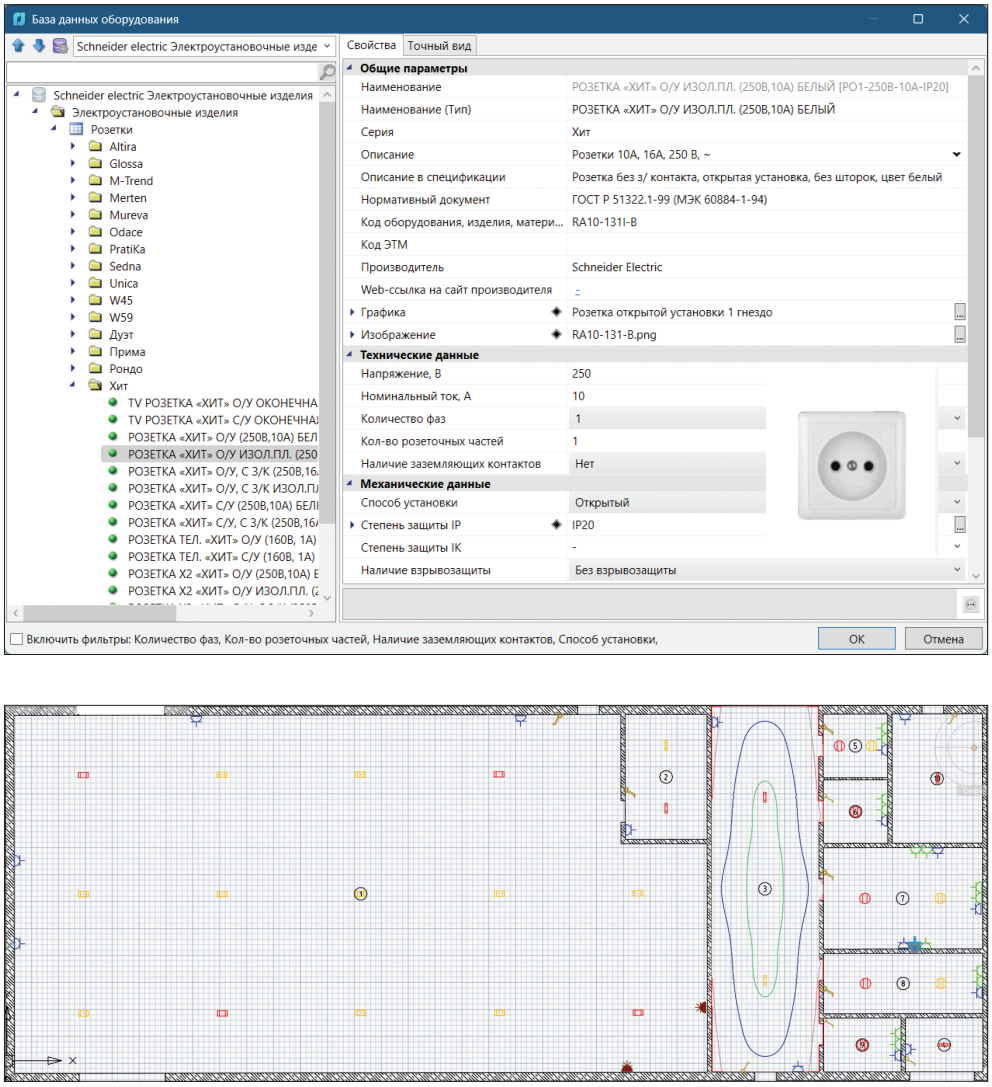


Рис. 3.49. Пример выполнения задания – проектирование розеточной сети

Разместите в каждом кабинете **3 розетки** (2 компьютерные + 1 бытовая) на одной стене → создайте слои: **ЭЛ_Розетки_Комп** (цвет зеленый) + **ЭЛ_Розетки_Быт** (цвет синий) → распределите розетки по соответствующим слоям.

2.2. Промышленные розетки для производственного цеха.

Выберите **трехфазную розетку 32А, 380В, 3P+PE+N, IP44** (навесного исполнения) → задайте высоту установки – **1200 мм** от пола → выберите способ задания нагрузки **Подключением технологического оборудования** → привяжите розетку к электроприемнику **Сварочный пост** из будущего **Технологического задания** → разместите **2 такие розетки** в зоне сварочных работ.

2.3. Однофазные розетки для вспомогательного оборудования.

Выберите **розетку 16А, 230В, IP54** (для пылевлагозащищенного исполнения) открытой установки → разместите **4 шт.** по периметру производственного цеха для подключения переносного инструмента → задайте мощность: **1000 Вт**, cos φ = 0,9.

3. **Моделирование силового оборудования и технологических электроприемников** (рис. 3.50).

*3.1. Формирование **Технологического задания**.*

На панели инструментов **Электрика** активируйте инструмент **Технологическое задание** → создайте новый перечень электроприемников для помещения **Производственный цех** → добавьте в перечень электроприемники в соответствии с табл. 3.10.

Таблица 3.10. Перечень технологического оборудования производственного цеха (участок ремонта ЭПС)

№	Наименование ЭП	Тип нагрузки	Кол-во фаз	Наличие рабочего нуля	$P_{ном}$, кВт	cos φ	Кп	Ки	Режим работы	Категория надежности	Габаритные размеры (В × Г × Ш)
1	Токарный обрабатывающий центр DMC DL8TH	Комплексный ЭП	3	Да	15	0,86	6,5	Выбрать из **Базы Ки**	Длительный	II	1570×1670×2260
2	Вертикальный фрезерный обрабатывающий центр B-Power LV-1160 12000 WP2 B-POWER	Комплексный ЭП	3	Да	22,0	0,88	6,0	0,7	Длительный	II	2750×2500×2900
3	Калибровально-шлифовальный станок scm серии sd 60	Комплексный ЭП	3	Да	11,0	0,85	5,5	0,4	Длительный	II	2200×1800×1900
4	Станок сверлильный Stalex SDI-16T	Асинхронный двигатель	3	Нет	7,5	0,82	Выбрать из **Базы Ки**	Выбрать из **Базы Ки**	Длительный	III	1000×450×800
5	Станок правильно-отрезной TOR GT4-12	Асинхронный двигатель	3	Да	5,5	0,80	4,5	0,5	Кратковременный	III	960×600×1400
6	Гидравлический пресс 5403.4PL0	Комплексный ЭП	3	Да	15,0	0,84	5,0	0,22	Периодический	II	1400×900×2100
7	Кран мостовой однобалочный опорный	Асинхронный двигатель	3	Да	4,5	0,75	Выбрать из **Базы Ки**	Выбрать из **Базы Ки**	Периодический	II	551×820×7500
8	Инвертор сварочный MIG 350 «TECH» (N258)	Нагреватель	3	Нет	14,0	–	–	0,35	Периодический	II	900×450×755
9	Агрегат окрасочный «Handok hk»	Асинхронный двигатель	3	Нет	9,0	0,83	5,5	0,8	Длительный	II	1300×780×680
10	Испытательный стенд ЭПС	Комплексный ЭП	3	Да	25,0	0,89	5,0	0,5	Длительный	I (особая группа)	1200×1300×2730

3.2. Заполнение свойств электроприемников.

Для каждого ЭП откройте карточку **Свойства ТО** → заполните обязательные поля в соответствии с табл. 3.10 → для ЭП № 1–3, 6, 10 в поле **Функциональное назначение** выберите **Рабочий (работает всегда)** → для ЭП № 10 **Испытательный стенд ЭПС** установите: категория надежности: **I (особая группа)**, коэффициент мощности, коэффициент использования и кратность пускового тока – в соответствии с табл. 3.10.

Для всех ЭП проверьте значение **Кп** → для отдельных ЭП задайте значение **Ки** через **Базу Ки** (рис. 3.50).

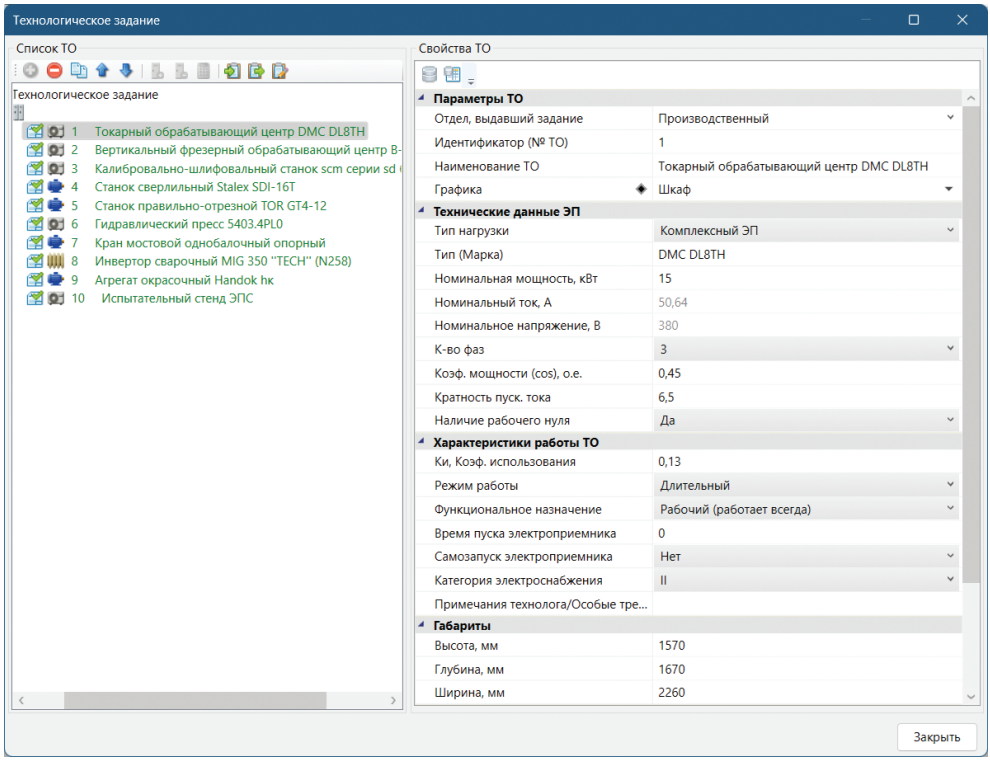


Рис. 3.50. Пример результатов заполнения свойств электроприемников

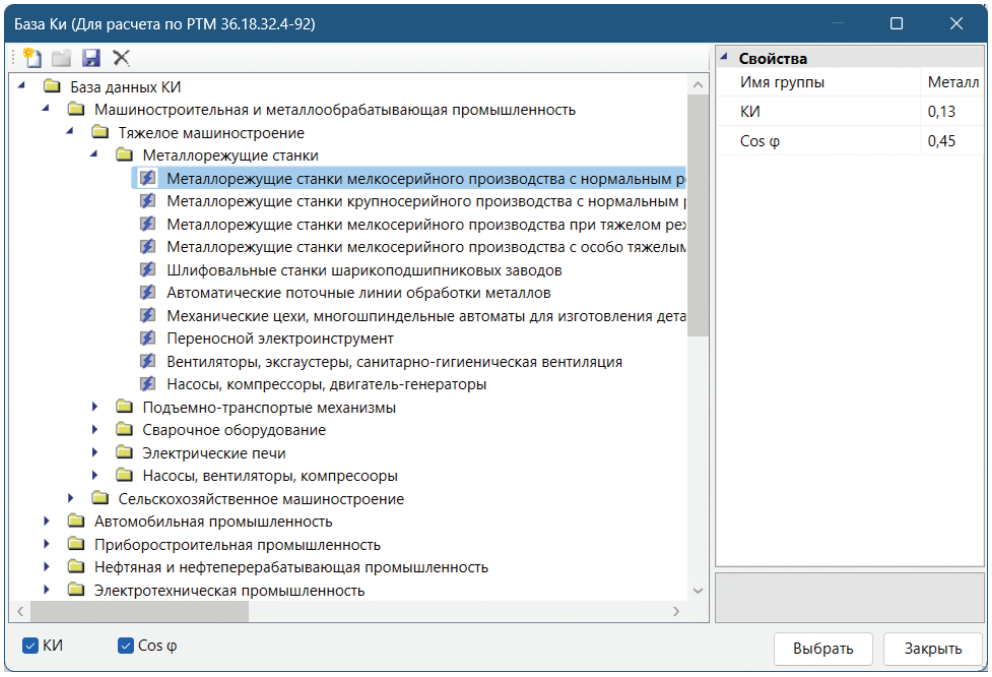


Рис. 3.50. *Окончание*

3.3. Настройка графического отображения оборудования.

Для каждого ЭП откройте карточку **Свойства ТО** → перейдите в раздел **Графика** → в списке выберите БД **Демо** → объект **Шкаф** → задайте реальные габариты каждого ЭП (по табл. 3.10). Для ЭП **Кран мостовой однобалочный опорный** задайте высоту установки **5000 мм** (подкрановые пути). Для остальных ЭП подберите корректные условные обозначения из **Базы УГО**.

3.4. Размещение оборудования на плане.

Перейдите в **База УГО** → раздел **Электроприемники** → для каждого ЭП из табл. 3.10 выберите соответствующее УГО → укажите точку вставки на плане помещения **Производственный цех** → в диалоговом окне привяжите символ к соответствующему ЭП из **Технологического задания**. В **Свойствах конструктива** проверьте высоту установки: для напольного оборудования – **0 мм**, для крана – **5000 мм**. Разместите оборудование с учетом технологических проходов (не менее 1 м), зон обслуживания, требований пожарной безопасности (рис. 3.51).

3.5. Добавление индивидуальной комплектации.

Для ЭП **Испытательный стенд ЭПС** добавьте в спецификацию **щиток управления** (модель из БД).

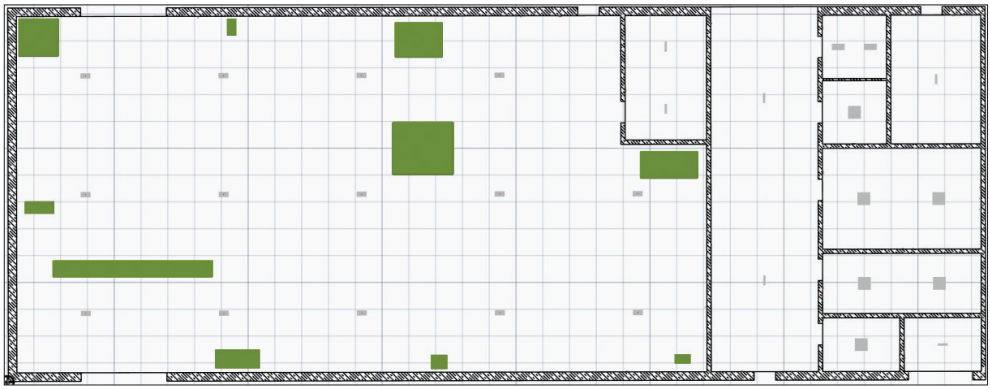


Рис. 3.51. Пример размещения технологического оборудования на плане

4. **Моделирование распределительных устройств (электрических щитов).**

4.1. Создание щита освещения (ЩО) и щита аварийного освещения (ЩАО).

Перейдите в **База УГО** → раздел **Устройства** → **Шкафы, ящики** → **Шкаф (электрика)** → выберите УГО **Щит распределительный (подстраиваемый под реальные размеры)** → укажите точку вставки на плане в помещении **Электрощитовая** → в **БД оборудования** выберите типовой ЩО, например на **24 модуля**, степень защиты **IP40** → в окне **Свойства конструктива** задайте:

- **Позиционное обозначение:** ЩО;
- **Наименование:** Щит рабочего освещения;
- **Высота установки:** 1600 мм (навесной);
- **Система заземления:** TN-S;
- **Назначение в проекте:** Групповой рабочего освещения;
- **Расписывать состав РУ в спецификации:** Да;
- **Выводить спецификацию:** Да.

Аналогично создайте щит аварийного освещения → создайте слой **ЭЛ_ШКАФЫ_Аварийное_освещ** → измените назначение щита в проекте на **Аварийного освещения** → в окне **Свойства конструктива** измените слой для аварийного освещения.

Аналогично в помещении **Электрощитовая** создаются щит для питания розеточной сети (ЩРС) и щит для питания компьютерных розеток (ЩК).

4.2. Создание силового шкафа (ШС) для питания технологического оборудования.

Перейдите в **База УГО** → раздел **Устройства** → **Шкафы, ящики** → **Шкаф (электрика)** → выберите УГО **Щит распределительный (подстраиваемый под реальные размеры)** → укажите точку вставки на плане в помещении **Производственный цех** → в **БД оборудования** выберите металлический шкаф с монтажной панелью (напольного исполнения) → в окне **Свойства конструктива** задайте:

- **Позиционное обозначение:** ШС;
- **Наименование:** Силовой шкаф технологического оборудования;
- **Высота установки:** 0 мм (напольное исполнение);
- **Система заземления:** TN-S;
- **Назначение в проекте:** Распределительный;
- **Расписывать состав РУ в спецификации:** Да;
- **Выводить спецификацию:** Да.

Аналогично в помещении **Электрощитовая** создается щит для вводного распределительного устройства (ВРУ) с изменением позиционного обозначения – ВРУ и наименования – Вводное распределительное устройство. Результаты выполнения пп. 4.1 и 4.2 должны соответствовать рис. 3.52.

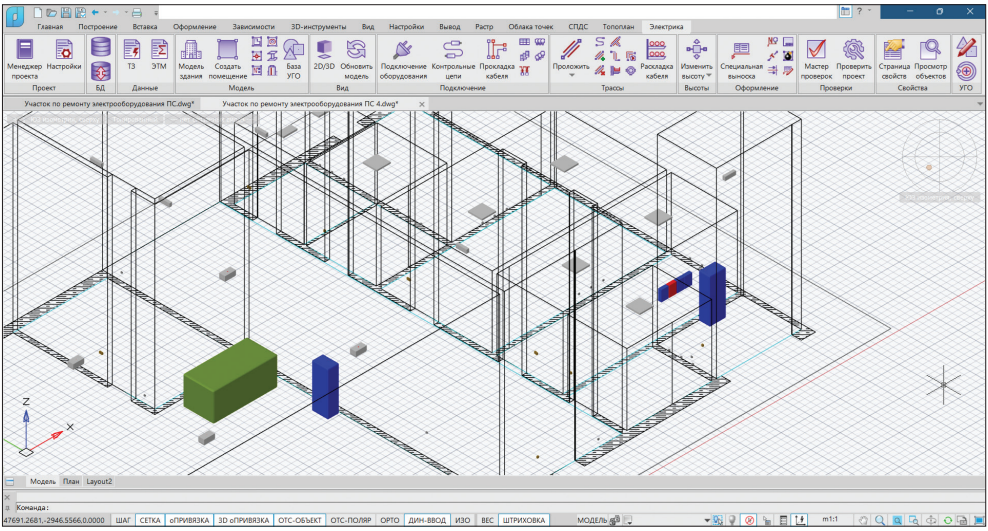


Рис. 3.52. Пример размещения распределительных щитов в помещениях объекта проектирования

4.3. Настройка источника питания для ВРУ.

Откройте окно **Свойства конструктива (ВРУ)** → в блоке **Характеристика подключения** выберите **Способ задания параметров вышестоящей сети → Трансформатор + кабели** → добавьте трансформатор из **БД оборудования**, выберите **ТМГ-250 10/0,4 кВ**, схема соединения **Δ/Yн** → добавьте две отдельные кабельные линии кабелем **ВВГнг(А)-LS**, сечением **4×70 мм²**, длина **150 м** → в поле **Ток КЗ на высокой стороне** укажите **12 кА**.

4.4. Создание фидеров (питающих линий) в щитах.

В каждом из созданных щитов нажмите кнопку **Добавить новый элемент** для создания фидеров → в каждом щите создайте не менее 10 групп (по умолчанию все питающие линии отходящие) → создайте **вводной фидер**, изменив тип фидера. В ВРУ по двум из ранее созданных групп необходимо изменить тип фидера на вводной (с маркировкой Ввод 1 и Ввод 2) и добавить секционный фидер, как показано на рис. 3.53.

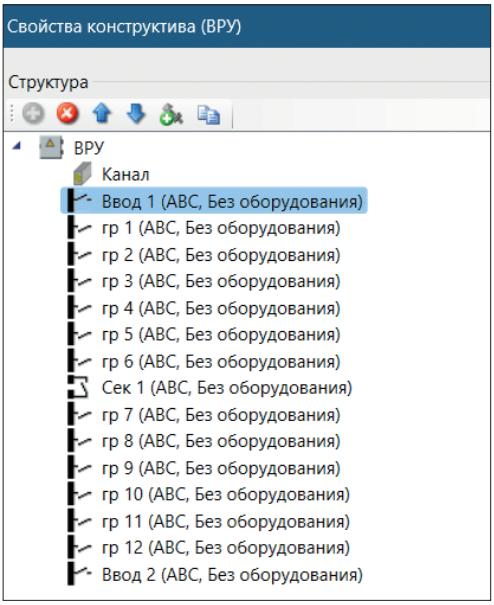


Рис. 3.53. Пример выполнения задания – структура внутреннего содержания щита

5. **Завершение работы и сохранение проекта.**

Сохраните все изменения через **Менеджер проекта** → **Сохранить все** → экспортируйте перечень электроприемников во внешний файл формата **.xml** или **.csv** (кнопка **Экспорт списка ЭП** в окне **Технологическое задание**).

Критерии правильного выполнения задания

Моделирование и расчет системы освещения:

1. Помещению «Производственный цех» назначен корректный прототип.
2. Корректно выполнен расчет освещенности с выбором промышленного светодиодного светильника.
3. Размещены выключатели с заданной высотой.
4. Создано аварийное освещение (отдельный слой, светильники с АКБ, функциональное назначение изменено).
5. Выполнен проверочный точечный расчет с построением изолиний.
6. Параметры освещения скопированы на смежные помещения.

Проектирование розеточной сети:

1. В кабинетах размещены блоки из розеток (компьютерные + бытовая) с корректными параметрами (высота, мощность, cos φ). В цехе размещены 2 трехфазные розетки.
2. Размещены 4 однофазные розетки IP54 по периметру производственного цеха.
3. Розетки распределены по слоям с разными цветами.

Моделирование силового оборудования и технологических электроприемников:

1. Технологическое задание содержит все ЭП из табл. 3.10 с полностью заполненными свойствами (тип нагрузки, мощность, cos φ, Кп, режим работы, категория надежности).
2. Для станков заданы габариты, для кран-балки задана высота установки 5000 мм.

Моделирование распределительных устройств (электрических щитов):

1. Созданы щиты: ВРУ, ШС, ЩО, ЩАО, ЩРС, ЩК с корректными позиционными обозначениями и наименованиями.
2. Для каждого щита настроены параметры.
3. В каждом щите созданы вводные и отходящие фидеры, а в ВРУ разделено на две секции.

По проекту в целом:

- все изменения сохранены;
- файл экспорта списка ЭП присутствует в папке проекта;
- оформлены скриншоты ключевых этапов (см. перечень ниже).

Задание считается **выполненным**, если обучающийся продемонстрировал комплексный подход:

- корректно рассчитал и разместил рабочее и аварийное освещение;
- выполнил проверку точечным методом;
- спроектировал розеточную сеть и разместил выключатели с полной комплектацией;
- сформировал технологическое задание на 10 электроприемников с реальными параметрами;
- точно отобразил силовое оборудование на плане с учетом габаритов и высот установки;
- создал и настроил распределительные щиты, выполнил привязку фидеров к потребителям;
- сохранил проект и экспортировал данные.

Отсутствие аварийного освещения, точечного расчета, некорректные габариты оборудования, пропуск этапа копирования свойств или отсутствие хотя бы одного из щитов являются основанием для доработки.

ГЛАВА 4

Расчет электрических нагрузок и выбор основного электрооборудования распределительной сети 0,4 кВ предприятия

§ 4.1. Общая характеристика, классификация и особенности электропотребления предприятий транспорта

В главах 2 и 3 учебного пособия приводятся практические приемы создания информационной модели системы электроснабжения предприятия средствами nanoCAD BIM Электро, как работать с базами данных оборудования и выполнять автоматизированные расчеты. Однако любой, даже самый совершенный инструмент требует от пользователя понимания предметной области. Многие проектные задачи, особенно на этапе формирования исходных данных и выбора методик расчета, не могут быть решены исключительно средствами программы – они опираются на знание особенностей конкретного объекта.

Именно поэтому, прежде чем приступить к моделированию системы электроснабжения заданного предприятия транспорта, необходимо детально разобраться с тем, как функционируют такие объекты, каков характер их нагрузок и каким образом рассчитываются определяющие параметры сети – от расчетной нагрузки до токов короткого замыкания. Материал, изложенный в данной главе, закладывает эту необходимую теоретическую основу для последующей практической работы в nanoCAD BIM Электро.

Транспорт является одной из ключевых отраслей экономики, обеспечивающей перемещение грузов и пассажиров. Для обеспечения бесперебойной работы транспортной инфраструктуры создается разветвленная инфраструктура вспомогательных предприятий, которые относят к категории предприятий транспорта [11, 12].

К предприятиям транспорта, для которых проектируются системы электроснабжения 0,4 кВ, относят прежде всего объекты инфраструктуры, такие как:

1) **предприятия железнодорожного транспорта:**
   - локомотивные и вагонные депо (ремонтные, эксплуатационные);
   - ремонтно-механические мастерские;
   - пункты технического обслуживания и ремонта локомотивов и вагонов;
   - промывочно-пропарочные станции цистерн;
   - здания и сооружения структурных подразделений;
2) **предприятия автомобильного транспорта:**
   - автотранспортные предприятия (АТП), автобусные и таксомоторные парки;
   - грузовые автохозяйства (ГАПТ);
   - гаражи и крытые стоянки (многоэтажные и подземные);
   - станции технического обслуживания (СТО), автосервисы, ремонтные мастерские;
   - мойки автотранспорта;
3) **предприятия городского электротранспорта:**
   - трамвайные депо;
   - троллейбусные парки;
   - ремонтные мастерские;
4) **объекты водного транспорта:**
   - порты, причалы, терминалы (береговые объекты инфраструктуры);
   - судоремонтные и судостроительные заводы и мастерские;
   - базы технического обслуживания;
5) **объекты воздушного транспорта:**
   - аэропорты (аэровокзалы, грузовые терминалы);
   - базы авиационно-технического обслуживания (АТБ), ангары;
   - ремонтные мастерские.

Несмотря на различия в технологических процессах, все перечисленные объекты объединяет наличие общих свойств, определяющих специфику их электроснабжения: сочетание силовой, осветительной и нагревательной нагрузок; наличие как стационарных, так и передвижных электроприемников; работа в условиях повышенной влажности, запыленности, вибрации и воздействия агрессивных сред; высокие требования к надежности для обеспечения бесперебойного электроснабжения; значительная доля электроприводов (вентиляция, насосы, компрессоры, подъемно-транспортные механизмы) [11, 54].

Системы электроснабжения транспортных предприятий имеют ряд характерных особенностей, которые необходимо учитывать на этапе проектирования. Большинство зданий и сооружений транспорта относятся к потребителям **II категории надежности**. Перерыв в их электроснабжении, допустимый на время, необходимое для включения резервного питания действиями дежурного персонала или выездной бригады, может привести к массовому недоотпуску продукции, нарушениям технологического процесса и даже графика движения.

К **I категории** надежности на предприятиях транспорта относят:

- электроприемники систем противопожарной защиты (пожарные насосы, системы дымоудаления, оповещения);
- аварийное и эвакуационное освещение;
- системы диспетчерского управления и связи, обеспечивающие безопасность движения;
- компьютерное оборудование и серверные.

Для I категории требуется питание от двух независимых взаимно резервирующих источников, а для особой группы – дополнительное питание от третьего независимого источника (дизель-генератор, аккумуляторная батарея и т. п.) [49].

Электроприемники предприятий транспорта отличаются большим разнообразием. На рис. 4.1 представлена характерная структура электрических нагрузок ремонтного депо железнодорожного транспорта.



Рис. 4.1. Примерная структура электрических нагрузок ремонтного депо железнодорожного транспорта

К основным группам электроприемников относят:

- силовое технологическое оборудование – это станки металлообрабатывающие (токарные, фрезерные, сверлильные), подъемники, прессы, стенды обкатки двигателей. Для них характерны электродвигатели с тяжелыми условиями пуска (высокое значение пускового коэффициента);
- сварочное оборудование – это трансформаторы, сварочные агрегаты (однофазные и трехфазные) с резкопеременной нагрузкой и низким коэффициентом мощности ($\cos \varphi = 0{,}3–0{,}5$);
- подъемно-транспортные механизмы – это мостовые краны, кран-балки, тельферы, работающие в повторно-кратковременном режиме (ПВ = 25–40 %);

- вентиляционные установки – это приточные и вытяжные системы, отличаются продолжительным режимом работы;
- нагревательные приборы – это электропечи (термические, нагревательные), сушильные камеры, электрические калориферы в системах воздушного отопления;
- осветительные установки – это рабочее и аварийное освещение производственных помещений, наружное освещение территории;
- электроустановочные изделия – розеточная сеть для подключения переносного инструмента, бытовых и офисных приборов.

Для объектов инфраструктуры предприятий транспорта характерны искажения формы кривой напряжения и тока, вызванные работой нелинейных нагрузок: сварочных аппаратов, преобразователей частоты для регулируемого привода, выпрямителей для зарядки аккумуляторов. Это требует применения дополнительных мероприятий при проектировании системы электроснабжения.

Кроме того, наличие резкопеременных нагрузок (сварочные аппараты, пуски мощных двигателей, например компрессора) вызывает колебания напряжения, негативно влияющие на работу осветительного оборудования и точного технологического оборудования [11, 54].

Производственные помещения транспортных предприятий часто характеризуются повышенной влажностью (мойки, окрасочные камеры, моечные отделения), запыленностью (деревообработка, металлообработка, ремонтные участки), химически активной средой (аккумуляторные, гальванические цеха), взрывоопасными зонами (окрасочные камеры, склады), пожароопасными зонами (деревообработка, склады масел и т. п.). Это диктует жесткие требования к выбору оборудования по степени защиты от внешней среды IP и категории взрывозащиты (табл. 4.1) [22, 49, 54].

Таблица 4.1. Характеристика среды производственных помещений предприятий транспорта

Тип помещения	Категория среды	Характерные электроприемники	Рекомендуемая степень защиты IP оборудования
Механический цех	Нормальная	Станки, краны	IP20–IP44
Сварочный участок	Нормальная (возможно запыление)	Сварочные аппараты, вентиляция	IP44
Окрасочная камера	Взрывоопасная	Электродвигатели вентиляторов, светильники	Ex-исполнение (взрывозащищенное)
Аккумуляторная	Химически активная	Зарядные устройства, выпрямители	IP44, кислотостойкое исполнение
Мойка	Влажная, сырая	Насосы высокого давления	IP55–IP65

Поэтому при проектировании систем электроснабжения предприятий транспорта перед инженером-проектировщиком стоят следующие основные задачи:

1) **определение расчетных электрических нагрузок** – правильный учет коэффициентов спроса, использования и одновременности для разнородных групп оборудования. Особую сложность представляет расчет нагрузок сварочного оборудования и кранов с учетом их режимов работы;
2) **выбор схемы питания** – определение количества и мощности трансформаторных подстанций, трансформаторов, схемы распределительной сети 0,4 кВ (радиальная, магистральная, смешанная), учет требований к резервированию;
3) **компенсация реактивной мощности** – из-за обилия электродвигателей и сварочных установок коэффициент мощности часто низкий (0,5–0,7), что требует монтажа конденсаторных установок и выбора оптимальной мощности устройств компенсации реактивной мощности;
4) **выбор и проверка оборудования** – подбор пускозащитной аппаратуры (автоматических выключателей, магнитных пускателей) с учетом пусковых токов, проверка кабелей на нагрев, потерю напряжения и динамическую устойчивость к токам КЗ;
5) **обеспечение безопасности** – проектирование заземления, молниезащиты, системы уравнивания потенциалов, установка устройств защитного отключения (УЗО) с учетом специфики среды;
6) **учет перспективного развития** транспортных предприятий, которые часто реконструируются и расширяются, поэтому необходимо предусматривать резерв мощности и места для установки дополнительного оборудования [11, 54].

При работе в nanoCAD BIM Электро необходимо учитывать особенности проектирования систем электроснабжения для предприятий транспорта, а именно:

- для групповых характеристик, задаваемых в настройках проекта, должны быть выбраны или созданы категории, соответствующие типам оборудования (например, Сварочное оборудование, Крановое оборудование) с заданием соответствующих коэффициентов спроса (Кс);
- в свойствах электроприемников обязательно следует указывать режим работы (Длительный, Кратковременный) и для двигателей – кратность пускового тока (Кп);
- для помещений с особыми условиями среды (Влажные, Пыльные, Взрывоопасные) в свойствах помещений необходимо задавать соответствующие категории, что позволит в дальнейшем автоматически проверять правильность выбора оборудования по степени защиты [40, 52].

Необходимо понимать, что проектирование системы электроснабжения для предприятий транспорта требует комплексного учета множества факторов, от классификации и режимов работы оборудования до условий среды и требований к надежности. Применение BIM-технологий в nanoCAD BIM Электро позволяет автоматизировать расчеты и проверки, но требует от проектировщика глубокого понимания специфики эксплуатации объекта на этапе формирования исходных данных и настройки модели.

Контрольные вопросы к § 4.1

1. Перечислите основные виды предприятий транспорта, для которых проектируются системы электроснабжения 0,4 кВ.
2. К какой категории надежности электроснабжения относится большинство производственных объектов транспорта (депо, мастерские, гаражи)?
3. Какие электроприемники на предприятиях транспорта относятся к I категории надежности?
4. Опишите характерные особенности сварочного оборудования как электроприемника. Как эти особенности влияют на проектирование сети?
5. Какие требования к качеству электроэнергии наиболее актуальны для транспортных предприятий и почему?
6. Какие факторы окружающей среды в производственных помещениях транспорта влияют на выбор электрооборудования по степени защиты (*IP*) и категории взрывозащиты?
7. Перечислите основные группы электроприемников, характерные для ремонтного депо или автотранспортного предприятия.
8. Какие задачи стоят перед проектировщиком при выборе схемы питания распределительной сети 0,4 кВ для транспортного объекта?
9. Какие особенности необходимо учитывать при настройке групповых характеристик в nanoCAD BIM Электро для транспортных объектов (на примере сварочного или кранового оборудования)?
10. С какой целью на транспортных предприятиях требуется компенсация реактивной мощности и какие устройства для этого применяются?

§ 4.2. Основные методы расчета электрических нагрузок предприятий транспорта

Рассмотрим основные методы определения электрических нагрузок промышленных предприятий и объектов инфраструктуры транспорта. Электрические нагрузки являются исходными данными для решения всего комплекса задач проектирования систем электроснабжения – выбора трансформаторов, сечений проводников, аппаратов защиты, компенсирующих устройств, определения потерь электроэнергии. Правильное определение расчетных нагрузок имеет решающее значение для технико-экономических показателей проекта.

Расчетная нагрузка – это такое условное неизменное значение мощности, которое эквивалентно реальной, изменяющейся во времени нагрузке по наибольшему возможному тепловому воздействию на элемент системы электроснабжения (проводник, аппарат, трансформатор).

Необходимо понимать, что расчетная максимальная мощность, потребляемая электроприемниками, всегда меньше суммы их номинальных мощностей. Это объясняется следующими факторами:

- неполной загрузкой электроприемников;
- неодновременностью их работы;
- случайным характером включений и отключений, зависящих от технологического процесса.

Точность определения расчетных нагрузок имеет принципиальное технико-экономическое значение, ошибка в сторону завышения ведет к необоснованному удорожанию строительства, перерасходу материалов, завышению мощности трансформаторных подстанций и сечений кабельных линий. Ошибка в сторону занижения снижает пропускную способность сети, увеличивает потери мощности, вызывает перегрев токоведущих частей и изоляции, что сокращает срок службы электрооборудования и может стать причиной возникновения аварийных режимов [49, 52, 54].

В проектной практике применяются различные методы определения электрических нагрузок, которые подразделяются на **основные** и **вспомогательные (приближенные)**, табл. 4.2.

Таблица 4.2. Классификация методов расчета электрических нагрузок

Категория	Название метода	Область применения	Точность
Основные	Метод коэффициента расчетной мощности (по РТМ 36.18.32.4-92)	Расчет внутрицеховых сетей до 1 кВ при известных мощностях и режимах работы ЭП	Наиболее точный
	Метод коэффициента спроса	Расчет общезаводских нагрузок, осветительных нагрузок, предварительные расчеты	Менее точный, эмпирический
Вспомогательные	Метод удельной нагрузки на единицу производственной площади	Предварительные расчеты, типовые цеха	Приближенный
	Метод удельного расхода электроэнергии на единицу продукции	Предварительные расчеты при известном объеме производства	Приближенный
	Метод технологического графика	Специфические установки с известным циклом работы	Специализированный

При проектировании, как правило, расчет ведут от низших уровней системы к высшим, т. е. от отдельных электроприемников к групповым распределительным щитам, пунктам, от них – к ВРУ или цеховым трансформаторным подстанциям, затем – до головных распределительных устройств предприятия [3, 31].

Метод коэффициента расчетной мощности является основным при проектировании внутрицеховых сетей промышленных и транспортных предприятий напряжением до 1000 В. Данный метод регламентирован **РТМ 36.18.32.4-92 «Указания по расчету электрических нагрузок»** (разработан ВНИПИ Тяжпромэлектропроект) и широко используется в современной проектной практике.

Метод коэффициента расчетной мощности основан на определении максимальной расчетной нагрузки группы электроприемников через среднюю нагрузку и **коэффициент расчетной мощности** K_p, который зависит от

эффективного числа электроприемников $n_э$, группового коэффициента использования $K_и$, а также от постоянной времени нагрева сети T_0.

Расчетная максимальная активная мощность определяется по формуле:

$$P_р = K_р \cdot K_и \cdot \Sigma P_{ном}, \quad (4.1)$$

где $K_р$ – коэффициент расчетной мощности (принимается по таблицам РТМ 36.18.32.4-92 в зависимости от $n_э$, $K_и$ и T_0);

$K_и$ – групповой коэффициент использования;

$\Sigma P_{ном}$ – суммарная номинальная мощность группы электроприемников, кВт [52].

На рис. 4.2 представлен порядок расчета методом коэффициента расчетной мощности.



Рис. 4.2. Порядок расчета методом коэффициента расчетной мощности

Порядок расчета включает следующие этапы:

1) **распределение электроприемников по группам.** Все электроприемники предприятия или цеха распределяются на характерные группы с одинаковыми коэффициентами использования $K_и$ и коэффициентами мощности cos φ (например, металлорежущие станки, вентиляторы, краны, сварочные аппараты). Резервные электроприемники в расчете не учитываются, а номинальные мощности электроприемников (ЭП) с повторно-кратковременным режимом работы не приводятся к длительному режиму (ПВ = 100 %);
2) **определение номинальных мощностей.** Для каждой группы фиксируется номинальная активная мощность $\Sigma P_{ном}$ – сумма номинальных мощностей всех ЭП в группе;
3) **определение группового коэффициента использования $K_и$.** Групповой коэффициент использования рассчитывается как средневзвешенное значение коэффициентов использования отдельных ЭП:

$$K_и = \Sigma(k_{и,i} \cdot P_{ном,i}) / \Sigma P_{ном,i}, \quad (4.2)$$

где $k_{и,i}$ – коэффициент использования i-го ЭП;

$P_{ном,i}$ – номинальная мощность ЭП;

4) **определение эффективного числа электроприемников $n_э$**. Эффективное (приведенное) число – это такое число однородных по режиму работы ЭП одинаковой мощности, которое обусловливает те же значения расчетной нагрузки, что и реальная группа различных по мощности и режиму ЭП. В общем случае $n_э$ определяется по формуле:

$$n_э = (\Sigma P_{ном})^2 / \Sigma(P_{ном}{}^2). \quad (4.3)$$

Если в группе все ЭП имеют одинаковую номинальную мощность, то $n_э = n$, где n – количество ЭП в группе;

5) **определение постоянной времени нагрева сети T_0.** Значение T_0 принимается в зависимости от уровня сети:
   - 10 мин – для сетей напряжением до 1 кВ, питающих распределительные шинопроводы, пункты, сборки, щиты;
   - 2,5 ч – для магистральных шинопроводов и цеховых трансформаторов;
   - ⩾ 30 мин – для кабелей напряжением 6 кВ и выше, питающих цеховые трансформаторные подстанции и распределительные устройства;

6) **определение коэффициента расчетной мощности $K_р$**. По найденным значениям $n_э$, $K_и$ и T_0 из таблиц РТМ 36.18.32.4-92 определяется коэффициент расчетной мощности $K_р$. Значения $K_р$ тем больше, чем меньше $n_э$ и $K_и$;

7) **расчет активной расчетной мощности $P_р$**:

$$P_р = K_р \cdot K_и \cdot \Sigma P_{ном}; \quad (4.4)$$

8) **расчет реактивной расчетной мощности $Q_р$**:
   - при $n_э \leqslant 10$: $Q_р = 1{,}1 \cdot K_и \cdot \Sigma P_{ном} \cdot \operatorname{tg} \varphi$; (4.5)
   - при $n_э > 10$: $Q_р = K_и \cdot \Sigma P_{ном} \cdot \operatorname{tg} \varphi$; (4.6)

9) **расчет полной расчетной мощности $S_р$**:

$$S_р = \sqrt{(P_р{}^2 + Q_р{}^2)}; \quad (4.7)$$

10) **расчет расчетного тока $I_р$**:

$$I_р = S_р / (\sqrt{3} \cdot U_{ном}), \quad (4.8)$$

где $U_{ном}$ – номинальное линейное напряжение сети (0,4 кВ) [35, 52].

Преимущества метода коэффициента расчетной мощности:

- наибольшая точность среди инженерных методов расчета;
- учитывает реальный режим работы оборудования (коэффициент использования) и разнородность мощностей (через $n_э$);
- учитывает тепловую инерцию сети (постоянная времени нагрева T_0);
- позволяет оценить не только максимальную, но и среднюю нагрузку;
- является основой для автоматизированного расчета в САПР.

Недостатки метода коэффициента расчетной мощности:

- трудоемкость ручного расчета, особенно при большом количестве разнотипных ЭП;
- необходимость наличия обширной справочной информации (K_u, cos φ для различных типов ЭП);
- при использовании в САПР требуется точная аппроксимация табличных зависимостей.

Метод коэффициента спроса является менее точным, но более простым способом определения расчетных нагрузок. Расчетная нагрузка определяется путем умножения суммарной установленной (номинальной) мощности группы ЭП на **коэффициент спроса K_c**:

$$P_p = K_c \cdot \Sigma P_{ном}. \quad (4.9)$$

Коэффициент спроса представляет собой эмпирическую величину, обобщающую опыт эксплуатации аналогичных объектов. Он учитывает как коэффициент использования, так и коэффициент одновременности работы ЭП, а также возможную неравномерность загрузки. Метод коэффициента спроса делает грубое допущение о постоянстве K_c независимо от числа ЭП в группе, что приводит к значительным погрешностям при малом количестве электроприемников. Метод коэффициента спроса рекомендуется применять:

- для предварительных расчетов нагрузок на начальных стадиях проектирования;
- для определения общепроизводственных нагрузок (на уровне головных распределительных пунктов и трансформаторных подстанций);
- для расчета осветительных нагрузок (поскольку осветительные установки имеют достаточно стабильные графики работы);
- для расчета нагрузок небольших объектов, где отсутствует подробная информация о режимах работы отдельных ЭП.

Порядок расчета методом коэффициента спроса включает следующие этапы:

1. Для каждого характерного технологического узла (цеха, производства) по справочным таблицам определяются коэффициенты спроса K_c и cos φ. Примеры значений K_c для различных производств представлены в табл. 4.3.

Таблица 4.3. Коэффициенты спроса и мощности для некоторых производств предприятий транспорта (фрагмент)

Наименование потребителей	Коэффициент спроса K_c	cos φ
Депо (пожарное, железнодорожное)	0,30–0,40	0,60–0,80
Гаражи автомашин	0,20–0,30	0,70
Крановое оборудование, подъемники	0,20–0,30	0,50–0,70
Электросварка	0,60	0,35
Компрессорные станции	0,60–0,70	0,80

Окончание табл. 4.3

Наименование потребителей	Коэффициент спроса K_c	cos φ
Вентиляторы	0,60–0,70	0,80
Насосы	0,60–0,70	0,80
Механосборочные цеха	0,20–0,30	0,60–0,80
Столярные, модельные цеха	0,20–0,30	0,60–0,80

2. Определяется расчетная активная нагрузка:

$$P_p = K_c \cdot \Sigma P_{ном}. \quad (4.10)$$

3. Определяется расчетная реактивная нагрузка:

$$Q_p = P_p \cdot tg\,\varphi. \quad (4.11)$$

4. Определяется полная нагрузка:

$$S_P = \sqrt{(P_P^2 + Q_P^2)}.$$

Преимущества метода коэффициента спроса:

- простота и быстрота расчета;
- не требует детальной информации о режимах работы каждого ЭП;
- удобен для укрупненных расчетов и сводных ведомостей нагрузок.

Недостатки метода коэффициента спроса:

- не учитывает зависимость нагрузки от числа ЭП в группе;
- дает значительные погрешности (до 20–40 %) при малом количестве приемников или наличии крупных ЭП;
- не позволяет оценить среднюю нагрузку, необходимую для расчета потерь электроэнергии;
- является приблизительным методом, пригодным для оценки порядка величины нагрузки.

Метод удельной нагрузки на единицу производственной площади применяется для предварительных расчетов нагрузок цехов с равномерно распределенным по площади оборудованием (например, механосборочные цеха). Расчетная нагрузка определяется по формуле:

$$P_p = P_{уд} \cdot F, \quad (4.12)$$

где $P_{уд}$ – удельная расчетная мощность на 1 м² площади (кВт/м²);

F – площадь помещения или цеха (м²).

Метод удельного расхода электроэнергии на единицу продукции используется, когда известны объем производства и нормы расхода электроэнергии на единицу продукции. Расчетная нагрузка определяется по формуле:

$$P_p = (W_{уд} \cdot M) / T_м, \quad (4.13)$$

где $W_{уд}$ – удельный расход электроэнергии на единицу продукции (кВт·ч/ед.); M – годовой объем производства (ед.); $T_м$ – годовое число часов использования максимума нагрузки (ч) [52, 54].

При работе в nanoCAD BIM Электро необходимо понимать, какие методы расчета реализованы в программе и как они соотносятся с рассмотренными теоретическими подходами.

1. В модуле BIM Электро для автоматического расчета нагрузок используется **метод коэффициента расчетной мощности**, регламентированный **РТМ 36.18.32.4-92** (для промышленных и транспортных объектов). Для гражданских зданий применяется методика **СП 256.1325800.2016**. При создании групповых характеристик (см. § 2.1) задаются коэффициенты использования Ки и указываются категории электроприемников, что позволяет корректно выполнять расчет нагрузок в соответствии с выбранной нормативной базой.
2. **Коэффициент спроса** в программе может задаваться как постоянная величина для групповых характеристик, это позволяет применять метод Кс для упрощенных расчетов или для тех категорий нагрузок, где этот метод рекомендован нормативной документацией.
3. **Табличные данные** Ки, cos φ для различных типов электроприемников хранятся во встроенной **Базе Ки**, раздел **Технологическое задание**, что ускоряет процесс заполнения свойств оборудования и повышает точность расчетов (рис. 4.3) [40, 52, 57].

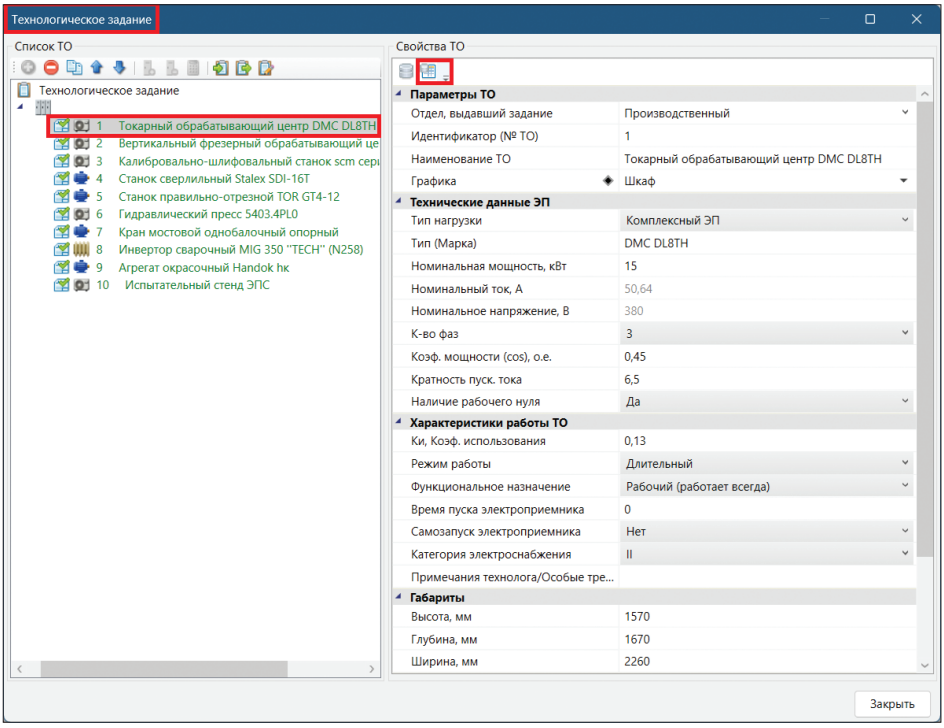


Рис. 4.3. Окно **Технологическое задание** → **База Ки** для расчета по РТМ 36.18.32.4-92

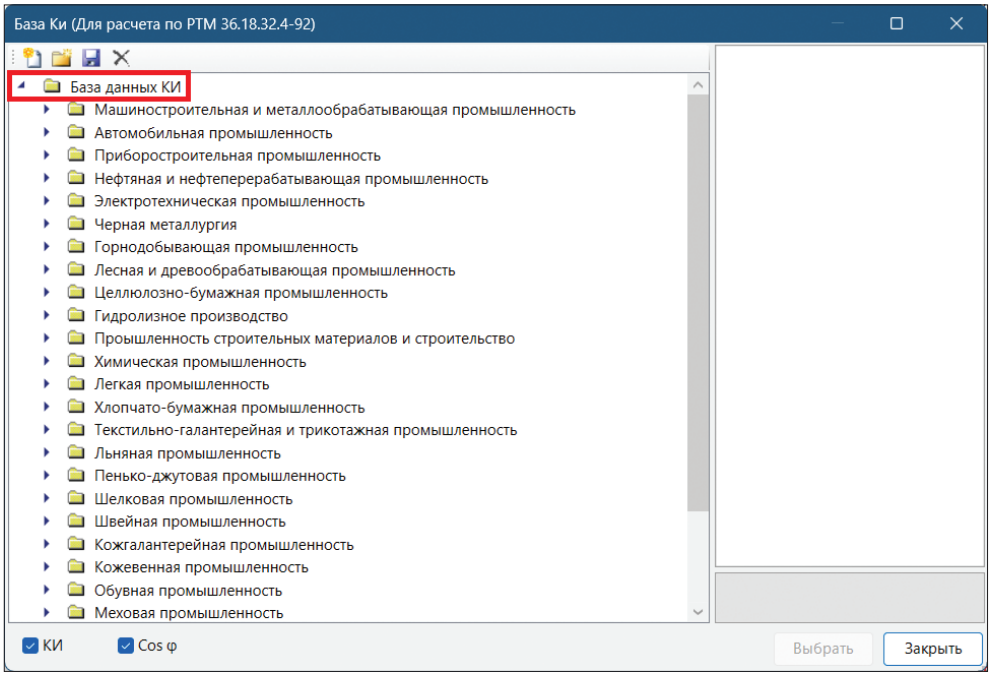


Рис. 4.3. *Окончание*

При моделировании систем электроснабжения предприятий транспорта в nanoCAD BIM Электро следует использовать значения коэффициентов для корректной настройки параметров расчета. После размещения всех электроприемников, распределительных щитов и задания их свойств программа автоматически выполняет расчет нагрузок. Для просмотра результатов необходимо перейти в раздел **Технологическое задание**, выбрать **Расчет электрической нагрузки** (рис. 4.4) → в результате программа формирует отчет по расчетам электрических нагрузок (Форма Ф636-92) (рис. 4.5).

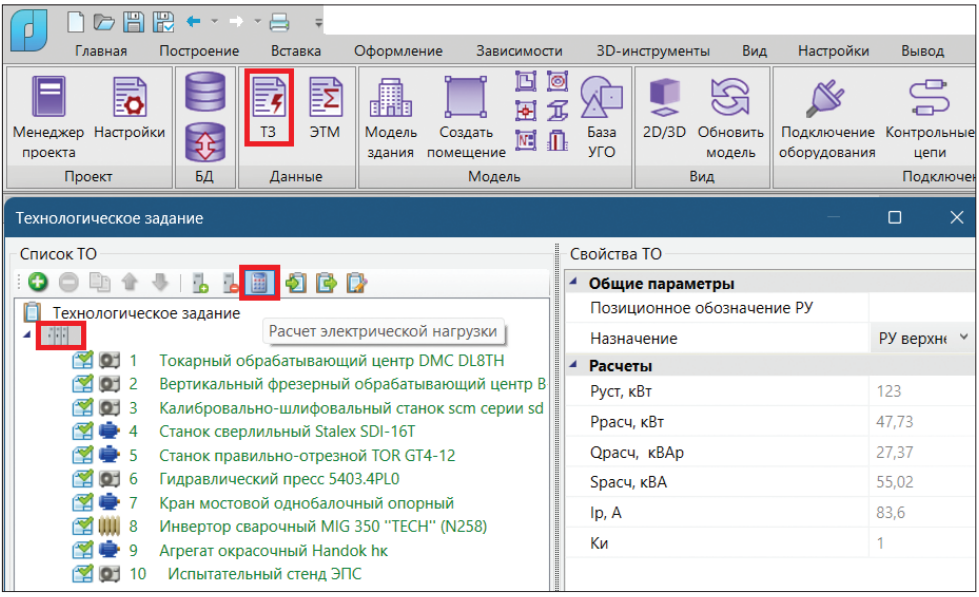


Рис. 4.4. Расчет электрических нагрузок в nanoCAD BIM Электро

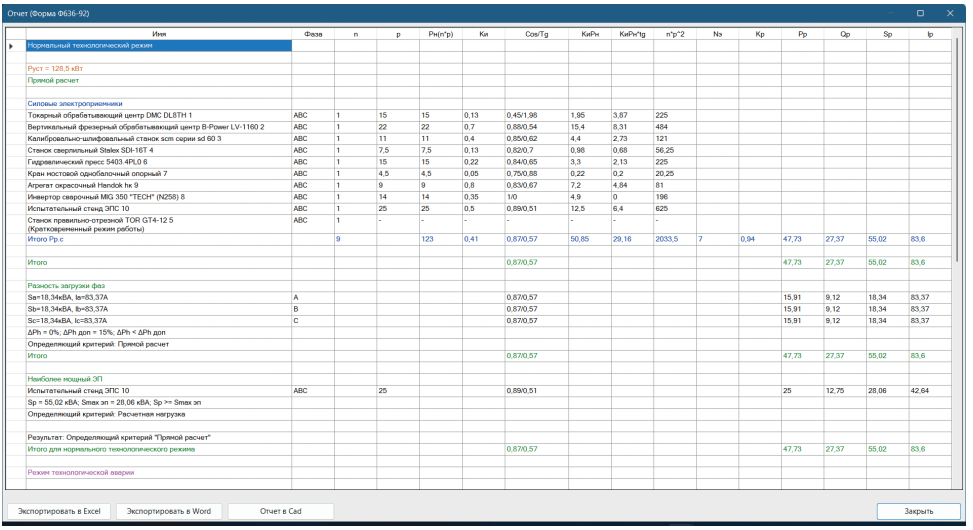


Рис. 4.5. Результаты расчета электрических нагрузок в nanoCAD BIM Электро
Отчет (Форма Ф636-92)

В отчете отображаются данные, необходимые для выбора трансформатора:

- расчетная активная мощность P_p, кВт (по группам и суммарная);
- расчетная реактивная мощность 0_p, квар;
- расчетная полная мощность S_p, кВА;
- коэффициент мощности cos φ;
- расчетный ток I_p, А.

Контрольные вопросы к § 4.2

1. Что понимается под расчетной электрической нагрузкой и для решения каких проектных задач она необходима?
2. Почему расчетная мощность всегда меньше суммы номинальных мощностей электроприемников?
3. К каким последствиям приводят завышение и занижение расчетных нагрузок при проектировании?
4. По каким признакам классифицируются методы расчета электрических нагрузок? Перечислите основные и вспомогательные методы.
5. В чем заключается сущность метода коэффициента расчетной мощности (по РТМ 36.18.32.4-92)?
6. Что такое эффективное число электроприемников ($n_э$) и для чего его определяют?
7. Как учитывается постоянная времени нагрева сети T_0 в расчете? Какие значения T_0 принимаются для различных элементов сети?
8. Опишите последовательность расчета электрических нагрузок методом коэффициента расчетной мощности (не менее пяти шагов).
9. В чем сущность метода коэффициента спроса и какова область его применения?
10. Каким образом реализованы рассмотренные методы расчета в программном комплексе nanoCAD BIM Электро?

§ 4.3. Настройка параметров вышестоящей сети в nanoCAD BIM Электро

При моделировании системы электроснабжения в nanoCAD BIM Электро для корректного расчета токов короткого замыкания (КЗ) и потерь напряжения необходимо задать параметры **вышестоящей сети**, то есть той части системы, которая находится до вводного распределительного устройства (ВРУ) проектируемого объекта. К этим параметрам относятся:

- сопротивление питающей системы (активное и индуктивное) – определяет величину тока КЗ на шинах 0,4 кВ;
- ток короткого замыкания на стороне высокого напряжения (6, 10, 35 кВ) трансформатора – исходная точка для расчета;
- потери напряжения в питающей линии (с учетом других потребителей, подключенных к той же трансформаторной подстанции);
- тип и диапазон регулирования напряжения трансформатора (ПБВ, РПН).

Без корректного задания этих параметров результаты расчета токов КЗ и потерь напряжения могут иметь значительную погрешность, что приведет к неправильному выбору аппаратов защиты и сечений кабелей [40, 49].

В программе предусмотрено два способа задания параметров вышестоящей сети:

1) **Трансформатор + кабели** – наиболее практичный вариант. Пользователь последовательно выбирает из базы данных:
   - тип и мощность силового трансформатора (например, ТМГ-400/10/0,4);
   - схему соединения обмоток (Δ/Yн);
   - параметры питающей кабельной линии (марка, сечение, длина, количество параллельных кабелей).

По этим данным программа автоматически рассчитывает реактивное сопротивление системы (рис. 4.6).

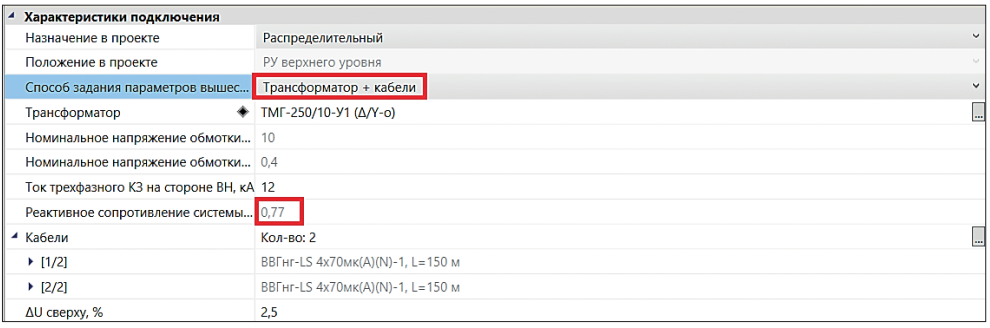


Рис. 4.6. Фрагмент окна выбора параметров вышестоящей сети **Трансформатор + кабели**

2) **Сопротивления** – пользователь вручную вводит эквивалентные сопротивления прямой, обратной и нулевой последовательности до точки ввода. Этот способ применяется редко из-за сложности получения точных данных, но может быть использован, когда параметры трансформатора и кабеля неизвестны, а известны лишь суммарные сопротивления (например, из технических условий сетевой организации) (рис. 4.7).

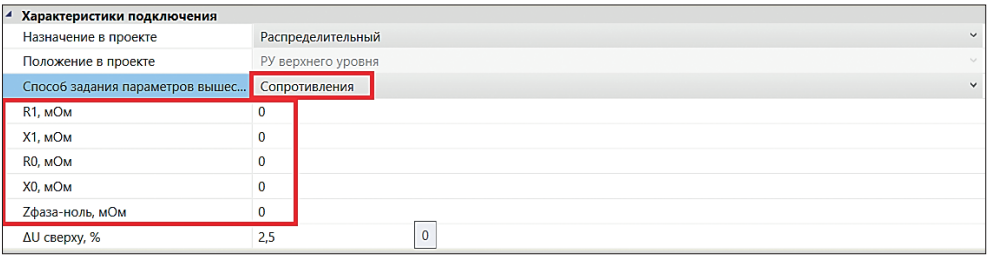


Рис. 4.7. Фрагмент окна выбора параметров вышестоящей сети **Сопротивления**

При выборе параметров вышестоящей сети **Трансформатор + кабели** для расчета токов КЗ на стороне 0,4 кВ необходимо знать ток трехфазного КЗ на шинах высокого напряжения питающей подстанции (рис. 4.8) [40].

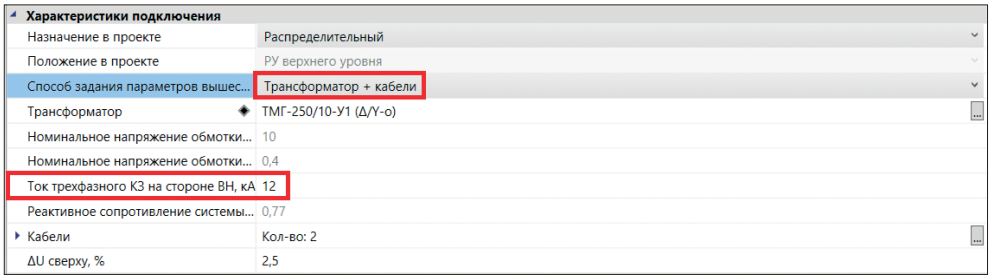


Рис. 4.8. Фрагмент окна настройки тока трехфазного КЗ на стороне ВН

Этот параметр определяется следующими способами:

1) **запрос данных у сетевой компании.** Наиболее точный способ, при выдаче технических условий на присоединение энергоснабжающая организация обязана указать ожидаемый ток КЗ на границе балансовой принадлежности;
2) **оценка по коммутационной способности выключателей на стороне ВН.** Если точное значение неизвестно, можно ориентироваться на параметры установленных на подстанции выключателей, например если на вводе установлен выключатель с отключающей способностью 12 кА, то ток КЗ на шинах ВН не может превышать этого значения;
3) **принятие упрощающих допущений.** В учебных и предварительных расчетах часто используют стандартизированные значения: для мощных энергосистем (районные подстанции) значение ожидаемого тока короткого замыкания принимают равным 8–12 кА, для тупиковых подстанций – 3–6 кА.

При выборе способа задания этих параметров важно учитывать удаленность объекта от источника питания, для этого пользуются допущениями, как указано в табл. 4.4.

Таблица 4.4. Условия выбора способа настройки параметров вышестоящей сети в nanoCAD BIM Электро

Условие	Характеристика	Как моделируется в программе
Объект находится в непосредственной близости от источника (например, в пределах одной подстанции)	Сопротивление системы минимально, ток КЗ максимален	Принимается режим «питание от шин бесконечной мощности» (сопротивление системы = 0)
Трансформаторная подстанция удалена на значительное расстояние (более 1–2 км)	Сопротивление кабеля (или воздушной линии) соизмеримо с сопротивлением трансформатора, ток КЗ снижается	Необходимо задать длину и сечение питающей линии

При выборе мощности трансформатора и сечений кабелей необходимо учитывать, что питающая линия (кабель от ТП до ВРУ) может быть общей для нескольких объектов (например, несколько цехов или зданий питаются от одной трансформаторной подстанции). В этом случае:

- потеря напряжения в питающей линии должна рассчитываться с учетом суммарной нагрузки всех подключенных потребителей, а не только проектируемого объекта;
- если точные данные о других потребителях отсутствуют, в техническом задании на проектирование указывают допустимые потери напряжения «сверху» (например, не более 1–2 %). В окне свойств ВРУ предусмотрено поле **ΔU сверху**, где можно задать это значение (рис. 4.9). Тогда программа будет учитывать его при расчете собственных потерь напряжения.

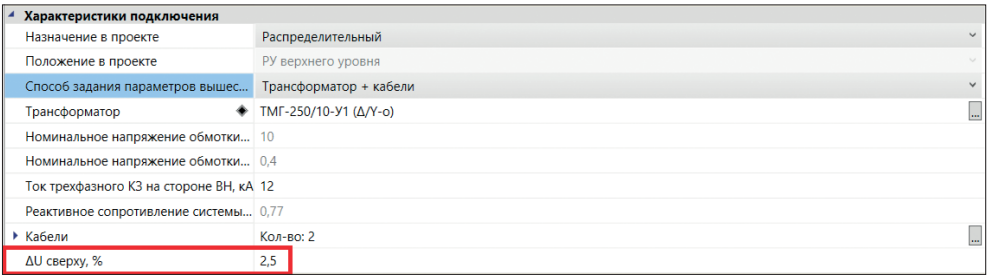


Рис. 4.9. Фрагмент окна настройки потери напряжения в питающей линии

Трансформаторы 6–10/0,4 кВ, как правило, оснащаются устройствами регулирования напряжения:

- ПБВ (переключение без возбуждения) – регулирование осуществляется при отключенном трансформаторе, ступень регулирования обычно ±2×2,5 %. При выборе ответвления ПБВ изменяется коэффициент трансформации, что влияет на напряжение на шинах 0,4 кВ;
- РПН (регулирование под нагрузкой) – регулирование осуществляется без отключения трансформатора, диапазон регулирования шире (например, ±16 %), используется на мощных трансформаторах [49].

Контрольные вопросы к § 4.3

1. Какие параметры вышестоящей сети необходимо задать в nanoCAD BIM Электро для корректного расчета токов КЗ?
2. Какие два способа задания параметров вышестоящей сети реализованы в программе?
3. Для чего необходимо знать ток короткого замыкания на высокой стороне трансформатора?
4. Как влияет удаленность объекта от трансформаторной подстанции на выбор параметров источника питания?
5. Что означает режим «питание от шин бесконечной мощности» и в каких случаях он применяется?
6. Как в программе учитывается наличие других потребителей, подключенных к той же трансформаторной подстанции?
7. Для чего предназначено поле **ΔU сверху** в окне свойств ВРУ и как оно используется?

8. Что такое ПБВ и РПН? В чем разница между этими устройствами регулирования напряжения?
9. Как выбор ответвления ПБВ или РПН влияет на результаты расчета токов КЗ и потерь напряжения?
10. Какие рекомендации по настройке параметров вышестоящей сети следует выполнить при отсутствии точных данных от сетевой организации?

§ 4.4. Расчет мощности и выбор трансформатора

Силовой трансформатор является ключевым элементом системы электроснабжения любого промышленного или транспортного предприятия. Он предназначен для преобразования электроэнергии одного напряжения в другое – как правило, понижения высокого напряжения (6, 10, 35 кВ) до уровня напряжения 0,4 кВ, используемого для питания большинства электроприемников.

Правильный выбор трансформатора определяет:

- надежность электроснабжения потребителей;
- экономичность всей системы (капитальные затраты и потери электроэнергии);
- возможность перспективного развития предприятия;
- безопасность эксплуатации электроустановки.

Выбор трансформатора не сводится к простому подбору по расчетной мощности, необходимо комплексно учитывать категорию надежности потребителей, характер графика нагрузки, условия окружающей среды и требования к качеству электроэнергии [49, 54].

Количество трансформаторов на подстанции определяется в первую очередь категорией надежности электроснабжения потребителей в соответствии с ПУЭ (табл. 4.5).

Таблица 4.5. Условия выбора количества трансформаторов для предприятий

Категория надежности	Рекомендуемое число трансформаторов	Пояснение
I категория	Два трансформатора	Обеспечивает бесперебойное питание при выходе из строя одного трансформатора. Обязательно наличие АВР (автоматического включения резерва)
Особая группа I категории	Два независимых источника + третий резервный	Для особо ответственных потребителей (системы противопожарной защиты, больницы) может требоваться автономный источник питания (ДГУ)
II категория	Один или два трансформатора	Допустимо применение однотрансформаторных подстанций при наличии централизованного складского резерва или взаимного резервирования по перемычкам на напряжении 0,4 кВ
III категория	Один трансформатор	Перерыв в электроснабжении допускается на время, необходимое для ремонта или замены трансформатора

Двухтрансформаторные подстанции целесообразно применять при неравномерности суточных и годовых графиков нагрузки для возможности отключения одного трансформатора в периоды минимума нагрузок. На главных понизительных подстанциях (ГПП), центральных распределительных пунктах (ЦРП) рекомендуется устанавливать не менее двух трансформаторов. При наличии резкопеременных нагрузок (сварочные аппараты, мощные двигатели) двухтрансформаторная схема позволяет раздельно питать «спокойные» и «ударные» нагрузки.

Для выбора мощности трансформатора необходимо иметь следующие данные:

- полная расчетная нагрузка предприятия или объекта S_p, кВА (определяется методами, рассмотренными в § 4.2);
- категория надежности электроприемников;
- характер суточного графика нагрузки (определяется отраслью промышленности или типом объекта);
- число часов использования максимума нагрузки $T_м$;
- условия окружающей среды (температура, высота над уровнем моря, запыленность, агрессивность среды);
- допустимые перегрузки в нормальном и послеаварийном режимах.

Коэффициент загрузки трансформатора β – это отношение фактической нагрузки трансформатора к его номинальной мощности. При выборе трансформатора он всегда должен быть меньше единицы и выбирается из условий экономичности и надежности:

$$\beta = S_p / S_{ном}. \qquad (4.14)$$

Рекомендуемые значения коэффициента загрузки представлены в табл. 4.6.

Таблица 4.6. Рекомендуемые коэффициенты загрузки силовых трансформаторов

Тип подстанции и характер нагрузки	Рекомендуемое значение коэффициента загрузки
Двухтрансформаторные подстанции с преобладающей нагрузкой I категории	0,65–0,7
Однотрансформаторные подстанции с преобладающей нагрузкой II категории при наличии взаимного резервирования по перемычкам	0,7–0,8
Подстанции с нагрузкой III категории или с преобладающей нагрузкой II категории при наличии складского резерва	0,9–0,95

Низкие значения (0,65–0,7) для I категории обеспечивают послеаварийную работоспособность при выходе одного трансформатора из строя (оставшийся берет на себя нагрузку с допустимой перегрузкой).

Для II категории допустимы более высокие значения при наличии резервных связей с соседними подстанциями.

Для III категории экономически оправдана работа с загрузкой, близкой к номинальной.

Номинальная мощность трансформатора для двухтрансформаторной подстанции определяется по формуле:

$$S_{ном} \geqslant S_p / (N \cdot \beta), \tag{4.15}$$

где N – число трансформаторов (обычно 2), β – коэффициент загрузки.

Полученное расчетное значение округляется в большую сторону до ближайшего стандартного значения из ряда мощностей по ГОСТ: 100, 160, 250, 400, 630, 1000, 1600, 2500 кВА.

В послеаварийном режиме (при отключении одного из двух трансформаторов) оставшийся в работе трансформатор должен обеспечить питание потребителей I и II категории. Потребители III категории на это время могут отключаться [49, 54].

Правила технической эксплуатации и ПУЭ допускают следующие послеаварийные перегрузки трансформатора (табл. 4.7):

- допустимая перегрузка до 40 % (коэффициент загрузки 1,4) от номинальной мощности;
- продолжительность перегрузки – не более 6 часов в сутки;
- суммарная продолжительность работы с такой перегрузкой – не более 5 суток.

Таблица 4.7. Допустимые аварийные перегрузки для масляных трансформаторов

Коэффициент перегрузки	Допустимая длительность, мин
1,2	60
1,3	45
1,4	32
1,5	18
1,6	5

Для сухих трансформаторов допустимые перегрузки ниже и должны уточняться по паспортным данным производителя.

Таким образом, условие выбора для двухтрансформаторной подстанции:

$$S_{ном} \geqslant S_{I+II} / 1{,}4, \tag{4.16}$$

где S_{I+II} – суммарная нагрузка потребителей I и II категорий.

Номинальная мощность трансформатора указывается для стандартных условий: температура охлаждающей среды +20 °С для воздуха. При отклонении температуры от нормальной вводится поправочный коэффициент. При температуре выше +40 °С требуется коррекция:

$$S_{кор} = S \times [1 + 0{,}004 \times (T - 40)]. \tag{4.17}$$

При пониженных температурах допустима работа трансформатора с перегрузкой (с учетом состояния масла и изоляции).

Для высокогорных районов (выше 1000 м над уровнем моря) ухудшаются условия охлаждения из-за пониженной плотности воздуха. Поэтому рекомендуется увеличивать расчетную мощность на 1 % на каждые 300 м превышения:

$$S_{выс} = S_p \times [1 + (H - 1000) / 30\,000], \quad (4.18)$$

где H – высота установки трансформаторной подстанции в метрах.

Требуемое качество электроэнергии тоже оказывает существенное влияние на условия работы трансформатора и, следовательно, на выбор его номинальной мощности.

Наличие высших гармоник тока (от частотно-регулируемых приводов, выпрямителей, сварочных аппаратов, источников бесперебойного питания) приводит к дополнительным потерям в обмотках трансформатора, увеличению потерь в магнитопроводе и дополнительному нагреву конструктивных элементов трансформатора, сокращается срок службы изоляции.

Для учета влияния гармоник используется понятие коэффициента искажения – показателя, характеризующего способность трансформатора выдерживать нагрузку с нелинейными искажениями без превышения допустимой температуры. При суммарном коэффициенте гармонических искажений тока менее 15 % специальные меры не требуются, но желателен запас мощности 5–10 %, при коэффициенте гармонических искажений тока 15–30 % рекомендуется выбирать трансформатор с запасом мощности 15–20 % или использовать трансформаторы, специально рассчитанные на нелинейную нагрузку, если значение коэффициента более 30 %, обязателен выбор трансформатора с устройством снижения уровня гармоник (табл. 4.8).

Таблица 4.8. Типовые значения коэффициента гармоник для различных групп электроприемников

Тип электроприемников	Характерное значение коэффициента гармонических искажений, %	Рекомендуемый запас мощности
Освещение (светодиодное, люминесцентное)	10–25	5–10 %
Частотно-регулируемые приводы (без фильтров)	30–50	15–25 %
Частотно-регулируемые приводы (с фильтрами)	5–10	5 %
Сварочные аппараты инверторные	20–35	10–15 %

Низкий коэффициент мощности ($\cos \varphi$) означает, что при той же активной мощности нагрузка трансформатора по полной мощности (току) выше. Это приводит к увеличению загрузки трансформатора по току, росту потерь в обмотках и дополнительному нагреву. Если на предприятии не предусмотрена компенсация реактивной мощности, трансформатор приходится выбирать с запасом.

Несимметричная нагрузка фаз (характерна для однофазных сварочных аппаратов, осветительных нагрузок) вызывает появление токов нулевой последователь-

ности, дополнительный нагрев обмоток и магнитопровода. При значительной несимметрии (более 15–20 %) необходимо учитывать нагрев наиболее загруженной фазы. В спецификациях на трансформаторы обычно указывается допустимая несимметрия (как правило, до 25 % от номинального тока) [22, 49, 54].

В предварительных расчетах для предприятий с преобладанием нелинейной нагрузки рекомендуется увеличивать расчетную мощность трансформатора на 10–20 % по сравнению с расчетом по чисто активной и реактивной нагрузкам.

Основные типы силовых трансформаторов, применяемых в сетях 6–10/0,4 кВ, – сухие или масляные (табл. 4.9)

Таблица 4.9. Сравнение масляных и сухих трансформаторов

Характеристика	Масляный трансформатор	Сухой трансформатор
Охлаждение	Масло	Воздух
Пожароопасность	Высокая (требует защиты)	Низкая
Экологичность	Риск утечек масла	Безопасен
Обслуживание	Регулярное (масло)	Минимальное
Перегрузочная способность	Высокая	Ограниченная
Стоимость	Ниже	Выше
Место установки	Открыто/спецпомещения	Внутри помещений

Для транспортных объектов характерны следующие требования к трансформаторам:

- депо и ремонтные мастерские – масляные трансформаторы в отдельно стоящих комплектных трансформаторных подстанциях (КТП) или на открытых площадках с учетом категории среды (нормальная, возможна запыленность и т. п.);
- мойки и окрасочные камеры – трансформаторы должны размещаться в отдельных помещениях с нормальной средой, питание подается кабельными линиями;
- административно-бытовые корпуса – возможно применение сухих трансформаторов во встроенных подстанциях.

После предварительного выбора трансформатора необходимо выполнить проверочные расчеты:

1) проверка по загрузке в нормальном режиме: $\beta_{норм} \leqslant \beta_{доп}$;
2) проверка по загрузке в послеаварийном режиме: $\beta_{ав} \leqslant 1{,}4\beta_{ав}$ (с учетом длительности);
3) проверка по потерям напряжения – влияние сопротивления трансформатора на отклонение напряжения у потребителей (особенно при пусках мощных двигателей);
4) проверка термической стойкости при коротких замыканиях.

В nanoCAD BIM Электро выбор и настройка трансформатора выполняются в окне свойств питающего щита (ВРУ) (рис. 4.10) [32, 49, 54].

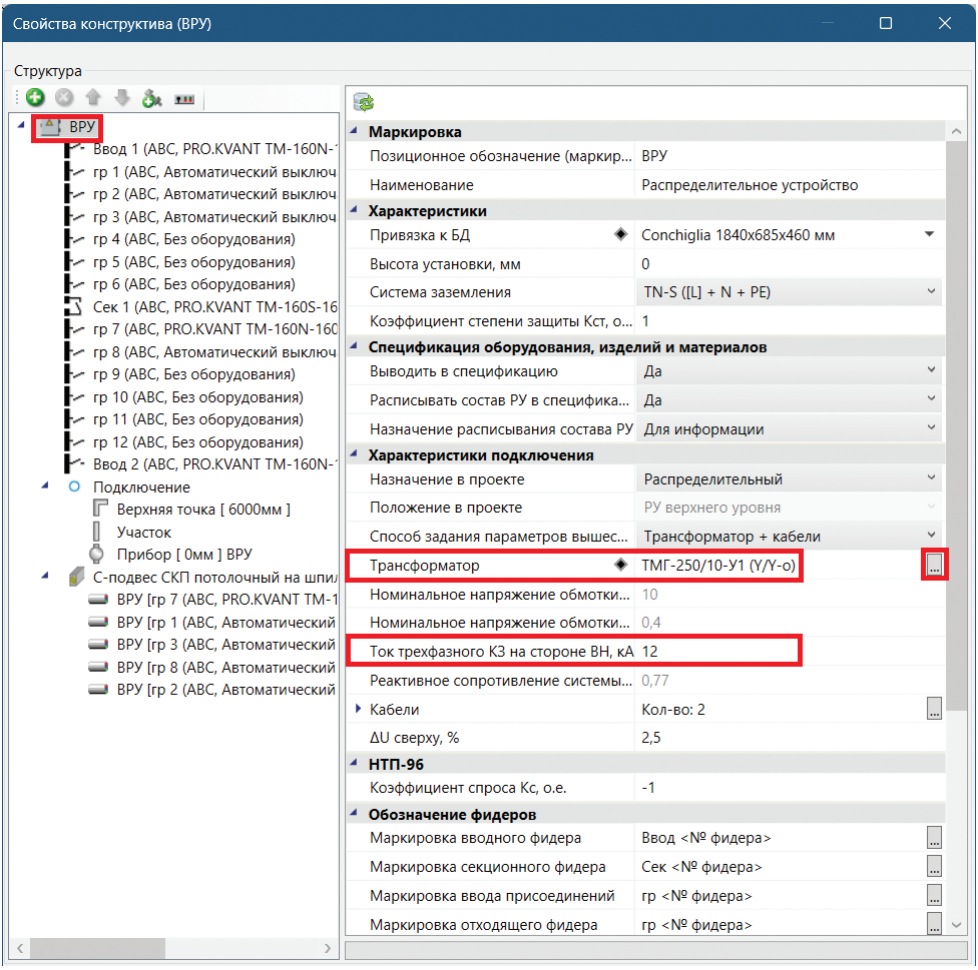


Рис. 4.10. Окно выбора трансформатора в nanoCAD BIM Электро

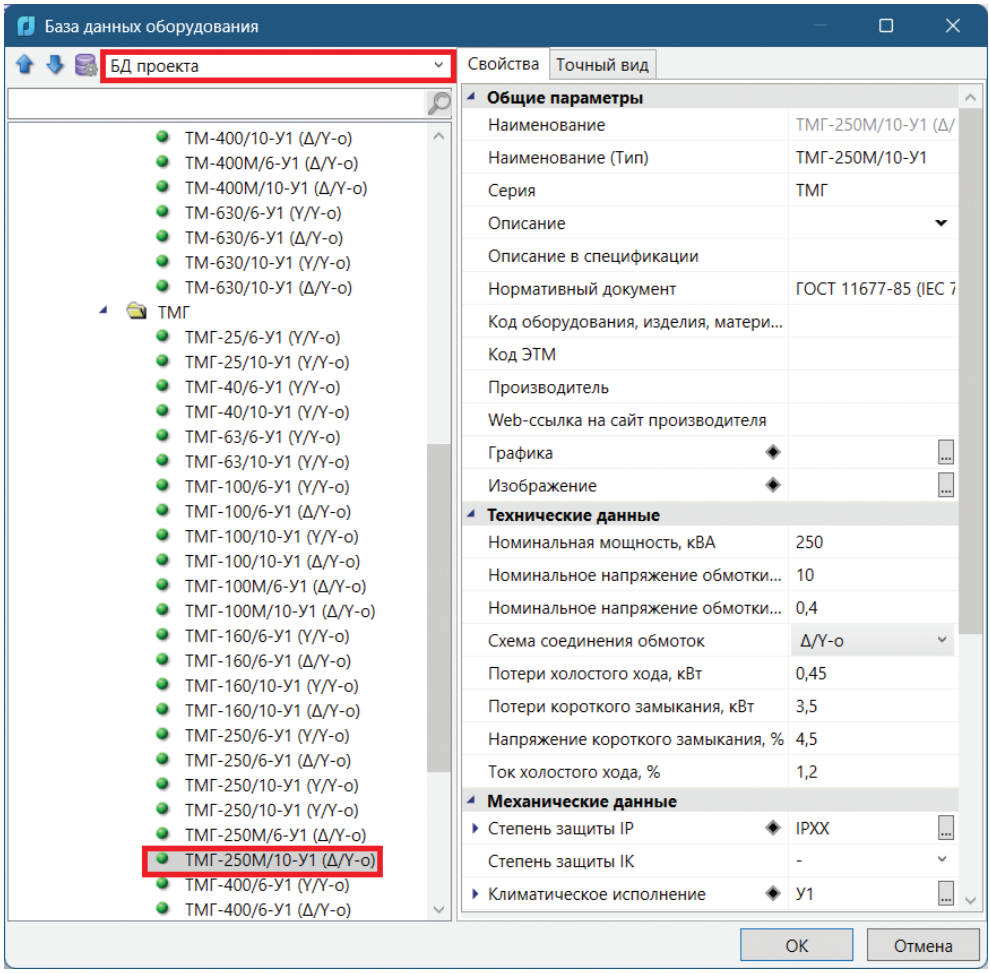


Рис. 4.10. *Окончание*

Контрольные вопросы к § 4.4

1. Какие факторы определяют выбор числа трансформаторов на подстанции промышленного предприятия или предприятия транспорта?
2. Как категория надежности электроснабжения влияет на выбор количества трансформаторов?
3. Что такое коэффициент загрузки трансформатора и каковы его рекомендуемые значения для разных категорий потребителей?
4. Запишите формулу для определения номинальной мощности трансформатора двухтрансформаторной подстанции.
5. Какие внешние факторы (кроме величины нагрузки) влияют на выбор мощности трансформатора и как они учитываются?
6. Назовите основные типы трансформаторов по способу охлаждения и сравните их достоинства и недостатки.
7. Какие проверки необходимо выполнить после предварительного выбора трансформатора?
8. Как в nanoCAD BIM Электро реализованы выбор и настройка параметров трансформатора?
9. Как влияет наличие нелинейных нагрузок (преобразователей, сварочных аппаратов) на выбор мощности трансформатора?
10. Какие особенности выбора трансформаторов характерны для предприятий транспорта (депо, мастерские, мойки)?
11. Как наличие высших гармоник тока влияет на выбор мощности трансформатора?
12. При каких значениях коэффициента гармонических искажений тока требуется увеличение расчетной мощности трансформатора?
13. Как низкий коэффициент мощности (cos φ) влияет на загрузку трансформатора?
14. Какое влияние оказывает несимметрия нагрузки на работу трансформатора и как она учитывается при выборе?
15. Где в nanoCAD BIM Электро можно просмотреть результаты расчета электрических нагрузок для выбора трансформатора?

§ 4.5. Выбор коммутационных защитных аппаратов и обеспечение селективности

Коммутационно-защитные аппараты являются важнейшими элементами любой системы электроснабжения. Они выполняют две основные функции:

1) **коммутационная функция** – включение и отключение электрических цепей в нормальном режиме работы;
2) **защитная функция** – автоматическое отключение цепи при возникновении аварийных режимов: перегрузок, коротких замыканий (КЗ), токов утечки.

Правильный выбор аппаратов защиты определяет:

- надежность и безопасность эксплуатации электроустановки;
- сохранность кабельных линий и электрооборудования;
- безопасность обслуживающего персонала;
- селективность (избирательность) отключения аварийных участков.

Выбор коммутационных защитных аппаратов должен производиться с учетом параметров электроустановки, ожидаемых токов КЗ, характеристик нагрузки, условий прокладки и тепловых характеристик проводников [49, 65]. На рис. 4.11 представлена классификация основных типов коммутационных защитных аппаратов, применяемых в сетях 0,4 кВ.



Рис. 4.11. Классификация коммутационных защитных аппаратов 0,4 кВ, применяемых в сетях промышленных предприятий и предприятий транспорта

4.5.1. Выбор предохранителей

Плавкий предохранитель – это элемент защиты цепи, принцип действия которого основан на перегреве и расплавлении теплом электрического тока специальной вставки, после срабатывания требуется замена вставки.

При выборе предохранителей необходимо учитывать следующие параметры:

1) **Номинальное напряжение предохранителя** – должно соответствовать напряжению сети;
2) **Номинальный ток плавкой вставки** – выбирается по расчетному току защищаемой линии;
3) **Предельно отключаемый ток** – способность предохранителя разорвать цепь при максимальном токе КЗ;
4) **Селективность** – согласование времятоковых характеристик с другими аппаратами защиты.

Условия выбора предохранителей:

1) номинальный ток плавкой вставки выбирается из условия:

$$I_{вст} \geqslant I_p;$$

2) для линий с электродвигателями необходимо учитывать пусковые токи:

$$I_{вст} \geqslant I_{пуск} / \alpha,$$

где α – коэффициент, зависящий от условий пуска (обычно 2,0–2,5 для легкого пуска, 1,6–2,0 для тяжелого).

Требования к плавким предохранителям регламентируются ГОСТ IEC 60269-1–2016, в соответствии с которым даны рекомендации по применению предохранителей в электрических сетях предприятий транспорта (табл. 4.10).

Таблица 4.10. Рекомендации по применению предохранителей

Тип нагрузки	Рекомендации по применению
Осветительные сети	Допустимо применение, но предпочтительнее автоматы
Розеточные группы	Не рекомендуется (кроме квартирных щитков)
Электродвигатели	Возможно применение с учетом пусковых токов
Вводные устройства	Допустимо, но уступают автоматам по функциональности
Влажные помещения (ванная, кухня)	Не рекомендуется – требуется УЗО или АВДТ

В современной практике предохранители в системах электроснабжения применяются ограниченно, уступая место автоматическим выключателям, обладающим большей функциональностью и удобством эксплуатации [49].

4.5.2. Выбор автоматических выключателей

Автоматические выключатели (АВ) являются наиболее распространенными аппаратами защиты в сетях 0,4 кВ. Они обеспечивают защиту от перегрузок и коротких замыканий, а также выполняют коммутационные функции.

Классификация автоматических выключателей по месту использования дана на рис. 4.12.

По конструктивному исполнению различают:

- **модульные** – устанавливаются в бытовых и административных сетях на токи до 125 А, имеют ширину, кратную 17,5 мм (1 модуль);
- **выключатели в литом корпусе** – для промышленных сетей на токи до 1000–1600 А, имеют литой корпус;
- **воздушные выключатели** – для мощных установок на токи до 6300 А, устанавливаются в распределительных устройствах.

Характеристики выключателя	**Место применения**				
	Главный распределительный щит		**Главный распределительный щит / Распределительный шкаф**		**Групповой щит**
Тип автоматического выключателя	Воздушный	В литом корпусе	В литом корпусе	В литом корпусе	Модульный
Номинальный ток	630–6300 А	1000–1600 А	16–800 А	3–1200 А	1–125 А
Отключающая способность	65–150 кА	50–150 кА	37–150 кА	10–85 кА	6–10 кА
Категория применения	В	А, В	А	А	А
Внешний вид					
Категории выключателей: категория А – без задержки (бытовые автоматы); категория В – с задержкой (промышленные)					

Рис. 4.12. Классификация коммутационных защитных аппаратов 0,4 кВ по месту использования, применяемых в сетях промышленных предприятий и предприятий транспорта

По количеству полюсов:

- однополюсные – для защиты однофазных линий (освещение, розетки);
- двухполюсные – для однофазных цепей с одновременным отключением фазы и нуля;
- трехполюсные – для трехфазных цепей;
- четырехполюсные – для трехфазных цепей с отключаемой нейтралью.

Основными рабочими компонентами АВ являются расцепители:

- тепловой расцепитель (биметаллическая пластина) – защищает от перегрузок. При прохождении тока, превышающего номинальный, пластина нагревается, изгибается и размыкает цепь. Время срабатывания обратно пропорционально величине тока перегрузки;
- электромагнитный расцепитель – защищает от токов КЗ. При резком увеличении значения тока сердечник втягивается в катушку и мгновенно размыкает цепь;
- полупроводниковые (электронные) расцепители – используются в современных выключателях, позволяют реализовать различные защитные характеристики.

Ключевым параметром автоматического выключателя, определяющим его поведение при перегрузках и коротких замыканиях, является **времятоковая характеристика** – зависимость времени срабатывания от тока. Она показывает, при каком превышении номинального тока сработает электромагнитный расцепитель. Наиболее распространенные типы характеристик и области их применения приведены в табл. 4.11.

Таблица 4.11. Типы времятоковых характеристик автоматических выключателей

Тип	Кратность тока срабатывания	Область применения
A	2–3 $I_{ном}$	Защита цепей с полупроводниковыми приборами, высокоточная электроника
B	3–5 $I_{ном}$	Освещение, розеточные группы, цепи без значительных пусковых токов
C	5–10 $I_{ном}$	Наиболее распространенный тип для смешанной нагрузки, малые электродвигатели, трансформаторы
D	10–20 $I_{ном}$	Цепи с высокими пусковыми токами: крупные электродвигатели, компрессоры, сварочные аппараты
K	10–14 $I_{ном}$	Индуктивные нагрузки, промышленные установки
Z	2–3 $I_{ном}$	Высокочувствительная электроника, системы автоматики

В соответствии с СП 31-110-2003 во внутренних сетях жилых и общественных зданий рекомендуется применять автоматические выключатели с характеристикой С как оптимальные для смешанной нагрузки (освещение, розетки, бытовая техника). Для защиты сетей промышленных предприятий и предприятий транспорта выбор типа автоматического выключателя определяется характером технологического оборудования.

Для сетей, питающих асинхронные двигатели с тяжелыми пусками (компрессоры, насосы, подъемно-транспортные механизмы), а также сварочные аппараты, следует применять выключатели с характеристикой D, имеющие повышенную кратность тока срабатывания (10–20 $I_{ном}$), что позволяет избежать ложных отключений при пусковых токах [10, 62].

Для цепей управления, автоматики и полупроводниковой техники могут использоваться характеристики K (10–14 $I_{ном}$) или Z (2–3 $I_{ном}$), обеспечивающие более точную защиту.

В остальных случаях, при отсутствии мощных двигателей или ударных нагрузок, допустимо применение выключателей типа С. На номинальные токи более 125 А применяют АВ в литом корпусе, у которых времятоковая характеристика обусловлена моделью и свойствами аппарата, которые задает производитель.

Таким образом, правильный выбор времятоковой характеристики гарантирует как надежную защиту проводников, так и бесперебойную работу технологического оборудования.

Выбор автоматического выключателя производится по следующим параметрам:

1) **по номинальному напряжению**:

$$U_{ном.ав} \geqslant U_{сети};$$

2) **по номинальному току**:

$$I_{ном.ав} \geqslant I_{р},$$

где $I_{р}$ – расчетный ток защищаемой линии;

3) **по току срабатывания электромагнитного расцепителя** (проверка на неотключение при пусковых токах):

$$I_{сраб.эм} \geqslant K_{зап} \cdot I_{пуск},$$

где $K_{зап}$ – коэффициент запаса (1,5–2,5), $I_{пуск}$ – пусковой ток наиболее мощного электроприемника;

4) **по отключающей способности**:

$$I_{си} \geqslant I^{(3)}_{кз},$$

где $I_{си}$ – номинальная предельная отключающая способность, $I^{(3)}_{кз}$ – расчетный трехфазный ток КЗ в месте установки;

5) **по селективности** – согласование характеристик выбранного аппарата с вышестоящими и нижестоящими аппаратами.

Таким образом, при выборе автоматического выключателя необходимо учитывать:

а) род тока питающей сети;

б) номинальное напряжение выключателя;

в) число главных контактов (полюсов);

г) тип расцепителя (тепловой, электромагнитный, электронный);

д) номинальный ток выключателя;

е) ток уставки мгновенного срабатывания (характеристику);

ж) отключающую способность.

Важно понимать, что выбор автомата с завышенным номинальным током может привести к опасным последствиям. Если подключить к бытовой цепи автомат, рассчитанный на высокую мощность, он не будет обесточивать цепь даже при токе, превышающем допустимый для кабеля. Изоляция будет перегреваться, плавиться, но отключения не произойдет, пока расплавленная изоляция не вызовет короткое замыкание [49, 65].

И наоборот, если автомат выбран с заниженным номиналом, он будет постоянно отключаться при включении нормальной нагрузки, что приведет к его преждевременному выходу из строя.

4.5.3. Выбор устройств защитного отключения (УЗО)

Устройство защитного отключения (УЗО) – это электромеханический прибор, предназначенный для предотвращения поражения человека электрическим током и снижения риска возгораний из-за утечки тока.

Работа УЗО основана на сравнении токов в фазном и нулевом проводниках. В нормальном режиме эти токи равны. При возникновении утечки (через поврежденную изоляцию или тело человека) возникает дисбаланс, который фиксируется дифференциальным трансформатором, и цепь мгновенно размыкается.

Время срабатывания современных УЗО составляет 20–40 миллисекунд, что быстрее, чем человек успевает ощутить серьезный удар током.

Основными параметрами выбора УЗО являются:

1) **Номинальный ток** I_n – должен соответствовать току защищаемой линии;
2) **Номинальный отключающий дифференциальный ток** $I_{\Delta n}$:
   - 10 мА – для особо опасных помещений (детские, медицинские учреждения);
   - 30 мА – основной тип для защиты людей в жилых и общественных зданиях;
   - 100–300 мА – для противопожарной защиты (на вводе в здание);
3) **Тип УЗО по форме тока утечки**:

   AC – реагирует только на переменный ток утечки;

   A – реагирует на переменный и пульсирующий постоянный ток (рекомендуется для современной техники);

   B – реагирует на все виды токов (для промышленных установок);
4) **Селективность** – для обеспечения селективности применяются УЗО типа S с выдержкой времени.

УЗО не защищает от перегрузок и коротких замыканий, поэтому оно всегда должно устанавливаться последовательно с автоматическим выключателем, защищающим линию от токов короткого замыкания и перегрузок [37].

4.5.4. Выбор автоматических выключателей дифференциального тока (АВДТ)

Автоматический выключатель дифференциального тока (АВДТ, дифференциальный автомат, дифавтомат) – это устройство, объединяющее функции УЗО и автоматического выключателя.

Конструкция АВДТ включает:

- тепловой расцепитель – защита от длительных перегрузок;
- электромагнитный расцепитель – защита от коротких замыканий;
- дифференциальный трансформатор – контроль токов утечки;
- схема обработки сигнала и исполнительный механизм.

При возникновении любой аварийной ситуации (перегрузка, КЗ, утечка) АВДТ отключает линию, обеспечивая комплексную защиту.

Автоматический выключатель дифференциального тока (АВДТ) объединяет в одном корпусе функции автоматического выключателя и устройства защитного отключения, что обеспечивает комплексную защиту электрической цепи от всех видов аварийных ситуаций: перегрузок, коротких замыканий и токов утечки. Такое исполнение дает ряд преимуществ: во-первых, АВДТ занимает меньше места в распределительном щите; во-вторых, упрощается монтаж благодаря меньшему количеству соединений, что снижает вероятность ошибок при сборке.

Вместе с тем применение АВДТ имеет и свои недостатки. Основной из них – более высокая стоимость по сравнению с комплектом из отдельных УЗО и автоматического выключателя. Кроме того, при срабатывании такого устройства сложнее определить причину отключения: была ли это утечка, перегрузка или короткое замыкание. Наконец, в случае выхода из строя АВДТ требуется замена всего прибора целиком, тогда как при раздельной схеме можно заменить только неисправный элемент.

При выборе АВДТ необходимо учитывать те же параметры, что и для автоматического выключателя (номинальный ток, времятоковую характеристику, отключающую способность) и для УЗО (дифференциальный ток, тип по форме тока утечки) [37, 59].

4.5.5. Селективность срабатывания защиты

Селективность (избирательность) – это согласование характеристик защитных аппаратов, установленных последовательно, такое, чтобы при аварии отключалась только поврежденная линия или часть схемы, а остальная электроустановка продолжала работу.

Например, при коротком замыкании в розетке должен сработать групповой автомат, а не вводной аппарат, отключающий все помещение или здание.

Различают следующие виды селективности:

1) **полная селективность** – при любом токе КЗ (вплоть до максимального) срабатывает только аппарат со стороны нагрузки;
2) **частичная селективность** – аппарат со стороны нагрузки осуществляет защиту только до определенного значения тока – предельного тока селективности. При больших токах возможно одновременное срабатывание обоих аппаратов.

Способы обеспечения селективности:

1. **Токовая селективность** основана на смещении времятоковых характеристик выключателей по оси тока. Условие работы:
   - $I_{r1} / I_{r2} > 2$ – соотношение токов уставок расцепителей по перегрузке;
   - $I_{sd1} / I_{sd2} > 2$ – соотношение токов уставок отсечки.

   Предел селективности: $I_s = I_{sd}$ (вышестоящего выключателя).
2. **Временная селективность** основана на введении задержки времени срабатывания для вышестоящего выключателя. Выдержка времени Δt должна составлять не менее 0,1–0,2 с (зависит от типа выключателя). Этот метод эффективен при высоких токах КЗ.
3. **Логическая (зонная) селективность** применяется в современных системах с электронными расцепителями. Выключатели связываются контрольным проводом и обмениваются сигналами блокировки. При обнаружении КЗ выключатель, ближайший к месту повреждения, отключается мгновенно и посылает сигнал блокировки вышестоящим аппаратам.

Правила обеспечения селективности:

1. **Номиналы** – номинальный ток вышестоящего аппарата должен быть хотя бы на одну ступень больше номинала нижестоящего.
2. **Времятоковые характеристики** – характеристики не должны пересекаться или накладываться друг на друга.
3. **Уставки** – выдержки времени должны увеличиваться по направлению к источнику питания.
4. **Производитель** – селективность легче обеспечить, используя аппараты одного производителя, имеющего таблицы селективности.

Для дифференциальной защиты селективность обеспечивается выбором разных значений дифференциального тока (например, на вводе 100 мА, на группах 30 мА).

Для транспортных объектов характерны следующие требования к выбору аппаратов защиты:

- ремонтные депо и мастерские – применение автоматов в литом корпусе или модульные типа C и D для защиты электродвигателей станков, автоматы типа C или B для освещения и розеточных групп;
- мойки и окрасочные камеры – обязательное применение УЗО или АВДТ с дифференциальным током 30 мА, аппараты со степенью защиты не ниже IP44;
- административно-бытовые корпуса – стандартные решения (автоматы типа C, УЗО 30 мА на розеточные группы);
- сварочные посты – применение автоматов типа D с учетом высоких пусковых токов;
- крановое оборудование – автоматы типа D с повышенными уставками по току [38, 59].

Контрольные вопросы к § 4.5

1. Какие основные функции выполняют коммутационные защитные аппараты в системах электроснабжения?
2. По каким параметрам производится выбор плавких предохранителей? В чем заключаются ограничения их применения?
3. Перечислите основные типы автоматических выключателей по конструктивному исполнению и области их применения.
4. Какие типы расцепителей используются в автоматических выключателях и какие функции они выполняют?
5. Что такое времятоковая характеристика автоматического выключателя? Какие типы характеристик существуют и для каких нагрузок они предназначены?
6. Опишите последовательность выбора автоматического выключателя для защиты групповой линии.
7. Каков принцип работы УЗО? Для защиты от каких аварийных режимов оно предназначено?
8. Назовите основные параметры выбора УЗО. Какие значения дифференциального тока применяются для защиты людей и для противопожарной защиты?
9. Что такое АВДТ (дифавтомат)? В чем его преимущества и недостатки по сравнению со связкой УЗО + автоматический выключатель?
10. Дайте определение селективности срабатывания защиты. Какие виды селективности существуют?
11. Какими способами обеспечивается токовая селективность автоматических выключателей?
12. В чем сущность временной селективности и для каких аппаратов она применяется?
13. Что такое логическая (зонная) селективность и каковы ее преимущества?

14. Как обеспечивается селективность для УЗО и АВДТ?
15. Какие особенности выбора аппаратов защиты характерны для предприятий транспорта (депо, мастерские, мойки)?

§ 4.6. Выбор кабеля и расчет сечения проводников

Правильный выбор кабеля является одной из важнейших задач при проектировании систем электроснабжения. От того, насколько грамотно выбраны сечение, материал жил и тип изоляции, зависят:

- надежность и безопасность эксплуатации электроустановки;
- срок службы кабельной линии;
- потери электроэнергии при передаче;
- пожарная безопасность объекта;
- экономическая эффективность проекта.

Выбор кабеля производится на основе расчетных токов, определенных в соответствии с методами, рассмотренными в § 4.2, и с учетом категории надежности электроприемников, способа прокладки и условий окружающей среды [26].

В соответствии с ПУЭ проводники любого назначения должны удовлетворять требованиям в отношении предельно допустимого нагрева с учетом не только нормальных, но и послеаварийных режимов, а также режимов в период ремонта. При проверке на нагрев принимается получасовой максимум тока – наибольший из средних получасовых токов данного элемента сети.

Основными материалами для токопроводящих жил силовых кабелей являются медь и алюминий. Каждый из материалов имеет свои особенности, преимущества и недостатки, которые необходимо учитывать при проектировании (табл. 4.12).

Таблица 4.12. Сравнительная характеристика медных и алюминиевых жил

Характеристика	Медные жилы	Алюминиевые жилы
Удельная проводимость	Высокая (58 м/(Ом·мм^2))	Низкая (35 м/(Ом·мм^2))
Плотность, г/см^3	8,89	2,70
Температура плавления, °С	1083	658
Теплопроводность	Высокая (в 2 раза выше алюминия)	Средняя
Коррозионная стойкость	Высокая, медленно окисляется	Образует оксидную пленку с высоким сопротивлением
Механическая прочность	Высокая, выдерживает многократные изгибы	Низкая, ломается при изгибах
Стоимость	Высокая	Низкая (в 3–4 раза дешевле меди)
Срок службы	25–30 лет	15–20 лет

Медные кабели – обязательны для жилых и общественных зданий, пожароопасных и взрывоопасных зон, передвижных установок, цепей с особо ответственными потребителями. Согласно действующим нормам, для электропроводок жилых и общественных зданий должны применяться только медные провода.

Алюминиевые кабели – допускаются в промышленных объектах, для прокладки в земле, в стационарных установках, где не требуется гибкость и отсутствуют вибрации. В основном их используют для соединения ВРУ и ТП кабелем под землей [8, 9, 42].

Изоляционный слой является ключевым элементом конструкции кабеля, определяющим его область применения, срок службы и пожарную безопасность. Изоляция должна обеспечивать:

- высокое электрическое сопротивление;
- механическую прочность;
- стойкость к внешним воздействиям;
- длительный срок эксплуатации.

При выборе кабеля следует обращать внимание на его маркировку. Маркировка силовых кабелей содержит информацию о материале жил, типе изоляции, конструктивных особенностях и условиях применения. Понимание маркировки необходимо для правильного выбора кабеля.

Структура маркировки силовых кабелей показана на рис. 4.13.



Рис. 4.13. Структура маркировки силовых кабелей, применяемых в сетях промышленных предприятий и предприятий транспорта

Основные буквенные и цифровые обозначения кабелей:

Материал жилы:

А – алюминиевая жила (отсутствие буквы означает медную жилу).

Тип изоляции и оболочки:

- В – изоляция из ПВХ (поливинилхлоридного пластиката);
- Пв – изоляция из сшитого полиэтилена;
- Р – резиновая изоляция;
- Н – негорючая резина.

Конструктивные особенности:

- Г – отсутствие защитного покрова (голый);
- Б – броня из стальных лент;
- К – броня из круглых стальных проволок;
- Шв – защитный шланг из ПВХ;
- Шп – защитный шланг из полиэтилена;
- П – плоский кабель.

Специальные индексы:

- нг(А) – не распространяет горение при групповой прокладке;
- LS – пониженное дымо- и газовыделение;
- HF – безгалогенное исполнение.

FRLS – огнестойкий, с пониженным дымовыделением.

В табл. 4.13 приведены основные типы изоляции силовых кабелей.

Таблица 4.13. Основные типы изоляции силовых кабелей

Тип изоляции	Обозначение	Характеристики	Применение
Поливинилхлоридная (ПВХ)	В	Нетоксична, эластична, влагостойка, не распространяет горение. Недостатки: разрушается под действием УФ-лучей, при низких температурах становится хрупкой	Внутренняя прокладка в помещениях, кабельных сооружениях
ПВХ пониженной пожарной опасности	нг	Специальные добавки предотвращают горение, снижают дымовыделение	Помещения с массовым пребыванием людей, групповые прокладки
Сшитый полиэтилен	Пв	Высокая нагревостойкость, хорошие электрические характеристики, малый вес. Допускает длительный нагрев до 90 °С	Промышленные объекты, линии с большими токами, ответственные потребители
Резина	Р, КГ	Высокая гибкость, стойкость к растяжениям и изгибам	Передвижные установки, подключение подвижных механизмов, удлинители
Бумажная пропитанная	–	Хорошие электрические характеристики, невысокая стоимость. Требует герметизации концов, ограничена по нагреву	Кабели высокого напряжения (10–35 кВ), стационарные прокладки
Минеральная	–	Негорючая, высокая термостойкость (до 250 °С), механическая прочность	Пожароопасные зоны, системы противопожарной защиты, аварийное освещение

Выбор сечения кабеля производится по нескольким условиям, и окончательно принимается наибольшее из полученных значений. В табл. 4.14 приведены примеры расшифровки маркировки кабеля, а в табл. 4.15 – наиболее распространенные типы кабелей и их применение.

Таблица 4.14. Примеры расшифровки маркировки кабеля

Маркировка	Расшифровка
ВВГнг(А)-LS 3×2,5	Кабель с медными жилами (А отсутствует), изоляция из ПВХ (В), оболочка из ПВХ (В), без защитного покрова (Г), не распространяет горение при групповой прокладке (нг(А)), с пониженным дымовыделением (LS), 3 жилы сечением 2,5 мм²
АВБбШв 4×16	Кабель с алюминиевыми жилами (А), изоляция из ПВХ (В), броня из стальных лент (Бб), защитный шланг из ПВХ (Шв), 4 жилы сечением 16 мм²
NYM 3×1,5	Кабель по немецкому стандарту VDE (N), изоляция из ПВХ (Y), монтажный (M), 3 жилы сечением 1,5 мм²

Таблица 4.15. Наиболее распространенные типы кабелей и их применение

Тип кабеля	Характеристики	Применение
ВВГ	Медные жилы, ПВХ-изоляция, ПВХ-оболочка, без брони	Стационарная прокладка в сухих и влажных помещениях, кабельных каналах
ВВГнг(А)-LS	То же, но с пониженной горючестью и дымообразованием	Жилые и общественные здания, групповые прокладки, места массового скопления людей
NYM	Медные жилы, ПВХ-изоляция с резиновым заполнителем, круглое сечение	Внутренняя прокладка в помещениях, в том числе влажных, удобен в монтаже
АВВГ	Алюминиевые жилы, ПВХ-изоляция и оболочка	Промышленные объекты, наружные установки, где не требуется гибкость
ВБбШв	Медные жилы, бронированный, в ПВХ-шланге	Прокладка в земле (траншеях), агрессивные среды
КГ	Медные многопроволочные жилы, резиновая изоляция, гибкий	Подключение передвижных механизмов, сварочных аппаратов, удлинители

Выбор сечения по нагреву (по допустимому току) – это основное условие выбора. Сечение проводника должно быть таким, чтобы его температура при длительном протекании рабочего тока не превышала допустимую для данного типа изоляции.

$$I_{доп} \geqslant I_{р},$$

где $I_{доп}$ – допустимый длительный ток для данного сечения, способа прокладки и материала изоляции (определяется по таблицам ПУЭ); $I_{р}$ – расчетный ток линии (табл. 4.16).

Таблица 4.16. Допустимые длительные токи для проводов и кабелей с медными жилами (фрагмент)

Сечение, мм²	Ток, А, для проводов, проложенных открыто	Ток, А, для трехжильных кабелей в воздухе	Ток, А, для трехжильных кабелей в земле
1,5	23	19	27
2,5	30	25	38
4	41	35	49
6	50	42	60
10	80	55	90
16	100	75	115
25	140	95	150
35	170	120	180
50	215	145	225
70	270	180	275

Значения допустимых токов, приведенные в таблицах ПУЭ, соответствуют определенным номинальным условиям: температуре окружающей среды +25 °С, одиночной прокладке кабеля и стандартному способу монтажа. В реальных проектных условиях эти параметры могут отличаться, поэтому при выборе сечения необходимо вводить поправочные коэффициенты, которые учитывают:

- фактическую температуру среды, если она отличается от расчетной;
- количество совместно проложенных кабелей (в пучке, лотке, коробе) – при групповой прокладке ухудшаются условия охлаждения;
- способ прокладки – в земле, на воздухе, в трубах, так как теплоотвод в разных средах существенно различается.

Выбор сечения по потере напряжения основан на том, что потеря напряжения в линии не должна превышать допустимых значений, установленных нормативными документами (обычно 2,5–5 % для силовых сетей, 2,5 % для осветительных) [8, 9, 26].

Для практических расчетов используют упрощенную формулу:

$$\Delta U = (P \cdot L) / (C \cdot S), \tag{4.19}$$

где C – коэффициент, зависящий от материала жил, напряжения и системы сети (для трехфазной сети 380/220 В с алюминиевыми жилами $C \approx 46$, с медными $C \approx 77$; P – активная мощность нагрузки, передаваемая по линии, кВт; L – длина линии, км.

Необходимое сечение по условию допустимой потери напряжения определяется по формуле:

$$S = (P \cdot L) / (C \cdot \Delta U_{доп}). \tag{4.20}$$

В nanoCAD BIM Электро расчет потерь напряжения выполняется на основе закона Ома для цепей переменного тока. При этом учитываются как активные (R), так и индуктивные (X) сопротивления каждого участка сети. Значения удельных активных и индуктивных сопротивлений для кабелей и проводов автоматически извлекаются программой из **Базы данных оборудования** в зависимости от выбранной марки, сечения и материала жил (медь или алюминий).

Проверка сечения на термическую стойкость к токам КЗ

Выбранное сечение должно выдерживать кратковременный нагрев при протекании тока короткого замыкания:

$$S \geqslant (I_{кз} \cdot \sqrt{t_{кз}}) / C_T, \quad (4.21)$$

где $I_{кз}$ – действующее значение тока КЗ; $t_{кз}$ – время отключения КЗ; C_T – коэффициент, зависящий от материала жил и допустимой температуры нагрева.

В программном комплексе nanoCAD BIM Электро реализован автоматизированный расчет кабеля на невозгорание в соответствии с методикой Циркуляра № Ц-02-98(Э). Данная функция является частью системы проверок, программа выполняет расчет для каждого фидера, сравнивая рассчитанную температуру жилы с предельными значениями, и выводит результат в виде сообщения о прохождении проверки.

Основная цель проверки – убедиться, что при протекании тока КЗ температура токопроводящей жилы кабеля не превысит предельно допустимых значений, при которых происходит разрыв оболочек и возгорание. Циркуляр устанавливает методику, направленную на предотвращение возгораний кабелей при длительных коротких замыканиях.

Определение температуры жилы до КЗ ($Q_н$) осуществляется по формуле из циркуляра:

$$Q_н = Q_о + (Q_{дд} - Q_{окр}) \cdot (I_{раб} / I_{дд})^2, \quad (4.22)$$

где $Q_о$ – фактическая температура окружающей среды (определяется по СП 131.13330);

$Q_{дд}$ – длительно допустимая температура жилы кабеля (по ПУЭ или каталогу производителя);

$Q_{окр}$ – расчетная температура окружающей среды для кабелей;

$I_{раб}$ – максимальный рабочий ток кабеля, А;

$I_{дд}$ – длительно допустимый ток кабеля, А.

Значение коэффициента K определяется по формуле из циркуляра:

$$K = (I_\infty)^2 \cdot t / S^2. \quad (4.23)$$

По найденным значениям $Q_н$ и K определяется конечная температура жилы $Q_к$. После этого значение $Q_к$ сравнивается с предельно допустимой температурой невозгорания, условие невозгорания выполняется, если $Q_к$ не превышает указанных значений [63].

Алгоритм выбора кабеля для заданной линии следующий:

1. **Определение расчетного тока** по известной мощности и напряжению.
2. **Предварительный выбор сечения по нагреву** – по табл. ПУЭ выбирается сечение с учетом поправочных коэффициентов.
3. **Проверка по потере напряжения** – рассчитывается для выбранного сечения. Если $\Delta U > \Delta U_{доп}$, сечение увеличивается.
4. **Проверка на термическую стойкость** – для линий, где возможны КЗ.
5. **Проверка по механической прочности** – сопоставление с минимальными допустимыми сечениями.
6. **Выбор конструктивного исполнения** – по условиям прокладки выбирается тип кабеля (бронированный, с защитным шлангом, специальное исполнение).
7. **Выбор материала жилы и типа изоляции** – в зависимости от объекта, условий среды, требований пожарной безопасности.

Для предприятий транспорта характерны следующие требования к выбору кабелей:

- ремонтные депо и мастерские – кабели с медными жилами, изоляцией ПВХнг(А)-LS (пониженная пожароопасность), при прокладке в цехах – защита от механических повреждений (бронированные кабели или прокладка в стальных трубах);
- мойки и окрасочные камеры – кабели с повышенной влагозащитой, кислотостойкой оболочкой, степень защиты IP67, обязательная прокладка в трубах;
- наружные установки – кабели, устойчивые к УФ-излучению, перепадам температур, с защитой от грызунов (бронированные);
- передвижные механизмы (краны, тельферы) – гибкие кабели с резиновой изоляцией (КГ, КПГ).

В программном комплексе nanoCAD BIM Электро выбор и проверка кабеля выполняются в процессе моделирования системы электроснабжения автоматизированно, а расчеты по проверке производятся автоматически:

1) **исходные данные** – расчетные токи определяются автоматически на основе свойств электроприемников и групповых характеристик (см. § 4.2);
2) **выбор кабеля из базы данных** осуществляется в окне свойств фидера или питающей линии, открывается **База данных оборудования**, где выбирается марка кабеля из библиотек производителей;
3) **автоматическая проверка** – программа проверяет выбранный кабель:
   - по допустимому току (с учетом поправочных коэффициентов);
   - по потере напряжения;
   - по термической стойкости к токам КЗ (при заданных параметрах источника);
4) **корректировка сечения** – при невыполнении условий **Мастер проверок** показывает, что следует изменить сечение кабеля;

5) **документирование** – информация о выбранных кабелях автоматически включается в спецификации и кабельный журнал.

Ошибки при выборе кабеля могут привести к серьезным последствиям:

1) **занижение сечения** – перегрев кабеля, ускоренное старение изоляции, короткое замыкание, пожар;
2) **завышение сечения** – неоправданное удорожание проекта, усложнение монтажа;
3) **неправильный выбор материала жил** – окисление контактов, нагрев, потеря соединений, пожароопасность;
4) **неправильный выбор изоляции** – разрушение под действием внешних факторов (УФ, влаги, химии), короткое замыкание;
5) **неправильный выбор конструкции** – повреждение при прокладке или эксплуатации (отсутствие брони при прокладке в земле, недостаточная гибкость для подвижных соединений) [2, 11, 49].

Контрольные вопросы к § 4.6

1. Какие факторы необходимо учитывать при выборе кабеля для системы электроснабжения?
2. Почему алюминиевые провода более пожароопасны по сравнению с медными? Ответ обоснуйте с позиций теплопроводности и температуры плавления.
3. Перечислите основные типы изоляции силовых кабелей и охарактеризуйте области их применения.
4. Что означают индексы «нг(А)», «LS», «HF» в маркировке кабелей? Для каких условий прокладки они предназначены?
5. Расшифруйте маркировку следующих кабелей: ВВГнг(А)-LS 5×16, АВБбШв 4×25, NYM 3×2,5, КГ 4×4.
6. Какие типы кабелей рекомендуется применять для внутренней электропроводки жилых и общественных зданий?
7. Опишите алгоритм выбора сечения кабеля по нагреву (по допустимому току).
8. Почему необходимо проверять выбранное сечение по допустимой потере напряжения?
9. Какие требования предъявляются к выбору кабелей для предприятий транспорта (депо, мастерские, мойки)?
10. К каким последствиям может привести занижение сечения кабеля? Ответ обоснуйте с позиций тепловых процессов.
11. Какие конструктивные особенности кабелей (бронированные, в защитном шланге) для каких условий прокладки предназначены?
12. Почему при групповой прокладке кабелей необходимо применять кабели с индексом «нг(А)»?

Для закрепления материала по данной главе пройдите тест, который находится на странице с дополнительными материалами (см. на стр. 7).

Практическое задание № 3

Тема: «Расчет электрических нагрузок, выбор и проверка силового трансформатора для системы электроснабжения производственного участка в nanoCAD BIM Электро».

Цель задания: закрепить теоретические знания и получить практические навыки:

- формирования технологического задания на электроприемники;
- выполнения автоматизированного расчета электрических нагрузок в nanoCAD BIM Электро;
- анализа результатов расчета (форма Ф636-92);
- выбора числа и мощности силовых трансформаторов с учетом категории надежности и послеаварийных режимов;
- настройки параметров источника питания (трансформатора) в программе.

Задание

Задание выполняется на основе результатов **Практических заданий № 1 и № 2**. Должны быть выполнены следующие этапы:

1) создан проект **Участок по ремонту электрооборудования подвижного состава (ЭПС)**;
2) настроены параметры проекта;
3) подключена архитектурная подоснова;
4) созданы этаж и помещения;
5) корректно рассчитано и размещено рабочее и аварийное освещение;
6) спроектирована розеточная сеть и размещены выключатели с полной комплектацией;
7) сформировано технологическое задание на 10 электроприемников с реальными параметрами;
8) созданы и настроены распределительные щиты, выполнена привязка фидеров к потребителям.

Все эти данные должны быть сохранены в проекте. Если какой-либо из этапов пропущен, необходимо вернуться к соответствующим заданиям и выполнить их.

1. **Сформировать Технологическое задание по заданному варианту.**

Откройте ранее созданный проект (из практического задания № 2) → на панели инструментов **Электрика** активируйте инструмент **Технологическое задание** → отредактируйте **Свойства ТО** для каждого электроприемника в соответствии с вашим вариантом из табл. 4.17. При необходимости добавьте недостающие ЭП (рис. 4.14).

Таблица 4.17. Перечень технологического оборудования производственного участка для выполнения практического задания

Вариант	№	Наименование ЭП	Тип нагрузки	Кол-во фаз	Наличие раб. нуля	Рном, кВт	cos φ	Кп	Ки	Режим работы	Категория надежности
1	1	Токарный обрабатывающий центр DMC DL8TH	Комплексный ЭП	3	Да	15	0,86	6,5	из базы	Длительный	II
	2	Вертикальный фрезерный центр B-Power LV-1160	Комплексный ЭП	3	Да	22	0,88	6,0	0,7	Длительный	II
	3	Калибровально-шлифовальный станок scm sd 60	Комплексный ЭП	3	Да	11	0,85	5,5	0,4	Длительный	II
	4	Сверлильный станок Stalex SDI-16T	Асинхронный двигатель	3	Нет	7,5	0,82	из базы	из базы	Длительный	III
	5	Правильно-отрезной станок TOR GT4-12	Асинхронный двигатель	3	Да	5,5	0,80	4,5	0,5	Кратковременный	III
	6	Гидравлический пресс 5403.4PL0	Комплексный ЭП	3	Да	15	0,84	5,0	0,22	Периодический	II
	7	Кран мостовой однобалочный	Асинхронный двигатель	3	Да	4,5	0,75	из базы	из базы	Периодический	II
	8	Сварочный инвертор MIG 350 TECH	Нагреватель	3	Нет	14	–	–	0,35	Периодический	II
	9	Окрасочный агрегат Handok hk	Асинхронный двигатель	3	Нет	9	0,83	5,5	0,8	Длительный	II
	10	Испытательный стенд ЭПС	Комплексный ЭП	3	Да	25	0,89	5,0	0,5	Длительный	I (особая)
2	1	Токарный станок с ЧПУ 16К20Ф3	Комплексный ЭП	3	Да	18	0,87	6,0	0,6	Длительный	II
	2	Горизонтально-фрезерный станок 6Р82	Комплексный ЭП	3	Да	11	0,84	5,5	0,5	Длительный	II
	3	Плоскошлифовальный станок 3Е711В	Комплексный ЭП	3	Да	7,5	0,83	5,0	0,4	Длительный	II
	4	Радиально-сверлильный станок 2М55	Асинхронный двигатель	3	Нет	5,5	0,81	5,5	0,3	Длительный	III

Продолжение табл. 4.17

Вариант	№	Наименование ЭП	Тип нагрузки	Кол-во фаз	Наличие раб. нуля	Рном, кВт	cos φ	Кп	Ки	Режим работы	Категория надежности
	5	Листогибочный пресс	Комплексный ЭП	3	Да	20	0,85	5,5	0,25	Кратковременный	II
	6	Кран-балка подвесная	Асинхронный двигатель	3	Да	3,5	0,72	5,0	0,2	Периодический	II
	7	Сварочный полуавтомат КЕДР MIG-250	Нагреватель	3	Нет	12	–	–	0,3	Периодический	II
	8	Окрасочная камера с вентиляцией	Асинхронный двигатель	3	Нет	11	0,82	5,0	0,7	Длительный	II
	9	Компрессор винтовой	Асинхронный двигатель	3	Да	22	0,86	6,0	0,8	Длительный	II
	10	Испытательный стенд высоковольтный	Комплексный ЭП	3	Да	30	0,9	4,5	0,4	Длительный	I (особая)
3	1	Токарно-винторезный станок 1К62	Комплексный ЭП	3	Да	10	0,85	5,5	0,5	Длительный	II
	2	Вертикально-фрезерный станок 6Т12	Комплексный ЭП	3	Да	9	0,83	5,0	0,45	Длительный	II
	3	Круглошлифовальный станок 3М151	Комплексный ЭП	3	Да	8	0,82	5,0	0,4	Длительный	II
	4	Настольно-сверлильный станок 2М112	Асинхронный двигатель	1	Нет	1,5	0,78	4,0	0,2	Длительный	III
	5	Гидравлический пресс П6328	Комплексный ЭП	3	Да	12	0,84	5,0	0,2	Периодический	II
	6	Тельфер электрический	Асинхронный двигатель	3	Да	2,5	0,7	5,0	0,15	Периодический	II
	7	Сварочный аппарат инверторный Ресанта САИ-220	Нагреватель	1	Нет	5	–	–	0,25	Кратковременный	II
	8	Насос центробежный	Асинхронный двигатель	3	Да	7	0,81	5,5	0,7	Длительный	II

Продолжение табл. 4.17

Вариант	№	Наименование ЭП	Тип нагрузки	Кол-во фаз	Наличие раб. нуля	Рном, кВт	cos φ	Кп	Ки	Режим работы	Категория надежности
	9	Вентилятор осевой	Асинхронный двигатель	3	Да	4	0,8	5,0	0,7	Длительный	II
	10	Испытательный стенд электроники	Комплексный ЭП	3	Да	20	0,88	5,0	0,6	Длительный	I (особая)
4	1	Токарный станок HAAS ST-20	Комплексный ЭП	3	Да	25	0,89	6,5	0,7	Длительный	II
	2	Фрезерный станок HAAS VF-2	Комплексный ЭП	3	Да	20	0,88	6,0	0,65	Длительный	II
	3	Шлифовальный станок Okamoto	Комплексный ЭП	3	Да	12	0,84	5,5	0,45	Длительный	II
	4	Вертикально-сверлильный станок 2Н135	Асинхронный двигатель	3	Нет	4	0,8	5,0	0,25	Длительный	III
	5	Пресс кривошипный КД2128	Комплексный ЭП	3	Да	17	0,85	5,5	0,3	Кратковременный	II
	6	Кран мостовой двухбалочный	Асинхронный двигатель	3	Да	7	0,73	5,5	0,2	Кратковременный	II
	7	Сварочный выпрямитель ВД-306	Нагреватель	3	Нет	20	–	–	0,4	Периодический	II
	8	Установка окраски электростатическая	Комплексный ЭП	3	Да	6	0,82	4,5	0,5	Длительный	II
	9	Компрессор поршневой	Асинхронный двигатель	3	Да	11	0,83	5,5	0,7	Длительный	II
	10	Стенд испытания электродвигателей	Комплексный ЭП	3	Да	35	0,9	5,0	0,55	Длительный	I (особая)
5	1	Токарный станок с ЧПУ Mazak	Комплексный ЭП	3	Да	28	0,9	6,5	0,7	Длительный	II
	2	Обрабатывающий центр DMG Mori	Комплексный ЭП	3	Да	32	0,91	6,0	0,75	Длительный	II

Продолжение табл. 4.17

Вариант	№	Наименование ЭП	Тип нагрузки	Кол-во фаз	Наличие раб. нуля	Рном, кВт	cos φ	Кп	Ки	Режим работы	Категория надежности
	3	Координатно-расточной станок	Комплексный ЭП	3	Да	9	0,84	5,0	0,4	Длительный	II
	4	Сверлильный станок JET JDP-17	Асинхронный двигатель	1	Нет	1,1	0,77	4,0	0,2	Длительный	III
	5	Пресс гидравлический 100т	Комплексный ЭП	3	Да	22	0,86	5,5	0,25	Кратковременный	II
	6	Кран консольный поворотный	Асинхронный двигатель	3	Да	3	0,71	5,0	0,2	Кратковременный	II
	7	Сварочный аппарат Fubag IN 163	Нагреватель	1	Нет	3,5	–	–	0,3	Кратковременный	II
	8	Краскопульт электрический	Асинхронный двигатель	1	Нет	0,5	0,75	3,0	0,8	Длительный	II
	9	Вентилятор радиальный	Асинхронный двигатель	3	Да	5,5	0,81	5,0	0,7	Длительный	II
	10	Стенд испытаний высоковольтный	Комплексный ЭП	3	Да	40	0,92	5,0	0,5	Длительный	I (особая)
6	1	Токарный станок 16К40	Комплексный ЭП	3	Да	20	0,87	6,0	0,6	Длительный	II
	2	Продольно-фрезерный станок	Комплексный ЭП	3	Да	18	0,86	5,5	0,55	Длительный	II
	3	Внутришлифовальный станок	Комплексный ЭП	3	Да	6	0,82	5,0	0,4	Длительный	II
	4	Станок сверлильный настольный	Асинхронный двигатель	1	Нет	0,75	0,76	4,0	0,2	Длительный	III
	5	Пресс эксцентриковый	Комплексный ЭП	3	Да	14	0,84	5,5	0,3	Кратковременный	II
	6	Таль электрическая канатная	Асинхронный двигатель	3	Да	2	0,7	5,0	0,15	Периодический	II
	7	Сварочный трансформатор ТДМ-401	Нагреватель	3	Нет	25	–	–	0,4	Периодический	II

Продолжение табл. 4.17

Вариант	№	Наименование ЭП	Тип нагрузки	Кол-во фаз	Наличие раб. нуля	Рном, кВт	cos φ	Кп	Ки	Режим работы	Категория надежности
	8	Установка пневмораспыления	Комплексный ЭП	3	Да	3	0,78	4,0	0,5	Длительный	II
	9	Насос вакуумный	Асинхронный двигатель	3	Да	8	0,82	5,5	0,7	Длительный	II
	10	Стенд для испытания трансформаторов	Комплексный ЭП	3	Да	45	0,93	5,0	0,6	Длительный	I (особая)
7	1	Токарный автомат продольного точения	Комплексный ЭП	3	Да	12	0,85	5,5	0,5	Длительный	II
	2	Фрезерный станок с ЧПУ Deckel Maho	Комплексный ЭП	3	Да	17	0,86	6,0	0,6	Длительный	II
	3	Шлифовальный станок для шеек валов	Комплексный ЭП	3	Да	14	0,85	5,5	0,45	Длительный	II
	4	Сверлильный станок радиальный	Асинхронный двигатель	3	Нет	3	0,79	5,0	0,2	Длительный	III
	5	Пресс гидравлический П-6320	Комплексный ЭП	3	Да	18	0,85	5,5	0,25	Кратковременный	II
	6	Кран козловой	Асинхронный двигатель	3	Да	8	0,74	5,5	0,2	Периодический	II
	7	Сварочный инвертор Aurora PRO 200	Нагреватель	1	Нет	4	–	–	0,3	Периодический	II
	8	Окрасочная кабина с вентиляцией	Комплексный ЭП	3	Да	15	0,84	5,0	0,7	Длительный	II
	9	Вентилятор крышный	Асинхронный двигатель	3	Да	3	0,78	5,0	0,7	Длительный	II
	10	Стенд проверки релейной защиты	Комплексный ЭП	3	Да	5	0,8	4,0	0,5	Длительный	I (особая)

Продолжение табл. 4.17

Вариант	№	Наименование ЭП	Тип нагрузки	Кол-во фаз	Наличие раб. нуля	Рном, кВт	cos φ	Кп	Ки	Режим работы	Категория надежности
8	1	Токарный станок с револьверной головкой	Комплексный ЭП	3	Да	14	0,86	5,5	0,55	Длительный	II
	2	Шпоночно-фрезерный станок	Комплексный ЭП	3	Да	8	0,83	5,0	0,4	Длительный	II
	3	Координатно-шлифовальный станок	Комплексный ЭП	3	Да	10	0,84	5,5	0,4	Длительный	II
	4	Станок сверлильный двухшпиндельный	Асинхронный двигатель	3	Нет	6	0,81	5,0	0,25	Длительный	III
	5	Пресс механический кривошипный	Комплексный ЭП	3	Да	16	0,85	5,5	0,3	Периодический	II
	6	Кран мостовой электрический	Асинхронный двигатель	3	Да	5	0,72	5,0	0,2	Периодический	II
	7	Сварочный аппарат многопостовой	Нагреватель	3	Нет	30	–	–	0,5	Периодический	II
	8	Компрессорная установка	Комплексный ЭП	3	Да	30	0,87	6,0	0,8	Длительный	II
	9	Вентилятор дымоудаления	Асинхронный двигатель	3	Да	12	0,83	5,5	0,7	Длительный	II
	10	Стенд нагрузочный для генераторов	Комплексный ЭП	3	Да	50	0,94	5,0	0,55	Длительный	I (особая)
9	1	Токарный станок с ЧПУ ТПК-125	Комплексный ЭП	3	Да	19	0,87	6,0	0,6	Длительный	II
	2	Фрезерный станок широкоуниверсальный	Комплексный ЭП	3	Да	13	0,85	5,5	0,5	Длительный	II
	3	Бесцентрово-шлифовальный станок	Комплексный ЭП	3	Да	9	0,83	5,0	0,4	Длительный	II
	4	Сверлильный станок с автоматической подачей	Асинхронный двигатель	3	Да	4	0,8	5,0	0,3	Длительный	III
	5	Пресс гидравлический для правки	Комплексный ЭП	3	Да	21	0,86	5,5	0,25	Кратковременный	II

Окончание табл. 4.17

Вариант	№	Наименование ЭП	Тип нагрузки	Кол-во фаз	Наличие раб. нуля	Рном, кВт	cos φ	Кп	Ки	Режим работы	Категория надежности
	6	Электроталь с тележкой	Асинхронный двигатель	3	Да	2,8	0,7	5,0	0,2	Периодический	II
	7	Сварочный аппарат для полиэтиленовых труб	Нагреватель	3	Нет	8	–	–	0,4	Периодический	II
	8	Установка окрашивания автоматическая	Комплексный ЭП	3	Да	18	0,85	5,5	0,6	Длительный	II
	9	Насос шестеренчатый	Асинхронный двигатель	3	Да	5,5	0,81	5,0	0,7	Длительный	II
	10	Стенд испытания высоковольтных кабелей	Комплексный ЭП	3	Да	38	0,92	5,0	0,5	Длительный	I (особая)
10	1	Токарный станок с ЧПУ Okuma	Комплексный ЭП	3	Да	24	0,89	6,5	0,7	Длительный	II
	2	Фрезерный станок Hermle	Комплексный ЭП	3	Да	26	0,9	6,0	0,7	Длительный	II
	3	Зубошлифовальный станок	Комплексный ЭП	3	Да	16	0,86	5,5	0,45	Длительный	II
	4	Станок для сверления глубоких отверстий	Асинхронный двигатель	3	Да	9	0,83	5,5	0,3	Длительный	III
	5	Пресс гидравлический 160 т	Комплексный ЭП	3	Да	30	0,88	5,5	0,25	Периодический	II
	6	Кран мостовой специальный	Асинхронный двигатель	3	Да	6	0,73	5,5	0,2	Периодический	II
	7	Сварочный инвертор Kemppi	Нагреватель	3	Нет	18	–	–	0,4	Периодический	II
	8	Окрасочный робот	Комплексный ЭП	3	Да	5	0,8	4,0	0,6	Длительный	II
	9	Центробежный насос	Асинхронный двигатель	3	Да	10	0,82	5,5	0,7	Длительный	II
	10	Стенд диагностики электрооборудования	Комплексный ЭП	3	Да	12	0,85	5,0	0,55	Длительный	I (особая)

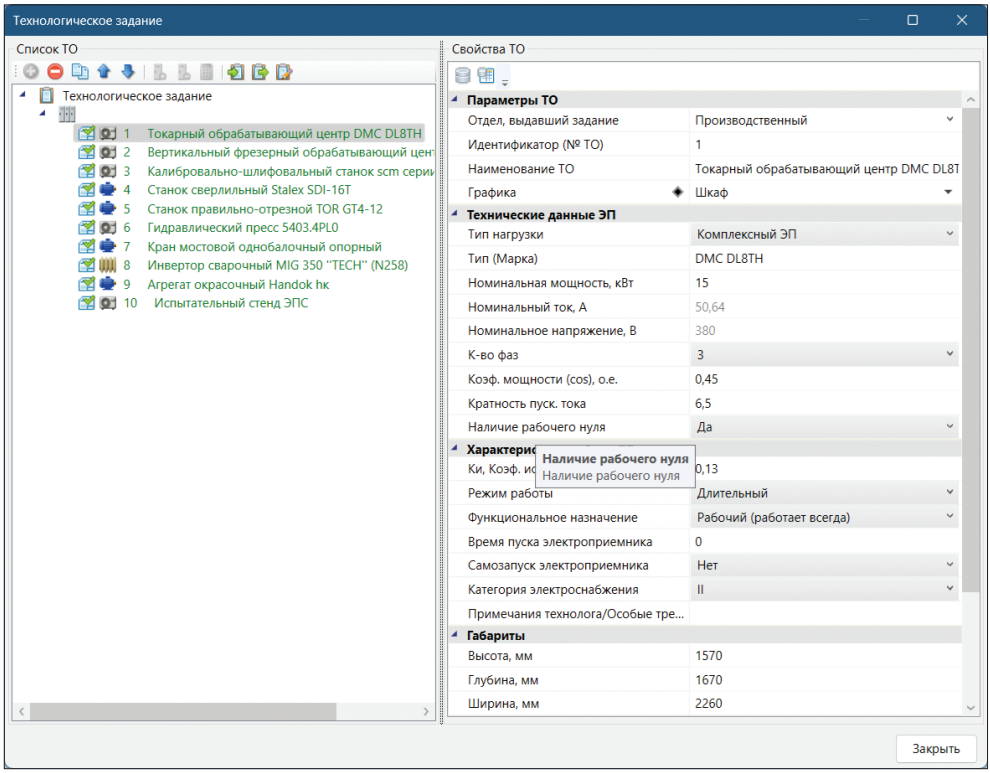


Рис. 4.14. Пример выполнения п. 1 практического задания № 3

2. **Рассчитать электрические нагрузки** (рис. 4.15).

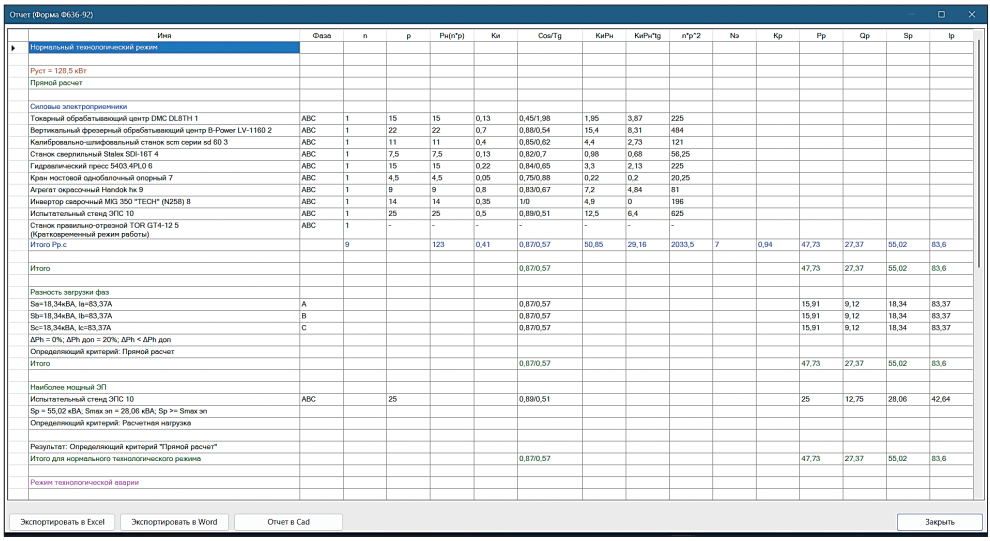


Рис. 4.15. Пример выполнения п. 2 практического задания № 3

По итогам редактирования **Технологического задания** программа автоматически выполнит расчет нагрузок; для просмотра результатов в окне **Технологическое задание** выберите пункт **Расчет электрической нагрузки** (см. рис. 4.4).

На экране отобразится отчет по форме Ф636-92 (см. рис. 4.5), содержащий:

- расчетную активную мощность P_p, кВт;
- расчетную реактивную мощность Q_p, квар;
- расчетную полную мощность S_p, кВА;
- средневзвешенный коэффициент мощности cos φ;
- расчетный ток I_p, А.

3. **Выбрать мощность трансформатора.**

На основе полученных данных выполните выбор трансформатора, следуя приведенному ниже алгоритму.

Пример расчета:

Для ремонтного депо в отчете (форма Ф636-92) получены следующие значения:

- P_p = 350 кВт;
- Q_p = 210 квар;
- S_p ≈ 408 кВА;
- cos φ = 0,86.
- Категория надежности потребителей – II (смешанная нагрузка: станки, вентиляция, освещение, сварочные аппараты).

Выбор числа трансформаторов:

Так как имеются потребители I категории (испытательный стенд), принимаем двухтрансформаторную подстанцию с коэффициентом загрузки β = 0,7.

Расчет номинальной мощности:

$$S_p \geqslant 408 / (2 \cdot 0{,}7) = 291{,}4 \text{ кВА}.$$

Округляем до ближайшего стандартного значения – 2 × 400 кВА.

Проверка по послеаварийному режиму:

При отключении одного трансформатора оставшийся должен обеспечить питание потребителей I и II категорий. Примем, что нагрузка I и II категорий составляет 70 % от общей:

$$S_{I+II} = 0{,}7 \cdot 408 = 285{,}6 \text{ кВА}.$$

Допустимая послеаварийная перегрузка – 40 % (коэффициент 1,4). Условие выбора:

$$S_{ном} \geqslant 285{,}6 / 1{,}4 = 204 \text{ кВА}.$$

Принятый трансформатор 400 кВА полностью удовлетворяет условию. Окончательно принимаем двухтрансформаторную подстанцию с трансформаторами типа ТМГ-400/10/0,4.

3.2. По аналогии выполните расчет для своего варианта, используя данные из отчета Ф636-92.

4. **Рассчитать ток короткого замыкания на высокой стороне.**

Для настройки параметров источника питания в nanoCAD BIM Электро необходимо знать значение тока короткого замыкания на высокой стороне (10 кВ). Если в технических условиях это значение не задано, его можно определить приближенно по мощности питающей системы или по мощности трансформатора.

Расчет по мощности трансформатора (упрощенный):

Для предварительных расчетов можно использовать приближенную формулу, связывающую ток КЗ на высокой стороне с параметрами трансформатора:

$$I_{кз}^{ВН} \approx S_{ТР} / (u_к \cdot \sqrt{3} \cdot U_{ном}), \quad (4.24)$$

где $u_к$ – напряжение короткого замыкания трансформатора (для трансформаторов 6–10/0,4 кВ обычно $u_к = 0{,}045–0{,}055$ (см. в технических характеристиках выбранного трансформатора).

Рассчитайте ток короткого замыкания по формуле.

На практике ток КЗ на высокой стороне задается энергоснабжающей организацией и может достигать 8–12 кА.

5. **Настроить источник питания для ВРУ.**

На плане здания перейдите в помещение **Электрощитовая** и откройте окно **Свойства конструктива** для щита **ВРУ** → в блоке **Характеристика подключения** выберите способ задания параметров вышестоящей сети – **Трансформатор + кабели** (рис. 4.6) → нажмите кнопку добавления трансформатора и выберите из **Базы данных оборудования** трансформатор, соответствующий принятому типоразмеру (например, ТМГ-400/10/0,4, схема соединения: Δ/Yн) → в поле **Ток КЗ на высокой стороне** укажите значение, определенное в п. 4 (например, 10 кА) → программа автоматически рассчитает сопротивления системы (рис. 4.16).

6. **Завершить работу и сохранить проект.**

Сохраните все изменения через **Менеджер проекта** → **Сохранить все** → экспортируйте перечень электроприемников во внешний файл → в окне **Технологическое задание** нажмите кнопку **Экспорт списка ЭП** → выберите формат **.xml** или **.csv** и укажите место сохранения.

Критерии правильного выполнения задания

1. **Корректно заполнено Технологическое задание** в соответствии с вариантом.
2. **Получен и проанализирован отчет по форме Ф636-92.**
3. **Правильно выполнен выбор числа и мощности трансформатора** с учетом категории надежности и послеаварийного режима.
4. **Обоснованно принято значение тока КЗ на высокой стороне** (расчет или выбор по варианту).

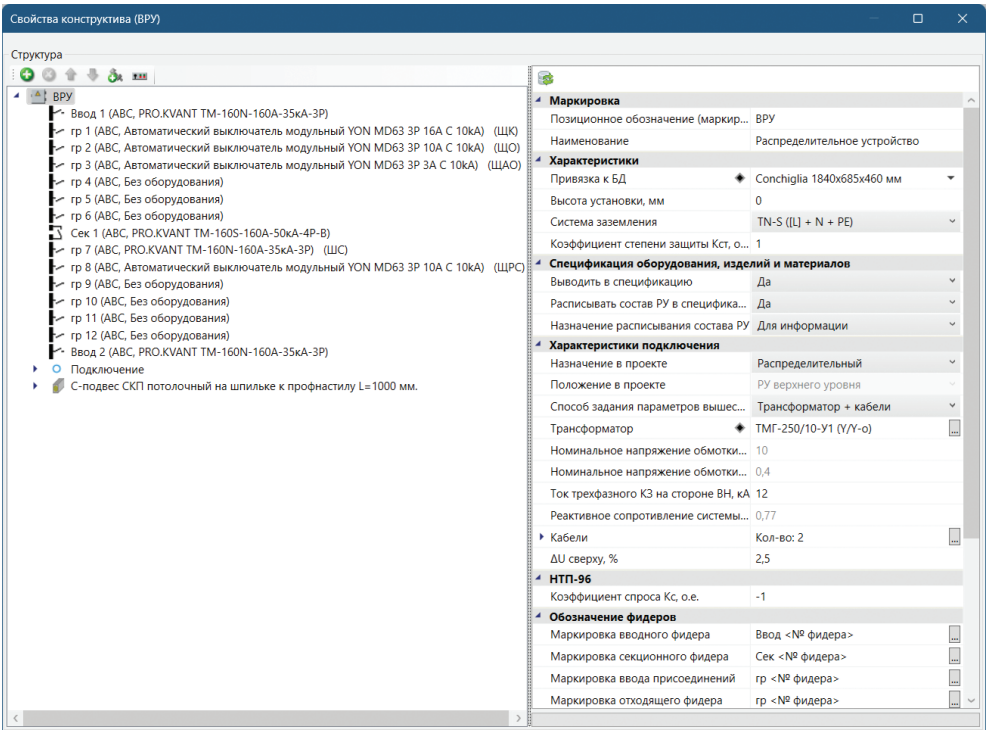


Рис. 4.16. Пример выполнения пп. 3, 4, 5 практического задания № 3

5. **В программе корректно настроен источник питания** (трансформатор + кабели), задан ток КЗ на высокой стороне.
6. **Проект сохранен, выполнена выгрузка данных.**

   Примечание: для вариантов, где в таблице указано «выбрать из базы», обучающийся должен самостоятельно определить коэффициент использования Ки по справочным данным (например, из учебника или встроенной **Базы Ки** программы).

Задание считается выполненным, если обучающийся продемонстрировал все этапы работы в программе, корректно заполнил **Технологическое задание**, выбрал трансформатор, корректно настроил источник питания и сохранил изменения в проекте. Ошибки, выявленные в процессе выполнения задания (например, несоответствие выбранного трансформатора расчетной нагрузке, некорректно заданный ток КЗ на высокой стороне), должны быть устранены до момента сдачи работы. При наличии ошибок задание возвращается на доработку с указанием конкретных замечаний.

ГЛАВА 5

Разработка и проверка электротехнической модели системы электроснабжения в nanoCAD BIM Электро

§ 5.1. Распределение и подключение электроприемников в nanoCAD BIM Электро

После того как все элементы системы электроснабжения (светильники, выключатели, розетки, силовое оборудование, распределительные щиты) размещены на плане в соответствии с архитектурной подосновой, перед проектировщиком возникает ключевая задача – создать логические связи между ними, необходимо указать программе, какой именно выключатель управляет какой группой светильников, от какого щита и через какой фидер запитан каждый потребитель. В nanoCAD BIM Электро эта задача решается в рамках электротехнической модели (ЭТМ).

Электротехническая модель ЭТМ – это не просто графическое представление соединений, а структурированная база данных, содержащая полную информацию о всех электрических связях проекта, параметрах фидеров, характеристиках подключенного оборудования и результатах расчетов. Именно в ЭТМ происходит формирование логических связей информационной модели системы электроснабжения [40, 46].

Основные возможности и функции ЭТМ:

1) **управление подключениями** – создание, редактирование и удаление связей между элементами;
2) **контроль топологии сети** – отображение иерархии «источник → распределительное устройство → потребитель»;
3) **визуализация электрических параметров** – расчетные токи, потери напряжения, токи КЗ для каждого фидера (питающей или отходящей линии);
4) **выбор оборудования** – подбор кабелей и аппаратов защиты на основе расчетных данных.

Интерфейс окна электротехнической модели (ЭТМ) (рис. 5.1) является наиболее удобным пространством для контроля и редактирования всех созданных связей. Оно имеет иерархическую структуру, отражающую топологию сети.

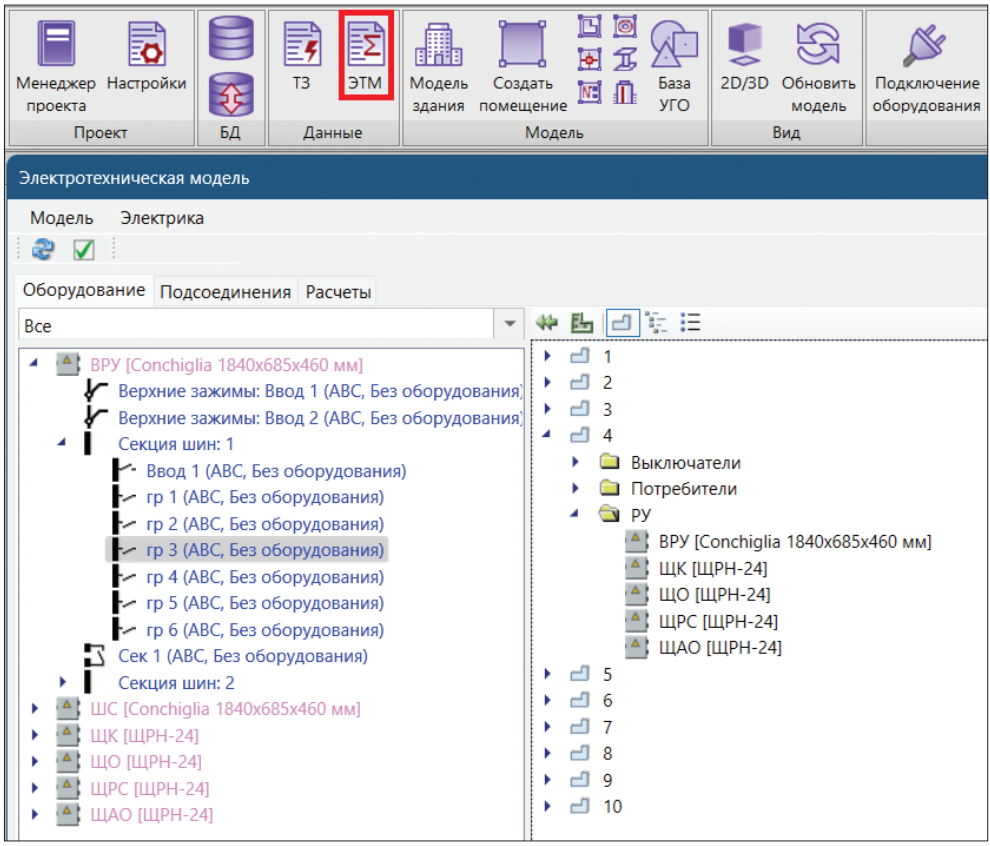


Рис. 5.1. Окно ЭТМ с развернутым деревом проекта и списком оборудования

Структура окна ЭТМ включает в себя три основные вкладки (рис. 5.2):

1) **Оборудование** – содержит информацию обо всем оборудовании, присутствующем в информационной модели. С помощью этой вкладки можно подключать оборудование к фидерам распределительных устройств (РУ), а также быстро находить объекты-потребители на плане;
2) **Подсоединения** – отображает подробную структуру электрической сети, показывая путь прохождения кабеля от фидера до конечного электроприемника. В данной вкладке осуществляется выбор кабелей из базы данных, а также назначение коммутационных аппаратов, счетчиков и другой аппаратуры;
3) **Расчеты** – содержит визуально наглядные результаты проверок по выполненным расчетам, а также сами проверки (например, соответствие номинального тока автомата расчетному току и др.).

Инструменты окна ЭТМ позволяют увидеть всю иерархию питания от вводного устройства до конечного потребителя, контролировать отсутствие подключений, подключение, отключение и изменение параметров можно выполнять для групп элементов, а все изменения немедленно отражаются на результатах электротехнических расчетов.

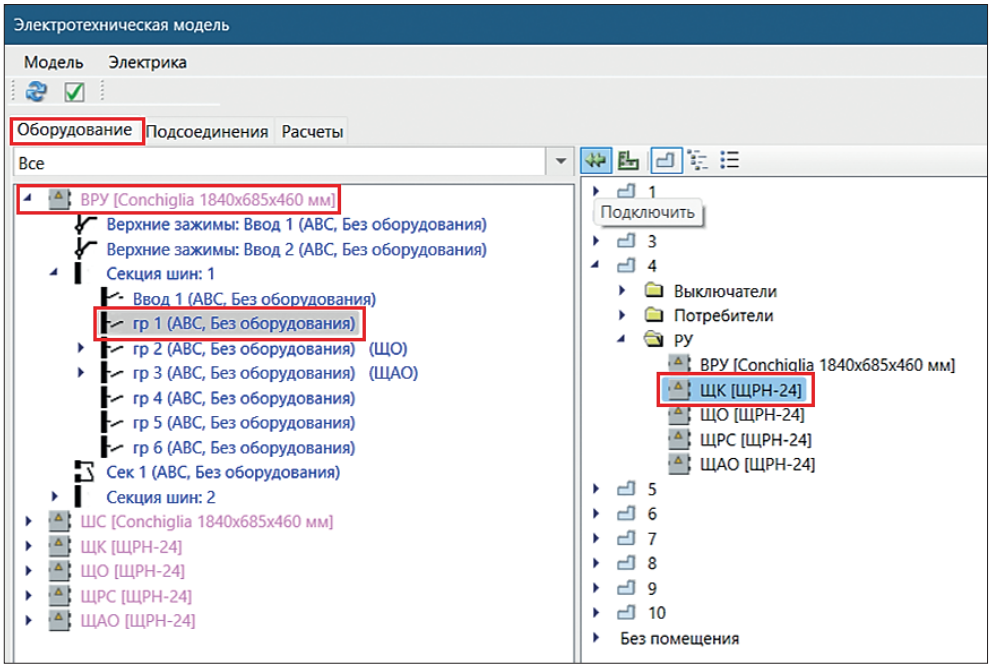


Рис. 5.2. Окно интерфейса ЭТМ с развернутым деревом модели и списком оборудования

Процесс создания электрических связей в проекте рекомендуется выполнять в определенной последовательности, отражающей реальную иерархию питания: от источника (ВРУ) к распределительным щитам, а затем к конечным потребителям. Такой подход гарантирует целостность модели и корректность всех последующих расчетов. В nanoCAD BIM Электро этот процесс может быть реализован как через окно электротехнической модели (ЭТМ), так и с помощью **Мастера подключения оборудования** [6, 40].

Прежде чем приступать к подключениям, необходимо убедиться, что в каждом распределительном щите создано необходимое количество фидеров (питающих линий).

При создании фидера можно сразу выбрать коммутационный аппарат (автоматический выключатель, рубильник) или оставить выбор на потом. Для упрощения на начальном этапе можно создать фидеры без указания конкретного аппарата, программа позволит добавить их позднее.

Все нижестоящие щиты (освещения, силовые, этажные) должны быть подключены к отходящим фидерам ВРУ.

Рассмотрим порядок подключения электроприемников через ЭТМ:

1. Открыть окно электротехнической модели (ЭТМ) → во вкладке **Оборудование** (левая часть окна) найти раздел, соответствующий ВРУ → развернуть его, чтобы увидеть список всех отходящих фидеров (рис. 5.2).
2. Выбрать слева отходящий фидер ВРУ, к которому планируется подключить нижестоящий по иерархии щит → справа в списке выбрать щит или любой другой электроприемник, который необходимо подключить к ВРУ или к другому щиту. Обратите внимание: в списке отображаются только те щиты, у которых есть свободный вводной фидер. **Если у щита не создан вводной фидер, он не будет доступен для подключения.**

Выбрать пункт **Подключить** оборудование (рис. 5.3) → программа создаст логическую связь, и в ЭТМ нижестоящий щит или электроприемник отобразится как вложенный элемент соответствующего фидера ВРУ или другого щита.

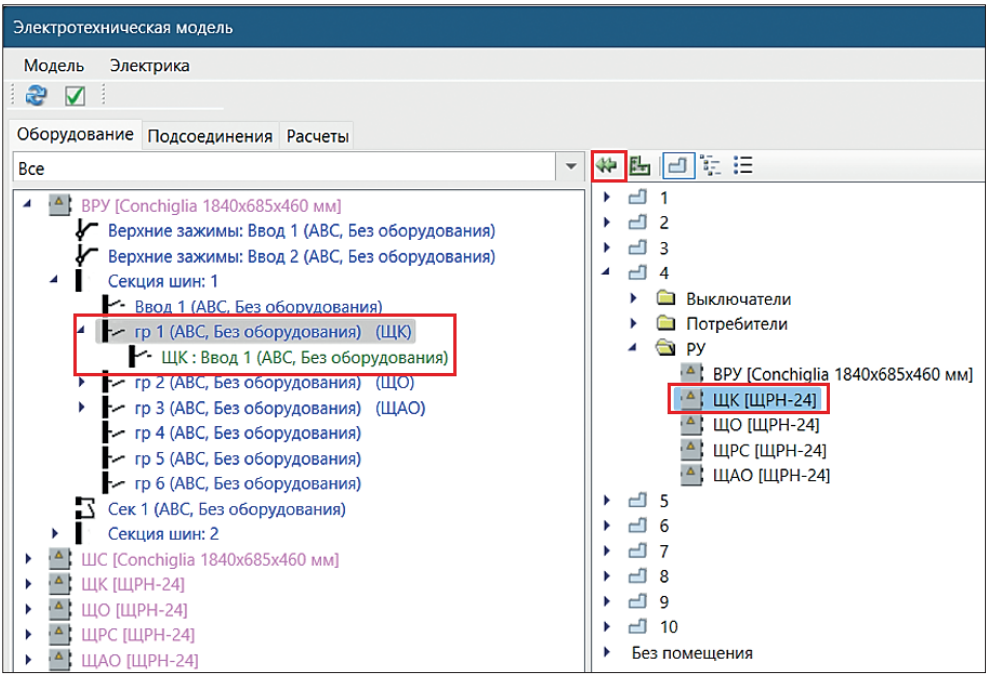


Рис. 5.3. Окно интерфейса ЭТМ → подключение электрических щитов

Если в проекте присутствуют промежуточные распределительные щиты (например, силовые шкафы, питающие группы станков, щиты аварийного освещения или компьютерные щиты), процедура их подключения аналогична описанной выше. Такие щиты подключаются к отходящим фидерам щитов более высокого уровня (например, к ВРУ или к главному распределительному щиту). Важно соблюдать иерархию, каждый щит должен иметь один источник питания (за исключением щитов с двумя вводами, где создаются два вводных фидера, например ВРУ или ГРЩ).

После того как иерархия щитов сформирована, можно приступать к подключению конечных потребителей: розеток, светильников, силового оборудования (станков, вентиляторов, насосов). Здесь возможны два основных сценария:

1) **прямое подключение к фидеру щита** (для розеток, одиночных светильников или оборудования без промежуточных устройств управления, например контакторов, пускателей или выключателей);
2) **подключение через выключатель или контактор (пускатель)** (для светильников или силового электрооборудования, управляемых выключателями либо контакторами (пускателями)).

Рассмотрим каждый сценарий подробно. Розетки, как правило, подключаются непосредственно к отходящим фидерам групповых щитков (ЩРС, ЩО). Аналогично подключаются одиночные электроприемники (например, кондиционеры, тепловые завесы), если они не требуют промежуточного управления. Порядок действий следующий:

1. В окне ЭТМ необходимо выбрать щит, к которому нужно подключить розетки (например, ЩРС) → затем развернуть его и выбрать отходящий фидер, предназначенный для розеточной группы. Если такого фидера нет, то его следует создать.
2. Выбрать команду **Подключить** оборудование (рис. 5.4) → программа создаст логическую связь, в ЭТМ розетки отобразятся как вложенный элемент соответствующего фидера щита.

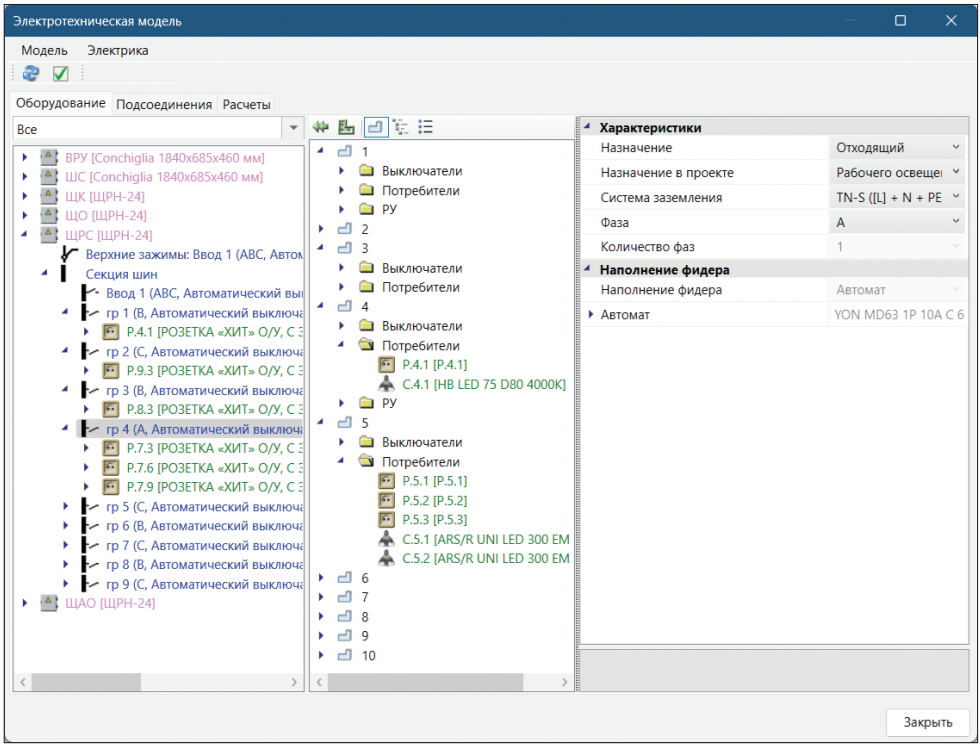


Рис. 5.4. Окно интерфейса ЭТМ → подключение розеток

Важно: если розетка уже была подключена к другому фидеру, то программа автоматически переподключит ее к указанному фидеру.

Рассмотрим второй сценарий на примере подключения светильников через выключатели. Светильники могут управляться одноклавишными, двухклавишными или проходными выключателями. В nanoCAD BIM Электро реализован механизм, позволяющий корректно моделировать такие схемы [40, 46].

Сначала к отходящей линии выбранного щита подключается сам выключатель (как обычный потребитель) → а затем к выключателю подключаются светильники. При этом программа автоматически создает необходимые связи «щит → выключатель → светильник» и принимает для расчетов количество жил в кабеле. Для одновременного выбора нескольких электроприемников, подключаемых к одной отходящей линии (фидеру) или к одному выключателю, следует нажать и удерживать клавишу **Ctrl**, после чего левой кнопкой мыши отметить каждый требуемый элемент (рис. 5.5).

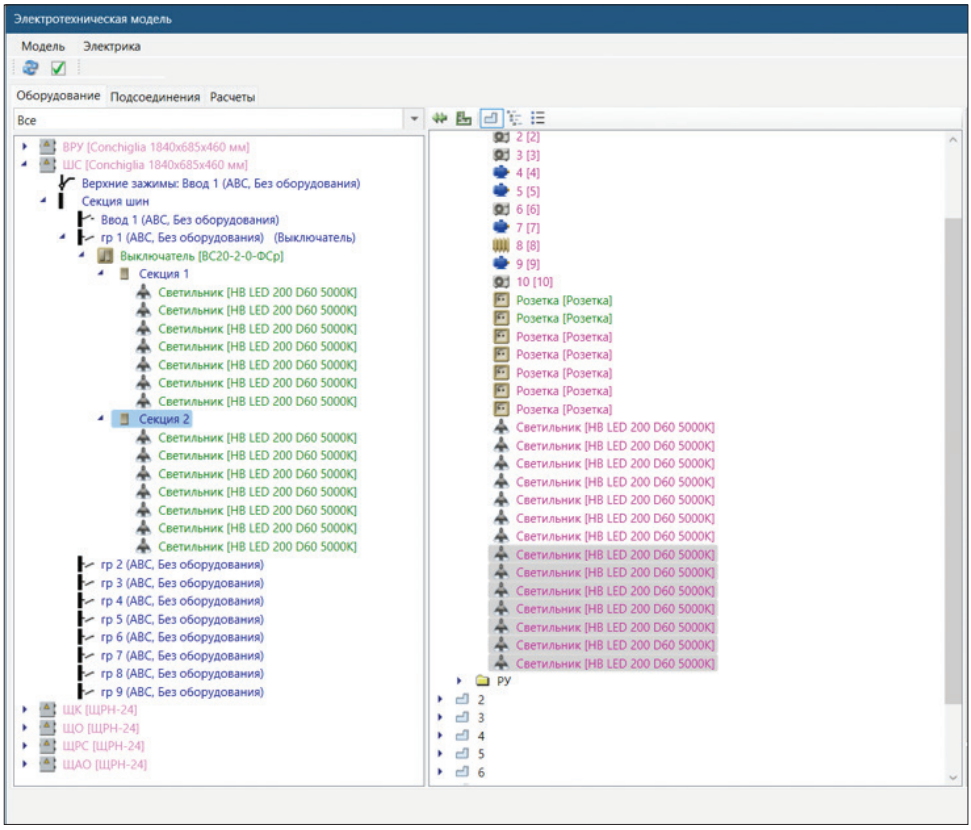


Рис. 5.5. Окно интерфейса ЭТМ → подключение выключателей → светильников

Особые случаи:

- подключение люстры к двухклавишному выключателю осуществляется путем моделирования раздельного включения групп ламп в люстре, для этого необходимо в свойствах светильника задать параметр **Количество дополнительных фазных жил** равным 1. Это обеспечит расчет кабеля 4×1,5 мм² (фаза, две управляющие жилы, ноль, защита) и правильное отображение схемы;

- проходные выключатели: поддерживаются схемы управления освещением из двух и более точек, для их реализации необходимо использовать специальные типы выключателей (проходные) и последовательно соединять их, указывая логику работы.

Для трехфазных электроприемников (станки, насосы, вентиляторы) подключение выполняется непосредственно к силовым фидерам распределительных щитов (ШР, ШС). Порядок действий аналогичен подключению розеток, но с учетом трехфазного питания. Если оборудование требует подключения нейтрали (например, станки с цепями управления 220 В), в его свойствах должен быть установлен признак **Наличие рабочего нуля**. Тогда программа будет учитывать в расчетах пятижильный кабель (3L+N+PE) (рис. 5.6) [49].

Процесс построения модели системы электроснабжения и создания электрических связей в проекте в nanoCAD BIM Электро может быть реализован не только с помощью ЭТМ, но и с помощью инструмента **Мастер подключения оборудования**.

Мастер подключения оборудования – это специализированный инструмент nanoCAD BIM Электро, предназначенный для создания электрических связей между элементами системы, он позволяет проектировщику в наглядном интерактивном режиме указать, каким образом различные устройства соединяются друг с другом.

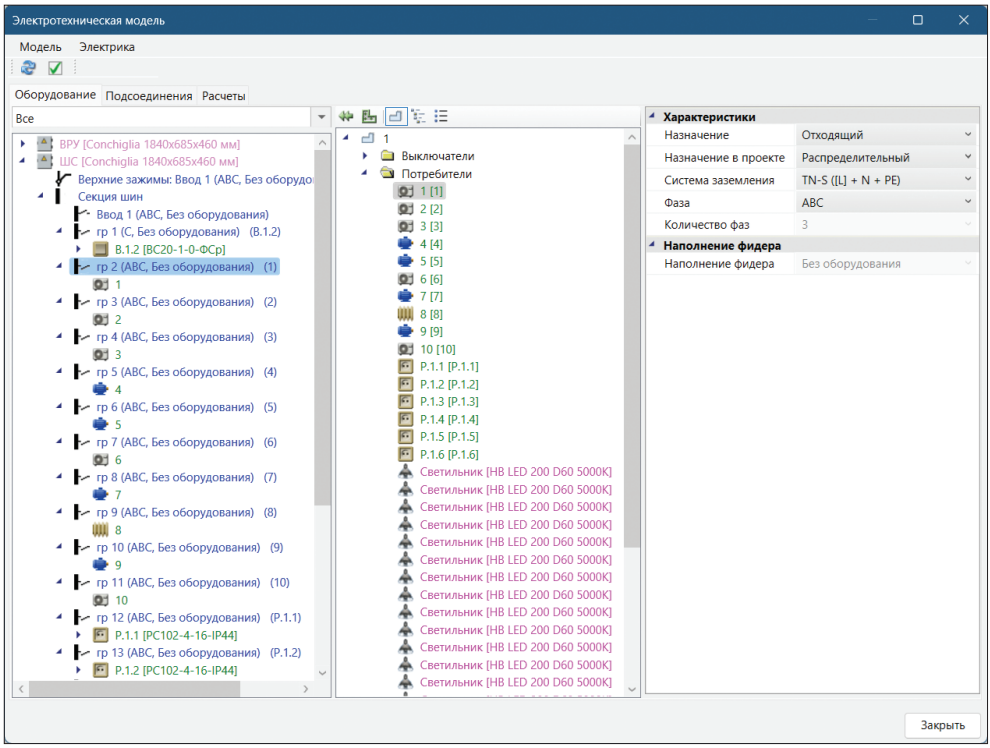


Рис. 5.6. Окно интерфейса ЭТМ → подключение трехфазных и комплексных электроприемников

Мастер подключения активизируется с панели инструментов вкладки **Электрика**, группа **Подключение оборудования**. Интерфейс мастера представляет собой диалоговое окно, в левой части которого отображается дерево доступных для подключения фидеров или клемм, а в правой – список оборудования, которое может быть подключено (рис. 5.7). Удобство **Мастера подключения** заключается в том, что проектировщик может на плане выбрать, что и к чему он хочет подключить.

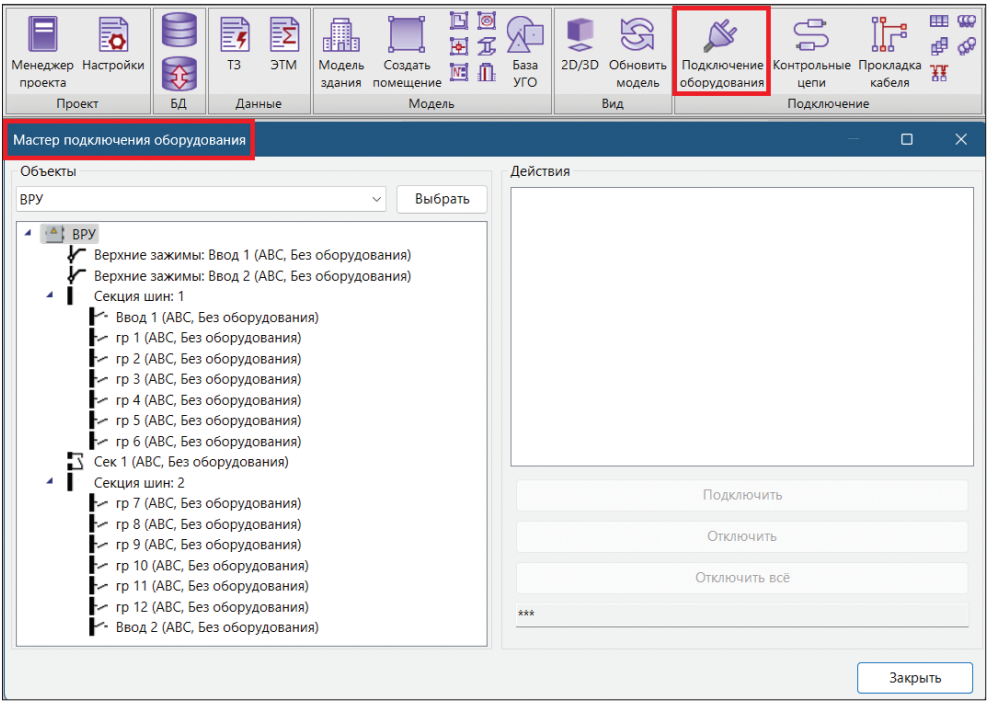


Рис. 5.7. Окно интерфейса **Мастер подключения оборудования**

Рассмотрим алгоритм работы с **Мастером подключений**. На плане необходимо выделить устройство, к которому требуется подключить элементы проекта (например, щит или выключатель) → вызвать команду **Подключить оборудование** → в открывшемся окне выбрать фидер, к которому должны быть подключены обозначенные проектировщиком устройства (щиты, выключатели, светильники, электроприемники) → двойным нажатием кнопки **Ввод** подтверждается подключение.

Так же, как и в ЭТМ, для выключателей выполняется распределение по клавишам и т. п. После подтверждения выбора программа создает логические связи, которые отображаются в ЭТМ (рис. 5.8).

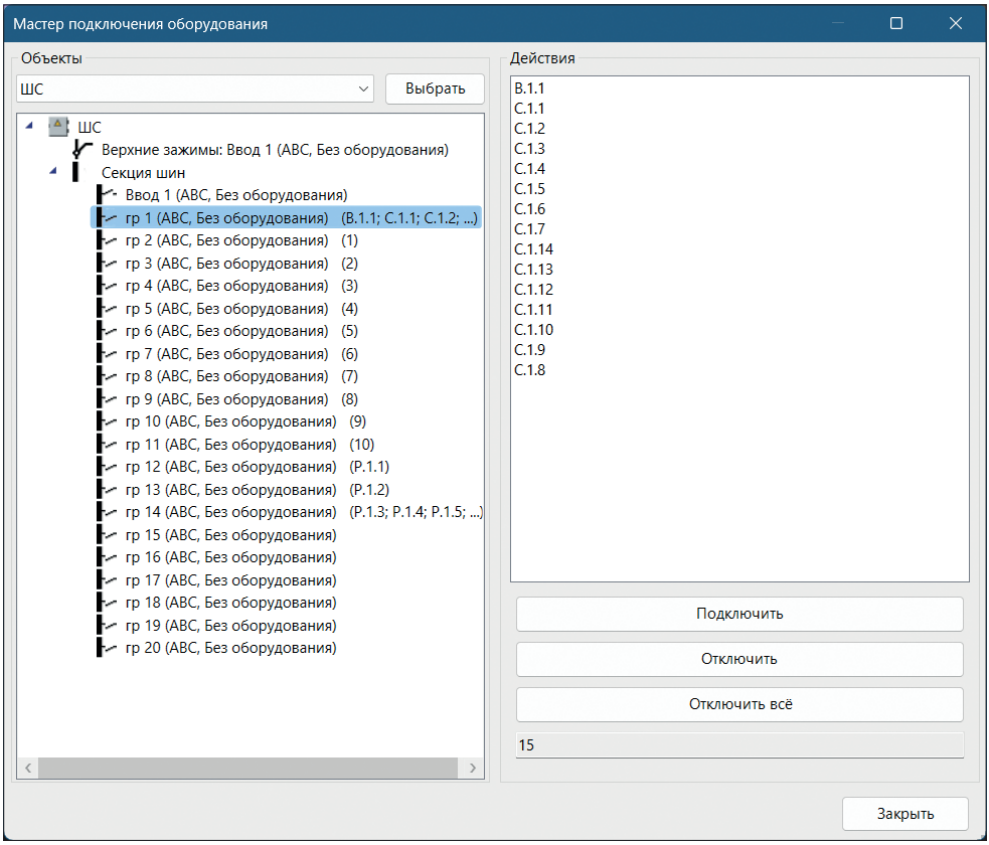


Рис. 5.8. Окно интерфейса **Мастер подключения оборудования** с подключенным оборудованием (выключатель + светильники)

Одним из важнейших требований при проектировании сетей 0,4 кВ является равномерное распределение однофазных нагрузок по трем фазам. Несоблюдение этого требования ведет к перегрузке одной из фаз при недогрузке других, увеличению потерь электроэнергии, появлению токов нулевой последовательности, дополнительному нагреву трансформаторов и кабелей. Согласно ПУЭ, неравномерность загрузки фаз не должна превышать 15 % на вводе в здание и 30 % для групповых щитков [49].

САПР nanoCAD BIM Электро предоставляет проектировщику несколько инструментов для контроля и обеспечения симметричной загрузки фаз:

1) **Автоматический расчет загрузки фаз** – для каждого щита программа вычисляет фактическую нагрузку по каждой фазе и отображает ее в окне с расчетами в ЭТМ;
2) **Визуальная индикация** – при превышении допустимой неравномерности соответствующие показатели выделяются цветом;

3) **Автоматическое распределение фидеров по фазам** – если в окне электротехнической модели (ЭТМ) щелкнуть правой кнопкой мыши по распределительному устройству (РУ) и выбрать соответствующую команду, программа самостоятельно перераспределит однофазные фидеры по фазам A, B, C, стремясь минимизировать разность загрузки фаз.

При проектировании рекомендуется придерживаться следующего алгоритма:

1. **На этапе создания фидеров** равномерно распределять однофазные группы по фазам (например, первая группа – фаза A, вторая – B, третья – C, четвертая – A и т. д.).
2. **После завершения подключений** выполнить анализ загрузки фаз в ЭТМ.
3. **При выявлении неравномерности** скорректировать назначение фаз вручную.

После завершения всех подключений необходимо выполнить проверку корректности созданных связей.

Контрольные вопросы к § 5.1

1. Что такое электротехническая модель (ЭТМ) в nanoCAD BIM Электро и для чего она предназначена?
2. Перечислите основные возможности и функции ЭТМ.
3. Опишите алгоритм подключения светильников к двухклавишному выключателю с использованием мастера подключения.
4. Какие особенности необходимо учитывать при подключении люстры к двухклавишному выключателю?
5. Как правильно выполнить подключение одного распределительного щита к другому? Какое условие должно выполняться?
6. Какие преимущества дает работа по управлению подключениями через окно электротехнической модели по сравнению с работой непосредственно на плане?
7. Почему важно соблюдать симметрию загрузки фаз при распределении однофазных электроприемников? К каким последствиям приводит неравномерная загрузка?
8. Опишите алгоритм действий проектировщика для обеспечения равномерной загрузки фаз.
9. Как проверить, все ли созданные логические связи могут быть реализованы физической прокладкой кабелей?

§ 5.2. Кабельные трассы и кабеленесущие системы

После завершения всех логических подключений и проверки симметрии загрузки фаз созданная электрическая схема обретает завершенность на уровне связей. Однако для полноценной модели этого недостаточно – необходимо определить, каким образом проложенные кабели будут физически размещены

в пространстве. Наступает этап проектирования кабельных трасс и выбора кабеленесущих систем.

В практике проектирования систем электроснабжения важно четко разграничивать два взаимосвязанных, но не тождественных понятия: **кабельная трасса** и **кабеленесущая система (КНС)**. Их часто используют как синонимы, что с инженерной точки зрения не совсем корректно (табл. 5.1).

Таблица 5.1. Различия в понятиях «кабельная трасса» и «кабеленесущая система»

Характеристика	Кабельная трасса	Кабеленесущая система (КНС)
Сущность	Топологический маршрут (путь)	Инженерная конструкция
Отвечает на вопрос	Где? (по какому пути)	В чем? На чем?
Параметры	Длина, высотные отметки, точки поворота, пересечения	Тип (лоток, труба), материал, размер, нагрузка, IP
Пример	Путь от ВРУ до станка, проходящий под перекрытием и огибающий колонну	Лоток металлический оцинкованный 400×100

Кабельная трасса – это понятие топологическое и геометрическое, это заранее определенное направление (маршрут) прокладки одного или нескольких кабелей в пространстве объекта (здания, сооружения, промплощадки). Трасса характеризуется начальной и конечной точками, геометрическими параметрами (длина, повороты, подъемы), а также условиями окружающей среды, в которых она проходит. Проще говоря, трасса отвечает на вопрос «где проложен кабель?».

Кабеленесущая система (КНС) – это понятие материально-конструктивное, это совокупность инженерных элементов (изделий), которые непосредственно обеспечивают физическую прокладку, крепление и защиту кабелей вдоль заданной трассы. КНС отвечает на вопрос «в чем или на чем проложен кабель?». К ним относятся лотки, короба, трубы, профили, кабельные каналы, эстакады и необходимые аксессуары (кронштейны, соединители, подвесы) [33, 45, 64].

Таким образом, **кабельная трасса как маршрут реализуется с помощью кабеленесущей системы**. Иными словами, трасса – это «путь», а кабеленесущая система – это «инженерное сооружение», проложенное по этому пути для размещения кабелей.

Проектировщик сначала разрабатывает схему трасс (маршруты), а затем подбирает для них кабеленесущие системы, исходя из количества и типа кабелей, условий среды, требований норм.

Поэтому в дальнейшем тексте, говоря о построении в программе, мы будем уточнять: «создать геометрию трассы», а затем «выбрать кабеленесущую систему для ее оснащения».

Основное назначение кабельных трасс и кабеленесущих систем заключается в следующем:

- обеспечение надежной защиты кабелей от механических повреждений;
- упорядоченное размещение кабельных линий, предотвращение их спутывания;

- обеспечение удобства доступа к кабелям при ремонте и замене;
- снижение вероятности разрушения кабелей при пожаре.

Прокладка кабельных трасс может осуществляться как внутри помещений, так и снаружи – по воздуху и под землей.

На рис. 5.9 представлена общая классификация кабеленесущих систем.

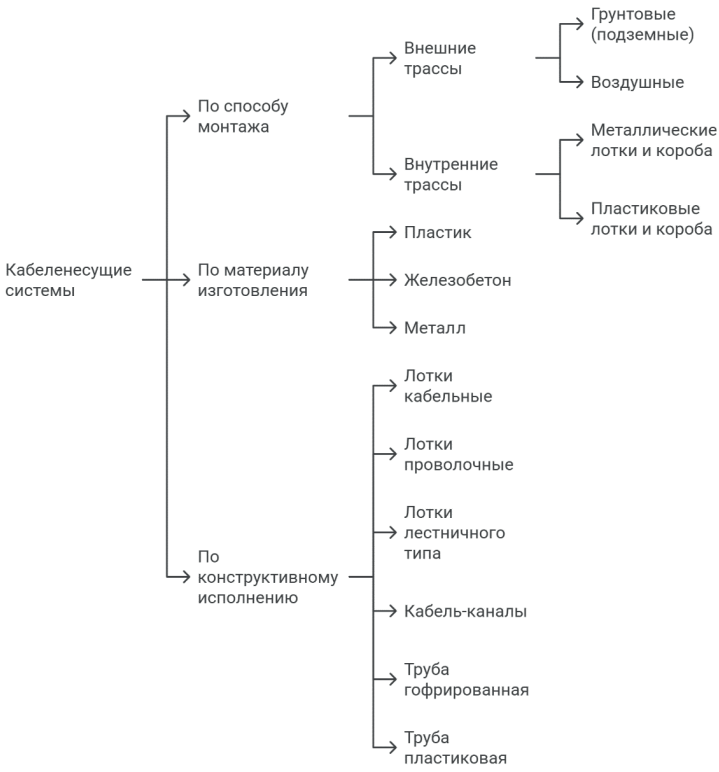


Рис. 5.9. Общая классификация кабеленесущих систем

Кабеленесущие системы классифицируются по различным признакам: по способу прокладки и области применения, материалу изготовления, конструктивному исполнению.

1. **По способу монтажа** различают внешние и внутренние кабельные трассы.

Внешние трассы разделяют на следующие виды:

- грунтовые (подземные). При подземной прокладке предварительно в грунте выкапывают траншею, а кабеленесущей системой служат бетонные лотки и каналы. Такой способ отличается высокой стоимостью и трудоемкостью из-за земляных работ. Кроме того, кабель может быть поврежден при ремонте дорожного полотна и недоступен для проверки состояния и замены;
- воздушные используются при объединении двух и более кабельных линий, кабеленесущие системы закрепляют на опорах из стали или железобетона;

- внутренние трассы прокладывают внутри зданий с использованием металлических и пластиковых лотков и коробов, которые размещают под перекрытиями, за подвесными и натяжными потолками.

2. **По материалу изготовления** применяемые для производства кабеленесущих систем изделия представлены в табл. 5.2.

Таблица 5.2. Сравнительная характеристика материалов кабеленесущих систем

Материал	Особенности конструкции	Преимущества	Недостатки	Область применения
Пластик	Наличие перегородок, разнообразие профилей	Малый вес, низкая стоимость, простота монтажа, диэлектрические свойства, стойкость к влаге и химикатам	Недостаточная прочность, небольшой срок эксплуатации, деформация со временем	Жилые, офисные помещения, кабельные трассы с незначительными нагрузками
Железобетон	Бетонные перегородки и боковые кронштейны, армирование	Высокая прочность, устойчивость к деформации, продолжительный срок службы	Гигроскопичность, массивность, трудоемкость монтажа, разрушение при циклах замерзания/оттаивания	Наружные подземные трассы
Металл (сталь оцинкованная)	Проволочные, перфорированные, сплошные, лестничного типа	Высокая стойкость к повреждениям, долговечность, надежность, возможность прокладки больших объемов кабелей	Склонность к коррозии (требуется защита), больший вес, электропроводность (требуется заземление)	Промышленные объекты, помещения с высокими нагрузками, наружные установки
Алюминий	Легкие сплавы, перфорированные и сплошные конструкции	Легкость, хорошая коррозионная стойкость, высокая теплопроводность	Более высокая стоимость по сравнению со сталью	Объекты с ограничениями по весу, агрессивные среды

3. **По конструктивному исполнению** основные типы кабеленесущих систем по представлены в табл. 5.3.

Лотки являются наиболее универсальными элементами кабеленесущих систем для промышленных предприятий и предприятий транспорта, они подразделяются на несколько типов:

- лестничного типа. Относятся к несущим конструкциям, востребованы при прокладке кабельных линий с разветвлениями и поворотами в вертикальной и горизонтальной плоскостях, могут использоваться для монтажа проводов напряжением до 1000 В;
- монтажные. Применяются для прокладки кабелей до 1000 В, монтажные лотки с перфорацией используют для закрепления магистральных участков сетей, стояков, спусков и ответвлений от основных трасс;
- перфорированные. Обеспечивают лучшую вентиляцию кабельной трассы, что важно при прокладке мощных кабельных линий, способных выделять значительное количество тепла, эффективно рассеивают тепло, снижают риск перегрева.

Таблица 5.3. Типы кабеленесущих систем по конструктивному исполнению

Тип КНС	Конструктивные особенности	Внешний вид	Преимущества	Недостатки	Применение
Лотки кабельные металлические	Изготавливаются из оцинкованной стали или алюминия. Могут быть цельными или перфорированными		Высокая надежность и долговечность, возможность прокладки больших объемов кабелей, защита от механических повреждений	Требуют заземления, подвержены коррозии без защиты	Промышленные объекты, жилые и коммерческие здания
Лотки проволочные	Выполнены из стальных оцинкованных прутьев диаметром 4–5 мм		Экономичность, простота монтажа, хороший обзор кабелей, возможность ремонта без снятия каналов	Недостаточная защита от механических повреждений и возгорания	Частные дома, офисы, коммерческие заведения, помещения с незначительными нагрузками
Лотки лестничного типа	Состоят из перфорированных пластин, соединенных перемычками		Высокая несущая способность, хорошая защита кабелей, естественная терморегуляция	Больший вес, более высокая стоимость	Силовые кабели, кабели большого сечения, объекты с высокими нагрузками
Короба (кабель-каналы)	Закрытые конструкции П-образного сечения с крышкой		Эстетичный внешний вид, дополнительная защита, возможность скрытой прокладки	Ограниченная вместимость, сложность добавления новых кабелей	Офисные помещения, жилые здания, места с повышенными требованиями к эстетике
Трубы гофрированные	Гибкие трубы из ПВХ или полиэтилена, легко изгибаются		Возможность прокладки в сложных конфигурациях, защита от повреждений, влаги и пыли	Ограниченная механическая прочность	Скрытая прокладка в несущих основаниях, открытая прокладка в частном домостроении
Трубы гладкие жесткие	Пластиковые или металлические трубы круглого сечения		Высокая прочность, негорючесть, защита от внешних воздействий	Невозможность изгиба, необходимость использования аксессуаров (поворотов)	Промышленные объекты, наружные установки

Для решения специфических задач применяются специализированные изделия:

- противопожарные подземные короба из керамики и бетона – используются для монтажа линий высокого напряжения, защищают персонал от поражения током при пробое изоляции, имеют высокую стоимость и применяются только на специализированных объектах;
- изделия специализированного назначения – изготавливаются по заказу для индивидуальных потребностей (обход потолочного рельефа, монтаж нестандартных кабелей) [33, 45].

Прокладка кабельных трасс должна осуществляться в соответствии с требованиями следующих нормативных документов:

- Правила устройства электроустановок (ПУЭ), глава 2.3 «Кабельные линии напряжением до 220 кВ»;
- СП 76.13330.2016 «Электротехнические устройства»;
- ГОСТ Р 50571.5.52–2011 «Электроустановки низковольтные»;
- ГОСТ Р 52868–2021 (МЭК 61537:2006) – правила и нормы разработки, изготовления, проведения испытаний и эксплуатации систем лотков и лестниц для монтажа кабелей;
- ГОСТ 15150–69 – климатическое районирование;
- ГОСТ Р 53316–2009 – для кабельных линий, сохраняющих функциональность в условиях пожара.

Выбор способа прокладки кабельных трасс зависит от многих факторов и должен учитывать:

1) **тип объекта и условия эксплуатации:**
   - открытая площадка (воздействие климатических факторов, УФ-излучения);
   - промышленное помещение (повышенные нагрузки, возможные механические воздействия);
   - офис или жилой дом (эстетические требования, безопасность);
2) **нагрузку и объемы кабелей:**
   - масса и объем кабельного хозяйства;
   - для больших объемов и тяжелых кабелей подходят металлические и усиленные системы;
   - для небольших трасс – пластиковые кабель-каналы;
3) **требования пожарной безопасности:**
   - необходимость применения негорючих материалов;
   - категория помещения по взрывопожароопасности;
   - требования к дымообразованию;
4) **условия окружающей среды:**
   - температура, влажность, запыленность;
   - воздействие химических веществ, солей;
   - наличие ультрафиолетового излучения;

5) **необходимость разделения кабельных линий:**
   - раздельная прокладка силовых и слаботочных кабелей;
   - экранирование для защиты от помех;
6) **требования к доступу и обслуживанию:**
   - возможность свободного доступа для проверки и ремонта;
   - необходимость быстрой замены кабелей.

В табл. 5.4 представлены рекомендации по выбору способа прокладки в зависимости от условий эксплуатации.

Таблица 5.4. Рекомендации по выбору способа прокладки кабельных трасс

Условия прокладки	Рекомендуемый тип КНС	Дополнительные требования
Прокладка в земле	Трубы из ПНД, бетонные лотки	Защита от коррозии, механическая прочность, гидроизоляция
Прокладка на открытом воздухе	Оцинкованные металлические лотки, трубы из ПНД	Защита от УФ-излучения, климатическое исполнение, антикоррозийное покрытие
Прокладка в помещении (общего назначения)	Пластиковые короба, перфорированные лотки, проволочные лотки	Эстетика, удобство монтажа, пожарная безопасность
Взрывоопасные зоны	Металлические трубы	Искробезопасность, взрывозащищенное исполнение
Помещения с повышенной влажностью	Пластиковые короба, нержавеющая сталь	Коррозионная стойкость
Высокие механические нагрузки	Лестничные лотки, усиленные металлические конструкции	Повышенная несущая способность, надежное крепление

В программном комплексе nanoCAD BIM Электро реализован развитый функционал для моделирования кабельных трасс, позволяющий проектировщику создавать трехмерные трассы любой сложности с учетом всех необходимых параметров.

Работу с кабельными трассами в nanoCAD BIM Электро рекомендуется начинать после того, как в модели расставлено оборудование и выполнены подключения через **Мастер подключений**, т. е. проектировщик имеет представление о структуре системы электроснабжения объекта в целом [33, 45]. Для прокладки кабеля используется панель инструментов **Трассы** (рис. 5.10).

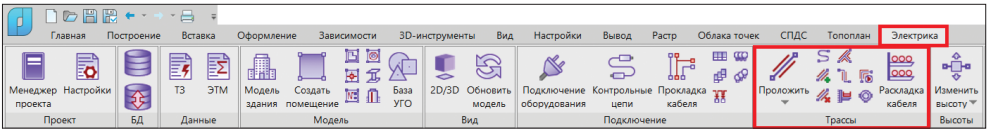


Рис. 5.10. Окно панели инструментов nanoCAD BIM Электро **Электрика** → **Трассы**

1. Для создания кабельной трассы необходимо выполнить следующие действия:
   - на вкладке **Электрика** в группе **Трассы** активируйте инструмент **Проложить**. После выбора команды программа предлагает несколько способов построения трассы (рис. 5.11):



Рис. 5.11. Интерфейс панели инструментов nanoCAD BIM Электро **Трассы**

- **Прокладка трассы** – ручное создание трассы путем последовательного указания точек на плане. Проектировщик самостоятельно задает траекторию, обходя препятствия (колонны, проемы) и соблюдая требуемые отступы от строительных конструкций. Этот способ обеспечивает максимальную гибкость при сложной конфигурации помещений и позволяет точно выдержать проектную трассировку;
- **Проложить от** – создание трассы, начинающейся от выбранного элемента (распределительного щита, электроприемника). Программа предлагает проложить трассу от указанной точки до конечного оборудования, что удобно при подключении единичных потребителей или при построении ответвлений от существующей магистрали;
- **Соединить объекты трассой** – автоматическое построение трассы между двумя выбранными объектами (например, от щита до группы светильников или между распределительными коробками). Программа анализирует взаимное расположение объектов и прокладывает оптимальный маршрут с учетом заданных параметров (высота прокладки, способ прокладки – по стенам, по потолку и т. д.). Этот способ наиболее эффективен для создания основных магистральных связей.

Выбор способа прокладки зависит от конкретной проектной ситуации. При создании разветвленной сети рекомендуется использовать комбинацию методов: сначала соединить основные объекты (щиты, распределительные коробки) с помощью **Соединить объекты трассой**, а затем дорисовать ответвления к конечным потребителям вручную, используя **Прокладку трассы** или **Проложить от**. Такой подход позволяет существенно ускорить процесс моделирования, сохраняя при этом полный контроль над конфигурацией трасс.

2. После выбора способа прокладки (например, **Прокладка трассы** или **Соединить объекты трассой**) на экране открывается диалоговое окно **Настройка трассы** (рис. 5.12). В этом окне задаются основные параметры будущей трассы, определяющие ее геометрию и тип применяемой кабеленесущей системы.

В группе свойств **Параметры установки КНС** необходимо указать тип кабеленесущей системы (КНС). Для этого щелкните по полю выбора КНС – откроется окно **База данных оборудования** (рис. 5.13), содержащее библиотеки КНС различных производителей (лотки, короба, трубы, лестничные системы и т. д.).

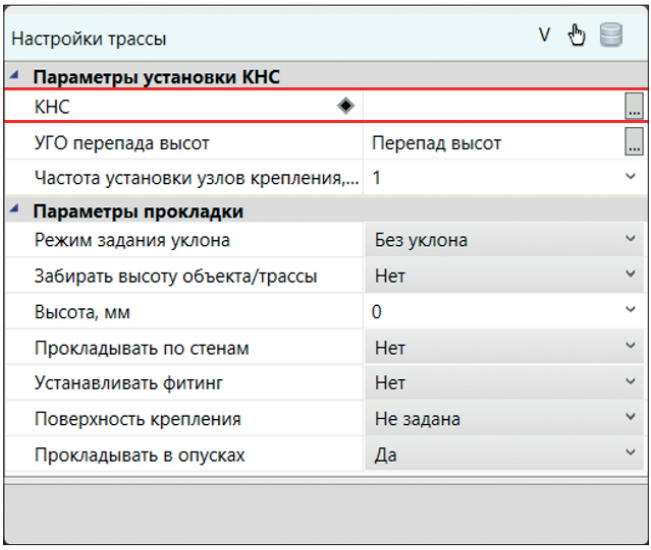


Рис. 5.12. Окно **Настройки трассы** в nanoCAD BIM Электро

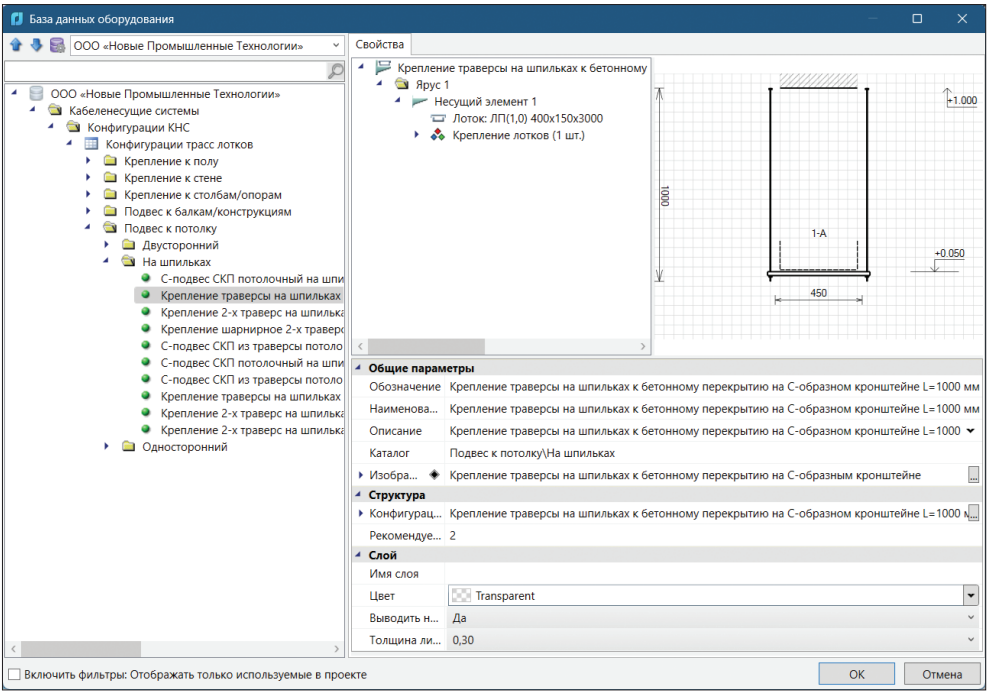


Рис. 5.13. Окно **База данных оборудования** в nanoCAD BIM Электро → **КНС**

Выбор конкретной КНС осуществляется проектировщиком на основании:

- технического задания на проектирование;
- требований нормативно-технической документации (ПУЭ, СП 76.13330.2016, ГОСТ Р 52868 и др.), регламентирующих способы прокладки, материалы, степень защиты и несущую способность систем;
- условий окружающей среды в месте прокладки (влажность, запыленность, химическая активность, взрывоопасность);
- количества и типов кабелей, которые будут проложены в данной трассе (для обеспечения необходимой заполняемости и соблюдения норм по расстояниям между кабелями);
- собственного опыта и инженерного расчета (например, проверка несущей способности лотка при заполнении тяжелыми кабелями) [40].

При выборе модели из базы данных программа автоматически подгружает ее геометрические характеристики (ширина, высота, допустимая нагрузка), которые будут использоваться при дальнейшей трассировке и расчетах заполняемости. Если в библиотеке отсутствует необходимая КНС (например, нестандартный размер или специфическое исполнение), проектировщик может создать пользовательский элемент, заполнив его параметры вручную.

После выбора КНС и подтверждения настроек программа переходит в режим построения трассы, и проектировщик последовательно указывает точки на плане, формируя геометрию кабеленесущей системы с учетом заданных параметров.

В базе данных программа предложит к выбору различные конфигурации КНС, а проектировщик может видеть свойства и способы крепления, выбрать конкретную модель из библиотеки производителя, учитывая:

- материал изготовления;
- типоразмер;
- несущую способность;
- степень защиты IP.

Программа nanoCAD BIM Электро позволяет создавать многоярусные системы кабельных лотков с разными конфигурациями по ярусам, что особенно актуально для крупных промышленных и транспортных объектов.

3. После выбора кабеленесущей системы в окне **Настройка трассы** необходимо перейти к группе свойств **Параметры установки КНС** и задать **УГО перепада высот** (рис. 5.14). Данный параметр определяет, каким условным графическим обозначением будут отображаться на плане вертикальные участки трассы – места подъема или спуска кабельной линии (например, при переходе с одного уровня на другой, обходе препятствий или при спуске к оборудованию).

При щелчке по полю выбора УГО перепада высот автоматически открывается окно **База УГО**, в котором программа предлагает несколько вариантов графических обозначений. Проектировщик выбирает подходящий вариант, руководствуясь требованиями нормативной документации к оформлению чертежей и сложившейся практикой проектирования.

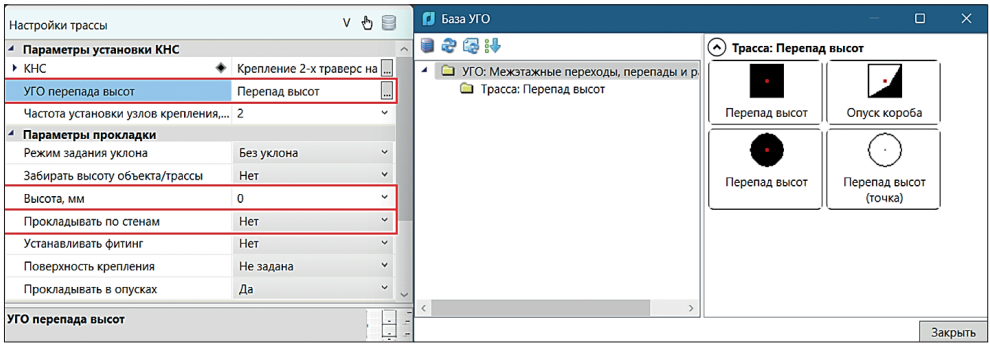


Рис. 5.14. Окно **Настройки трассы** в nanoCAD BIM Электро → **База УГО**

Остальные поля в группе **Параметры прокладки** (такие как высота прокладки, способ прокладки – по стенам, по потолку, отступ от стен и т. п.) могут быть изменены проектировщиком в зависимости от конкретной конфигурации помещения и проектных решений. Корректная настройка этих параметров на этапе создания трассы избавляет от необходимости редактировать каждый участок вручную и обеспечивает автоматическое соблюдение проектных отметок при дальнейшей трассировке.

После выбора кабеленесущей системы в окне **Настройка трассы** необходимо перейти к группе свойств **Параметры прокладки** (рис. 5.14). Здесь задаются геометрические и пространственные характеристики будущей трассы, определяющие ее положение в модели здания.

- **Высота** прокладки – один из ключевых параметров. Проектировщик может задать конкретное значение высоты (в миллиметрах) от уровня чистого пола или выбрать опцию **Не менять**, при которой трасса будет прокладываться на высоте, заданной по умолчанию или унаследованной от предыдущего участка. Корректное задание высоты на этом этапе обеспечивает автоматическое соблюдение проектных отметок при трассировке и избавляет от необходимости редактировать каждый участок вручную.
- **Прокладывать по стенам** – при установке значения **Да** программа автоматически строит трассу вдоль стен с соблюдением заданного отступа. При этом система анализирует геометрию помещений и при необходимости самостоятельно выполняет обход препятствий (колонн, дверных проемов), а также обеспечивает корректный переход трассы из одного помещения в другое через дверные или технологические проемы.
- **Поверхность крепления** – позволяет указать, к какой строительной конструкции крепится кабеленесущая система (стена, потолок). Этот параметр важен для последующего формирования ведомостей и расчета крепежных элементов, а также для корректной ориентации объектов в трехмерном пространстве (3D) на плане (например, чтобы лоток, закрепленный на стене, отображался вертикально, а на потолке – горизонтально).

Важно отметить, что несвоевременное или некорректное задание высоты прокладки и поверхности крепления может привести к возникновению колли-

зий – пересечений трасс с другими инженерными системами (воздуховодами, трубопроводами) или строительными конструкциями, которые будут выявлены только на поздних этапах проверки модели. Поэтому настройке этих параметров следует уделить особое внимание.

4. После завершения настройки всех параметров можно приступать к непосредственной прокладке кабельной трассы. Напомним, что кабельные трассы служат для соединения питающих щитов с распределительными устройствами, щитами освещения, розеточными группами и конечными электроприемниками, поэтому проектировщик последовательно соединяет все элементы системы, которые будут получать питание по данной трассе [40].

Порядок действий при прокладке:

1. Выбрать начальную точку крепления трассы (как правило, это точка выхода из распределительного щита или место подключения к вышестоящей магистрали). При подведении курсора к доступной для подключения точке программа автоматически подсвечивает ее зеленым кружком (рис. 5.15), сигнализируя о возможности создания привязки.

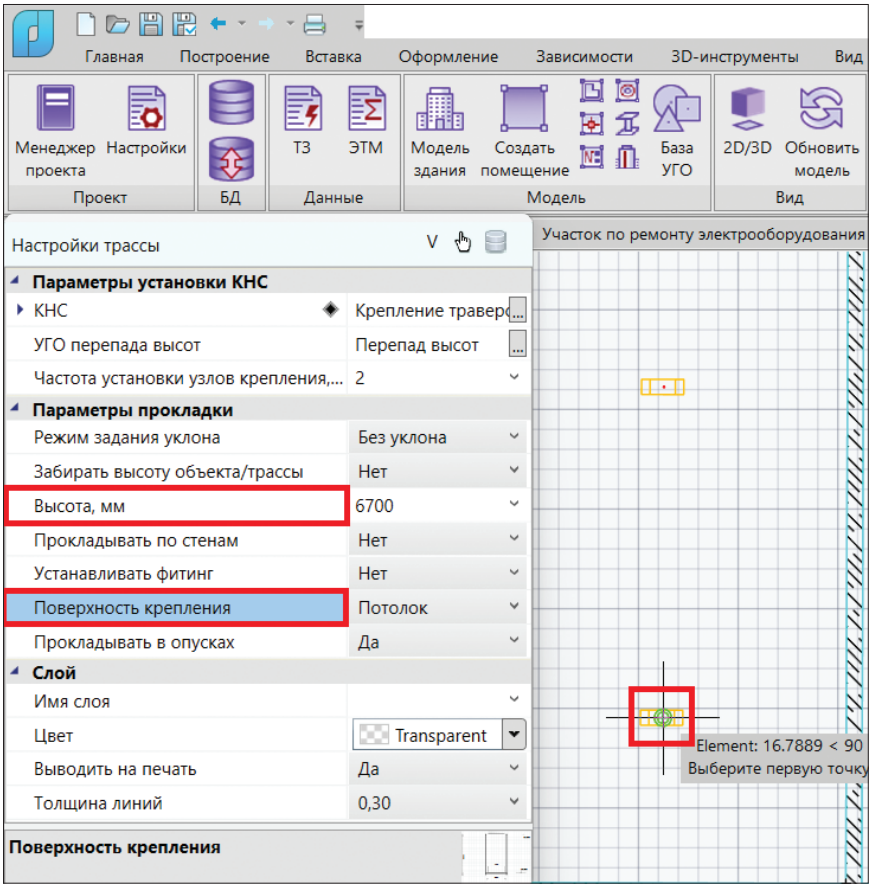


Рис. 5.15. Окно **Настройки трассы** в nanoCAD BIM Электро → задание начальной точки трассы

2. Указать следующую точку трассы. В режиме ручной прокладки проектировщик последовательно указывает все поворотные и узловые точки, формируя геометрию трассы с учетом конфигурации помещений и заданных параметров прокладки (высоты, отступов от стен).
3. Продолжать указывать точки, соединяя все необходимые элементы системы (щиты, электроприемники, электроустановочные изделия), которые должны быть связаны данной трассой.
4. Завершить трассу на конечном элементе, например на групповом щитке или непосредственно на электроприемнике (рис. 5.16). При подведении к конечному объекту также должна появиться зеленая подсветка, подтверждающая возможность корректного подключения.

Важно прокладывать трассу таким образом, чтобы она последовательно соединяла все элементы, которые в дальнейшем будут питаться от нее: электроприемники (ЭП), распределительные устройства (РУ) и т. п. Распределительные коробки программа расставляет автоматически, поэтому соединять их вручную не требуется. Пропуск какого-либо элемента, который должен получать питание по данной трассе, потребует создания дополнительных ответвлений или редактирования уже построенной трассы.

Для выхода из режима прокладки трассы и завершения операции необходимо нажать клавишу **Esc**. После этого созданная трасса сохраняется в проекте со всеми заданными параметрами и становится доступной для последующей раскладки кабелей.

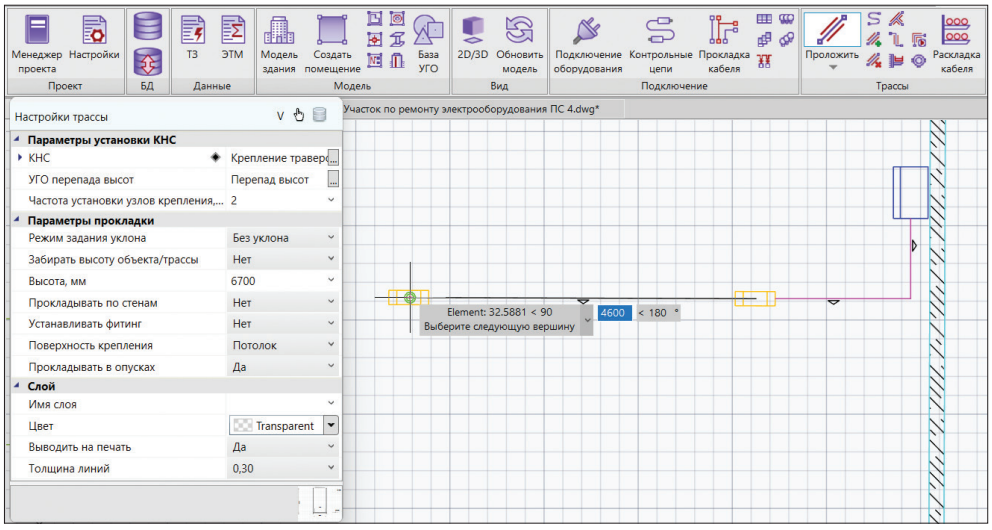


Рис. 5.16. Прокладка трассы в nanoCAD BIM Электро

На практике для создания разветвленной сети кабельных трасс рекомендуется комбинировать различные способы построения: сначала соединить основные магистральные участки между щитами с помощью функции **Соединить объекты трассой**, а затем достроить ответвления к отдельным потребителям вручную, используя режим **Проложить от** или ручную прокладку. Такой

подход позволяет существенно ускорить процесс моделирования, сохраняя при этом полный контроль над конфигурацией трасс.

После завершения построения всех необходимых трасс выполняется следующий этап – прокладка кабелей внутри созданных кабеленесущих систем, который будет рассмотрен в следующих параграфах.

После того как все кабельные трассы созданы, процесс их моделирования можно считать завершенным. На этом этапе программа автоматически собирает и систематизирует всю информацию о созданной кабеленесущей системе для последующего формирования отчетной документации.

В спецификации автоматически включаются типы и типоразмеры всех использованных КНС (лотков, коробов, труб), их материал, протяженность каждого участка, данные о заполняемости (процент заполнения объема трассы кабелями).

На рис. 5.17 представлен пример трехмерной модели с проложенными кабельными трассами различного типа (лотки, трубы), подключенным к ним оборудованием.

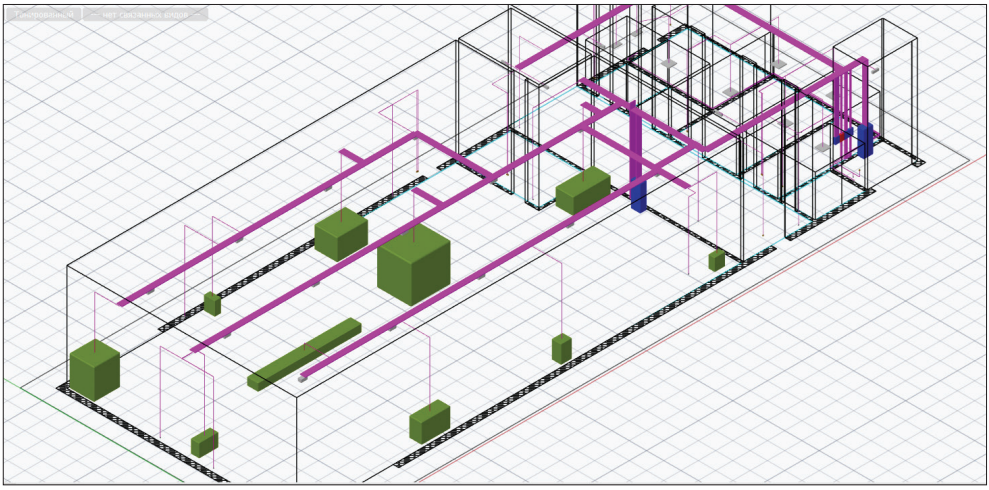


Рис. 5.17. Пример проложенных кабельных трасс в nanoCAD BIM Электро

При проектировании кабельных трасс для предприятий транспорта необходимо учитывать следующие особенности:

- депо и ремонтные мастерские – применение металлических лотков (оцинкованных или с порошковым покрытием), защита кабелей от механических повреждений (прокладка в трубах или использование бронированных кабелей);
- мойки и окрасочные камеры – использование кабеленесущих систем с повышенной степенью защиты (IP55-IP65), кислотостойких материалов, обязательное разделение силовых и контрольных кабелей;
- аккумуляторные и гальванические цеха – применение КНС из материалов, стойких к химически активной среде (нержавеющая сталь, специальные пластики), обеспечение надежной вентиляции трасс;

- взрывоопасные зоны – использование взрывозащищенных кабеленесущих систем, металлических труб с уплотнениями, искробезопасных разделителей;
- внешние установки – применение оцинкованных или нержавеющих систем, защита от УФ-излучения, климатическое исполнение не ниже У1 [1, 40].

Контрольные вопросы к § 5.2

1. Дайте определение кабельной трассы. Каково ее основное назначение в системе электроснабжения?
2. Что такое кабеленесущая система (КНС)? Перечислите основные функции КНС.
3. По каким признакам классифицируются кабеленесущие системы?
4. Назовите основные типы кабельных лотков по конструктивному исполнению и охарактеризуйте область применения каждого типа.
5. Сравните металлические и пластиковые кабеленесущие системы. В чем преимущества и недостатки каждого варианта?
6. Какие материалы используются для защиты стальных лотков от коррозии?
7. Какие факторы необходимо учитывать при выборе способа прокладки кабельной трассы?
8. Какие методы прокладки кабельных трасс реализованы в nanoCAD BIM Электро? Охарактеризуйте каждый метод.
9. Какие инструменты предусмотрены в программе для моделирования вертикальных участков трасс и перепадов высот?
10. Какие особенности проектирования кабельных трасс необходимо учитывать для различных помещений транспортных предприятий (мойки, аккумуляторные, взрывоопасные зоны)?

§ 5.3. Выбор защитных и коммутационных аппаратов в nanoCAD BIM Электро

В § 4.4 были подробно рассмотрены теоретические основы выбора коммутационных и защитных аппаратов, их классификация, параметры и условия выбора. Теперь, когда в проекте создана структура распределительных щитов (см. § 5.1) и выполнены все необходимые подключения, наступает этап практической реализации этих теоретических знаний в среде nanoCAD BIM Электро.

Выбор защитного аппарата должен предшествовать выбору кабеля, поскольку это определяет логическую последовательность проектирования электропроводки. Номинальные параметры коммутационно-защитного аппарата (автоматического выключателя, предохранителя) задают требования к проводнику, который он призван защищать. Именно аппарат ограничивает длительно допустимый ток в кабеле и обеспечивает своевременное отключение линии при возникновении токов короткого замыкания. Поэтому последовательность действий следующая:

1. На основе расчетного тока линии ($I_р$), определенного в электротехнической модели (ЭТМ), предварительно выбирается аппарат защиты с номинальным током $I_{н.ав} \geqslant I_р$.
2. Исходя из выбранного номинального тока коммутационно-защитного аппарата и условий его срабатывания, производится выбор сечения и марки кабеля, который этот аппарат будет защищать.
3. После выбора кабеля выполняются проверочные расчеты (по потере напряжения, на термическую стойкость и т. д.), и при необходимости параметры коммутационно-защитного аппарата или кабеля корректируются.

Выбор коммутационно-защитного аппарата начинается с отходящих линий групповых щитов (ЩО, ЩРС, ШР, ЩАО и др.), поскольку именно они защищают от токов короткого замыкания и токов перегрузки конечных потребителей и занимают нижний уровень иерархии сети. На этом этапе задаются исходные номинальные токи, например 10 А для цепей освещения или 16–25 А для розеточных групп, которые служат отправной точкой для определения параметров вышестоящих аппаратов [38, 59].

После того как определены номинальные токи всех отходящих линий, становится известна суммарная нагрузка на вводе данного щита. На основании расчетного тока ввода (который программа рассчитывает автоматически) выбирается вводной аппарат группового щита (автомат или рубильник).

Далее выбираются аппараты для отходящих линий распределительных щитов (РЩ) или ВРУ. Эти линии питают нижестоящие групповые щиты. Их номинальный ток выбирается с учетом двух факторов:

- номинальный ток должен быть больше, чем у вводных аппаратов питаемых щитов (для обеспечения селективности);
- номинальный ток должен соответствовать расчетному току линии, который складывается из нагрузок всех подключенных нижестоящих щитов.

В последнюю очередь выбираются вводные аппараты ВРУ и секционные аппараты. Здесь учитывается суммарная нагрузка всего объекта и требования к резервированию. Выбор выполняется на основании расчетного тока на вводе (из отчета Ф636-92) и категории надежности потребителей.

Преимущества такого подхода:

- логичность и прозрачность – проектирование осуществляется от потребителя к источнику, последовательно увеличивая номинальные токи аппаратов;
- автоматическое обеспечение селективности – при таком подходе к проектированию проще соблюсти условие, что номинальный ток вышестоящего аппарата должен быть хотя бы на одну ступень больше номинального тока нижестоящего;
- минимизация ошибок – т. е. если начать выбор коммутационно-защитных аппаратов с ВРУ, легко ошибиться в сторону завышения номинального тока для отходящих групп, что потом может вызвать проблемы с чувствительностью и селективностью защиты.

В электротехнической модели (ЭТМ) после создания всех щитов и подключения потребителей расчетные токи для каждого уровня отображаются автоматически (рис. 5.18).

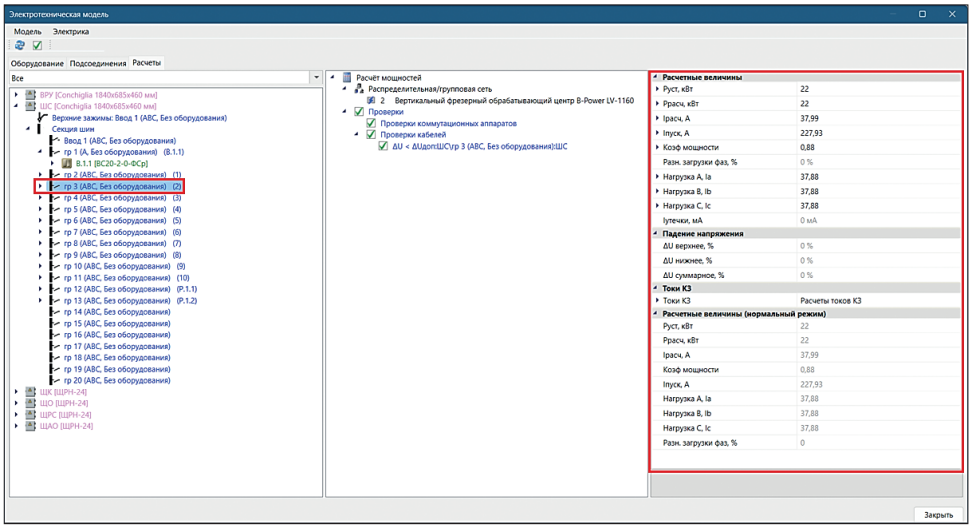


Рис. 5.18. Пример автоматического расчета электрических параметров в ЭТМ nanoCAD BIM Электро

Проектировщик может последовательно переходить от нижестоящих щитов к вышестоящим, выбирая аппараты с учетом уже заданных параметров подчиненных линий. Таким образом, начинать выбор аппаратов следует с групповых щитов, постепенно поднимаясь по иерархии к ВРУ. Это естественный путь, обеспечивающий корректность и надежность всей системы защиты.

Разделение электрических сетей на отдельные группы, защищаемые самостоятельными автоматическими выключателями, является одним из основополагающих принципов проектирования электроустановок. Это делается исходя из требований нормативных документов (в первую очередь ПУЭ), соображений надежности, безопасности и удобства эксплуатации [40, 49].

Рассмотрим **основные принципы**, которыми следует руководствоваться при группировке нагрузок и выборе для них отдельных аппаратов защиты.

1. **Функциональное назначение и зонирование.**

Разделение по функциональному признаку – самый очевидный принцип, электроприемники разного назначения объединяются в разные группы. Освещение и розетки одного помещения – это разные группы, светильники и розетки выполняют разные функции. Если произойдет короткое замыкание в розетке (например, при включении неисправного прибора), должен отключиться автомат, питающий только розетки, освещение при этом должно остаться в работе, чтобы люди могли безопасно покинуть помещение или устранить неисправность при наличии освещения. И наоборот, авария в осветительной сети не должна обесточивать розетки, к которым может быть подключено критически важное оборудование (сервер, холодильник, система управления и т. п.).

Согласно ПУЭ, сети рабочего и аварийного освещения должны питаться от независимых источников или отдельных линий от одного источника, но с самостоятельной защитой. Это требование напрямую диктует необходимость установки отдельных автоматических выключателей.

2. **Технологический принцип и характер нагрузки.**

Этот принцип предписывает выделять в отдельные группы электроприемники, имеющие особый режим работы или характер нагрузки.

Силовое оборудование (станки, насосы, вентиляторы) должно получать питание от отдельных автоматических выключателей. На это есть несколько веских причин:

- высокие пусковые токи. Электродвигатели станков потребляют при пуске ток, в 5–7 раз превышающий номинальный. Автоматический выключатель для такой линии должен иметь характеристику срабатывания, отличную от автомата для освещения (как правило, характеристику «D» или в крайнем случае «C» с запасом по току). Если подключить станок к группе освещения, при каждом его пуске будет срабатывать общий автомат, обесточивая линию освещения;
- влияние на качество электроэнергии. Пуск мощных электродвигателей вызывает колебание напряжения, которое может отражаться на работе осветительных и иных электроприборов. Раздельное электропитание позволяет локализовать этот эффект;
- удобство обслуживания и ремонта. Для ремонта или планового обслуживания станка электротехнологическому персоналу необходимо снять напряжение с его питающей линии, и наличие отдельного автомата позволяет сделать это, не отключая освещение и розетки во всем цехе.

Специфические нагрузки – это оборудование, являющееся источником повышенной опасности (например, сварочные посты) или требующее особых условий подключения, также следует выделять в отдельные группы.

3. **Принцип минимизации последствий аварии.**

Этот принцип тесно связан с надежностью электроснабжения; чем меньше потребителей подключено к одному автомату, тем меньше людей и оборудования останутся без электроэнергии при его срабатывании, поэтому:

- подключение всей нагрузки одного помещения к единственному автоматическому выключателю недопустимо. Даже в пределах одной комнаты целесообразно разделять цепи освещения и розеточной сети на самостоятельные группы. В больших помещениях (например, офисах открытого типа, производственных цехах) ПУЭ рекомендуют дробить осветительную сеть на несколько независимых групп, чтобы при аварийном отключении одной из них помещение не погружалось в полную темноту [37, 65];
- особо ответственные потребители, а это, как правило, системы противопожарной защиты, серверное оборудование, медицинская аппаратура, должны выделяться в отдельные группы и получать питание от индивидуальных щитов с обязательным резервированием (от двух независимых источников или с использованием автоматического ввода резерва).

4. **Требования нормативных документов (ПУЭ).**

Правила устройства электроустановок напрямую или косвенно предписывают разделение сетей на группы:

- ПУЭ, п. 6.2.2. Групповые линии должны быть защищены автоматическими выключателями на ток, не превышающий длительно допустимый ток защищаемой линии. Это не требует разделения, но подразумевает, что для каждой линии с разным сечением кабеля должен быть свой аппарат;
- ПУЭ, п. 6.2.7. В зданиях с количеством этажей более двух питание квартир и силовых нагрузок (лифтов, насосов) должно осуществляться отдельными линиями от ВРУ. Это пример разделения по технологическому принципу;
- ПУЭ, п. 7.1.21. Питание силовых электроприемников, как правило, должно выполняться от самостоятельных линий.

5. **Удобство монтажа и эксплуатации.**

Помимо требований нормативных документов, грамотная группировка нагрузок дает существенные практические преимущества на всех этапах жизненного цикла электроустановки – от проектирования до эксплуатации, а именно:

- прозрачность маркировки. Значительно проще и нагляднее подписать автоматический выключатель – «Станок № 5» или «Освещение северной стены», чем перечислять в обозначении все подключенные к нему устройства, например «Станок № 5 + две розетки + светильник у входа». Четкая маркировка исключает двусмысленность и ошибки при обслуживании;
- оперативность поиска неисправностей. При возникновении аварийной ситуации срабатывает автомат, защищающий только конкретное оборудование. Это мгновенно локализует проблемный участок и позволяет персоналу сосредоточиться на поиске неисправности именно там, не тратя времени на проверку всей сети;
- избирательность отключения при ремонте. Наличие отдельных аппаратов позволяет проводить плановое обслуживание или ремонт отдельного станка (или иного потребителя) без необходимости обесточивать соседнее оборудование. Ремонтный персонал может безопасно отключить только свою рабочую зону, не нарушая производственный процесс других сотрудников и не создавая простоя оборудования.

Выбор коммутационных и защитных аппаратов в программе nanoCAD BIM Электро может осуществляться двумя способами – через инструмент **Электротехническая модель (ЭТМ)** и через **Свойства конструктива щита**. ЭТМ является основным инструментом для управления всеми параметрами электрической сети, рассмотрим сначала этот способ.

Для того чтобы выбрать или заменить аппарат для конкретного фидера (группы, отходящей линии), необходимо открыть окно **ЭТМ** (рис. 5.19).

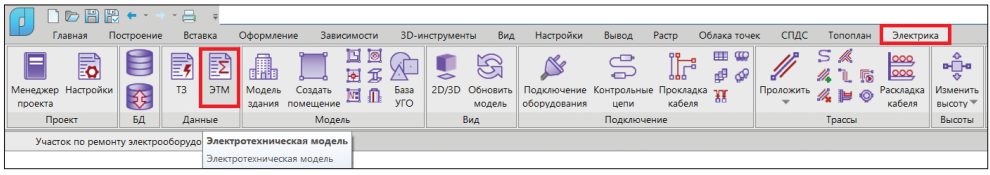


Рис. 5.19. Панель инструментов **Электрика** nanoCAD BIM Электро → **ЭТМ**

В дереве модели проекта выбрать нужный распределительный щит и развернуть его структуру → выбрать интересующий фидер (вводной или отходящий) → слева выбрать вкладку **Подсоединения**, а справа вкладку **Структура** (рис. 5.20) → выбор коммутационно-защитного аппарата осуществляется путем активации функции **Добавить** → откроется окно **База данных проекта** → затем пользователю необходимо выбрать **Базу данных оборудования**, а именно базу данных коммутационно-защитных аппаратов конкретного производителя (рис. 5.21) → из базы оборудования производителя выбирается подходящий по всем ключевым параметрам коммутационно-защитный аппарат → выбор подтверждается кнопкой **Ок**.

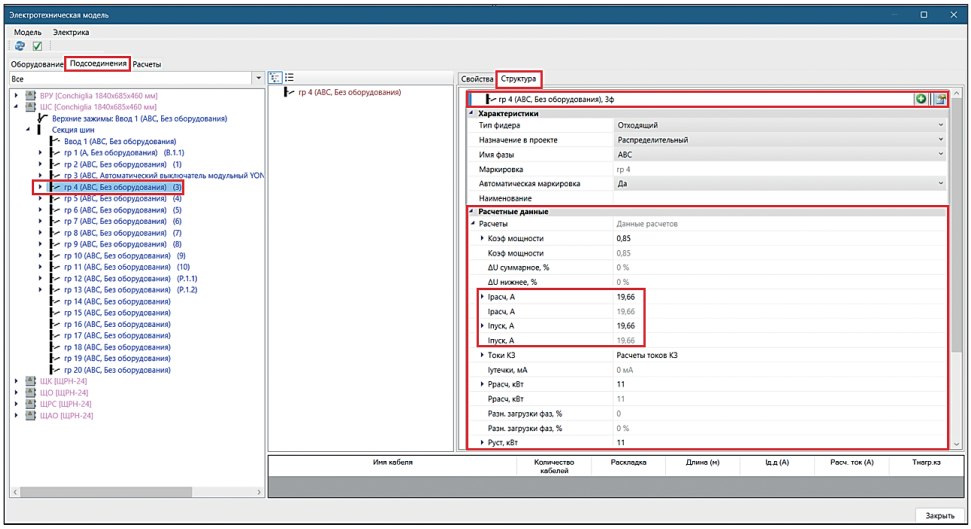


Рис. 5.20. Окно выбора коммутационно-защитного аппарата для конкретного фидера (группы, отходящей линии)

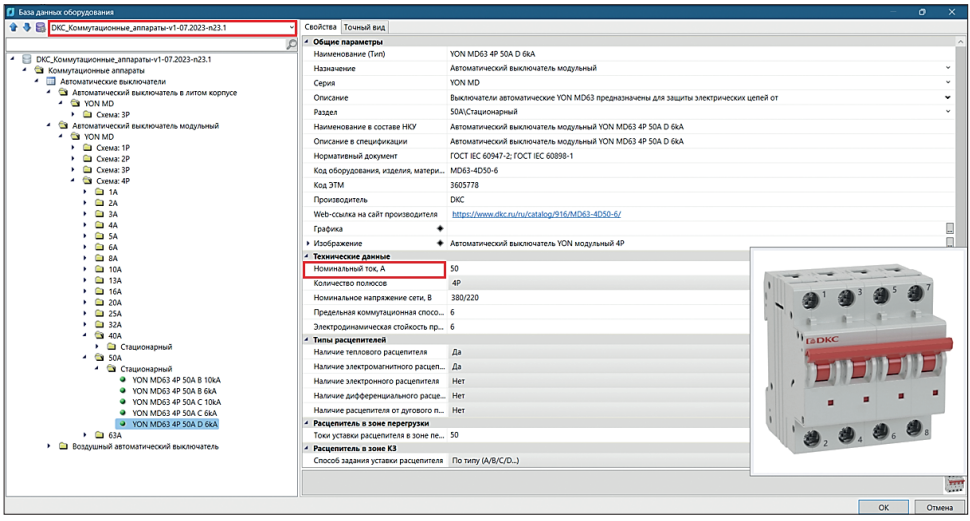


Рис. 5.21. Выбор коммутационно-защитного аппарата из **Базы данных оборудования** производителя в nanoCAD BIM Электро

Базы данных оборудования в nanoCAD BIM Электро – это структурированные каталоги, содержащие информацию о реальных изделиях различных производителей, они являются ключевым элементом, связывающим графическую модель с ее расчетными параметрами. В программе можно подключать библиотеки разных производителей, о чем говорилось ранее, при выборе оборудования из конкретной базы проектировщик гарантированно работает с актуальными параметрами и каталожными номерами (рис. 5.22).

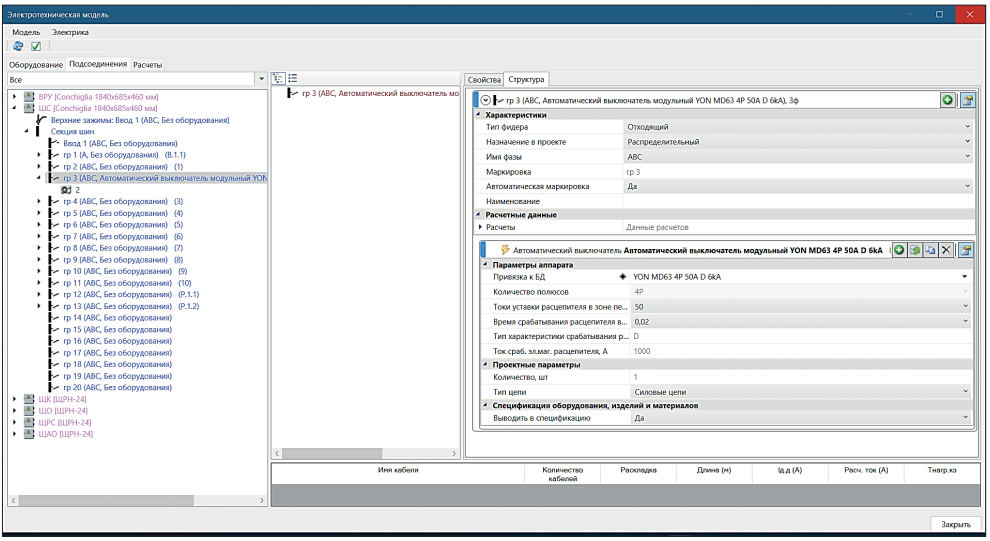


Рис. 5.22. Результат выбора коммутационно-защитного аппарата в nanoCAD BIM Электро

Процесс выбора коммутационно-защитных аппаратов в nanoCAD BIM Электро рекомендуется выполнять по следующему алгоритму.

Шаг 1. Определение расчетного тока фидера.

В окне **ЭТМ** или **Свойства конструктива щита**, выделив необходимый фидер, в панели свойств следует найти параметр **Расчетный ток, А** (I_p) (рис. 5.20). Это значение, рассчитанное программой на основе мощностей всех подключенных к данному фидеру электроприемников, является основой для выбора номинального тока аппарата.

Шаг 2. Выбор типа и номинала аппарата.

Для выбранного фидера необходимо определить подходящий тип аппарата:

- для вводных фидеров щитов рекомендуется использовать выключатели нагрузки (рубильники) или автоматические выключатели на большой номинальный ток, обеспечивающие видимый разрыв и возможность безопасного обслуживания;
- для отходящих групповых линий применяются модульные автоматические выключатели;
- для линий, требующих защиты от токов утечки (розеточные группы, линии во влажных помещениях), – устройства защитного отключения (УЗО) или дифференциальные автоматы (АВДТ).

Шаг 3. Проверка соответствия выбранного аппарата.

После того как аппарат выбран, программа автоматически выполняет ряд проверок, результаты которых отображаются в панели свойств фидера (зеленая галочка или красный крест), но только если аппарат назначается через окно ЭТМ.

Шаг 4. При необходимости – корректировка.

Если какая-либо из проверок не проходит (отображается красным крестом), необходимо вернуться к шагу 2 и выбрать аппарат с другими параметрами (больший номинальный ток, другую характеристику, более высокую отключающую способность) или пересмотреть схему сети.

Чтобы избежать проблем на этапе финальной проверки модели, следует придерживаться следующих рекомендаций:

- для групповых линий освещения с током до 10–16 А рекомендуется использовать однополюсные или двухполюсные автоматические выключатели на 10 А или 16 А с характеристикой C. Это стандартное решение для большинства типовых нагрузок;
- для розеточных сетей общего назначения следует применять автоматические выключатели на 16 А или 20 А с характеристикой C в паре с УЗО на 30 мА или использовать дифференциальные автоматы (АВДТ) с теми же параметрами;
- для линий, питающих мощные электродвигатели (насосы, вентиляторы, компрессоры), необходимо выбирать автоматические выключатели с характеристикой D, которые имеют повышенную кратность тока срабатывания электромагнитного расцепителя и не будут ложно срабатывать при пусковых токах. Номинальный ток автомата выбирается исходя из расчетного тока двигателя, но с обязательной проверкой по пусковому току;
- для линий с нелинейными нагрузками (компьютерная техника, источники бесперебойного питания) следует применять УЗО и АВДТ типа A, которые реагируют не только на переменный, но и на пульсирующий постоянный ток утечки;
- для вводных устройств зданий (ВРУ) часто используются автоматические выключатели в литом корпусе или рубильники-разъединители, рассчитанные на большие токи. Выбор их номинала производится по расчетному току на вводе с учетом категории надежности и необходимости резервирования [40, 62].

В табл. 5.5 приведены обобщенные рекомендации по выбору аппаратов для различных типов потребителей.

В nanoCAD BIM Электро предусмотрена возможность выбора коммутационно-защитных аппаратов непосредственно из окна свойств распределительного щита. Этот способ особенно удобен на начальном этапе формирования структуры щита, когда проектировщик создает фидеры (отходящие линии, группы) и сразу же назначает для них подходящие аппараты, например если проектирует розеточную сеть или сеть освещения, т. е. примерное значение расчетного тока известно.

Таблица 5.5. Рекомендации по выбору защитных аппаратов для типовых нагрузок

Тип потребителя	Тип аппарата	Характеристика / Тип УЗО	Номинальный ток	Примечание
Группа освещения	Автоматический выключатель	C	10–16 А	Однополюсный или двухполюсный
Розеточная группа	Дифференциальный автомат (АВДТ) или Автомат + УЗО	C / Тип A или AC, 30 мА	16–25 А	Для офисной техники – тип A
Электродвигатель (насос, вентилятор)	Автоматический выключатель	D	По расчетному току	Обязательна проверка по пусковому току
Вводной щит (ВРУ)	Выключатель нагрузки или Автомат в литом корпусе	–	По расчетному току на вводе	Для обеспечения селективности
Линия с УЗО на вводе	УЗО селективное (S)	Тип A или AC, 100–300 мА	⩾ вводного автомата	Для обеспечения селективности с групповыми УЗО

На плане выделяется нужный распределительный щит (например, ЩО, ШР, ВРУ) → открывается окно **Свойства конструктива** (двойным щелчком левой кнопки мыши или через контекстное меню → **Свойства**) (рис. 5.23). В окне отражаются расчетные данные, на основе которых можно выбрать номинальный ток коммутационно-защитных аппаратов, а в дереве модели проекта выбирается фидер, для которого требуется задать или заменить коммутационно-защитный аппарат → выбор коммутационно-защитного аппарата осуществляется путем активации функции **Добавить** → откроется окно **База данных проекта** → необходимо выбрать **Базу данных оборудования**, коммутационно-защитных аппаратов (рис. 5.21) → из базы оборудования производителя выбрать подходящий по всем ключевым параметрам аппарат → подтвердить свой выбор.

Выбранные таким образом коммутационные аппараты также автоматически учитываются в электротехнической модели (ЭТМ). В дальнейшем их параметры участвуют во всех проверочных расчетах [59, 65].

Следует помнить, что окончательный выбор всегда должен подтверждаться результатами автоматических проверок, выполняемых программой после выбора оборудования.

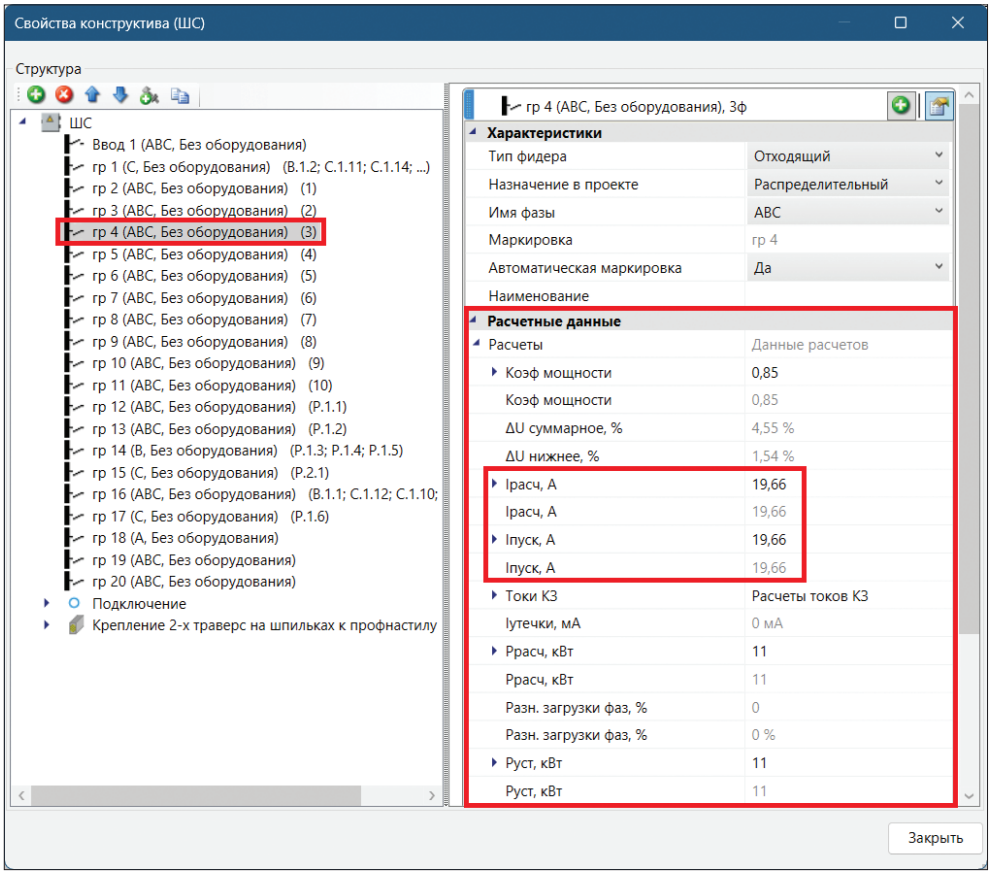


Рис. 5.23. Выбор коммутационно-защитного аппарата в nanoCAD BIM Электро → **Свойства конструктива щита**

Важно отметить, что если требуется заменить выбранный ранее коммутационно-защитный аппарат, это можно сделать двумя способами. **Первый способ**: сначала удалить старый аппарат (рис. 5.24), а затем назначить новый. **Второй способ** (рекомендуемый): нажать кнопку **Заменить** (вторая по счету кнопка в окне выбора оборудования), после чего программа сама подставит новый аппарат вместо старого без необходимости удаления. Если же просто выбрать новый аппарат, не используя кнопку **Заменить** и не удаляя старый, программа добавит его параллельно, что приведет к назначению двух аппаратов на один фидер и некорректной работе электротехнической модели.

Таким образом, выбор защитных и коммутационных аппаратов в nanoCAD BIM Электро – это не изолированная задача, а неотъемлемая часть комплексного процесса создания и верификации информационной модели. Использование актуальных баз данных производителей и встроенных инструментов проверки гарантирует, что все выбранные устройства будут соответствовать требованиям нормативной документации и обеспечат надежную и безопасную работу проектируемой системы электроснабжения [37, 38].

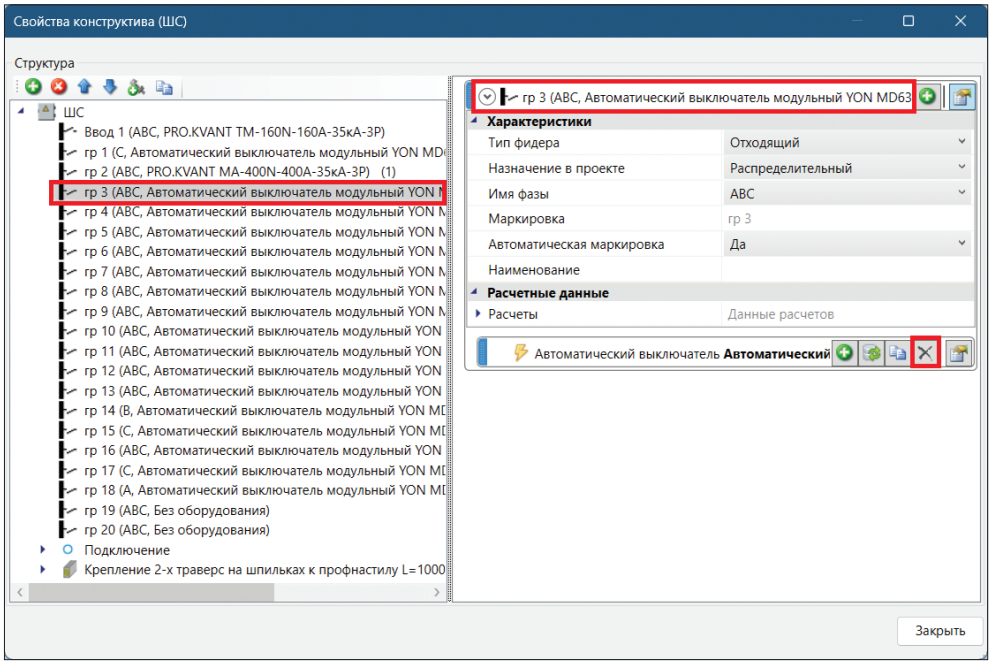


Рис. 5.24. Замена коммутационно-защитного аппарата в nanoCAD BIM Электро

Контрольные вопросы к § 5.3

1. Почему выбор защитных и коммутационных аппаратов должен предшествовать выбору кабеля?
2. Как в nanoCAD BIM Электро осуществляется выбор коммутационно-защитных аппаратов?
3. Каким образом можно перейти к выбору конкретной модели аппарата из базы данных?
4. Какую информацию содержат базы данных оборудования производителей?
5. Перечислите основные преимущества использования актуальных баз данных производителей.
6. Каким образом программа помогает проектировщику выбрать аппарат, подходящий по номинальному току?
7. Опишите алгоритм выбора автоматического выключателя для групповой линии.
8. Какие типы аппаратов и с какими параметрами рекомендуется выбирать для защиты розеточных сетей общего назначения?
9. Для каких нагрузок следует применять автоматические выключатели с характеристикой «D» и почему?
10. Какие проверки автоматически выполняет программа после выбора аппарата для фидера?

§ 5.4. Выбор и прокладка кабеля в nanoCAD BIM Электро

Прокладка и выбор кабеля является одним из ключевых этапов проектирования системы электроснабжения, поскольку от этого зависят надежность, безопасность и долговечность всей системы электроснабжения предприятия или здания. Важно понимать, что выбор кабеля неразрывно связан с ранее выбранными аппаратами защиты (см. § 5.3). Как отмечалось в предыдущем параграфе, логика проектирования требует сначала определить параметры защитного аппарата, а затем подобрать кабель, который этот аппарат будет защищать.

Вспомним основные параметры, которым должен удовлетворять выбранный кабель.

- По длительно допустимому току: $I_{доп.каб} \geqslant I_{р}$ (расчетный ток линии).
- По условию защиты автоматическим выключателем: $I_{доп.каб} \geqslant I_{ном.авт}$ (номинальный ток аппарата защиты).
- По термической стойкости при коротком замыкании: температура нагрева кабеля при протекании тока КЗ не должна превышать допустимую для данного типа изоляции.
- По допустимой потере напряжения: $\Delta U \leqslant \Delta U_{доп}$ (обычно 5 % для силовых сетей и 2,5 % для осветительных) [26, 49].

В nanoCAD BIM Электро все эти проверки выполняются автоматически после того, как кабель выбран и применен к фидеру (отходящей или питающей линии). Результаты проверок отображаются в окне свойств фидера в **ЭТМ** и в **Мастере проверок**.

Программа предоставляет несколько вариантов прокладки кабелей, выбор которых зависит от конкретной ситуации и степени детализации модели.

Автоматическая прокладка – наиболее быстрый способ для начальной трассировки. При выборе щита или нескольких фидеров и активации команды **Проложить автоматически** программа прокладывает кабели по всем ранее созданным связям (при условии, что топология сети задана). Перед запуском автоматической прокладки рекомендуется установить флажок **Удалить существующие кабели из трасс перед автоматической прокладкой**. **Это гарантирует, что старые кабели будут удалены, а программа проложит новые в соответствии с актуальной конфигурацией сети, избегая дублирования и ошибок.** Данный способ является основным в nanoCAD BIM Электро. Рассмотрим порядок действий (рис. 5.25).

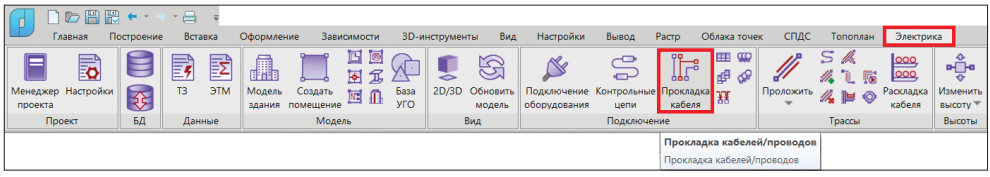


Рис. 5.25. Активация команды **Прокладка кабелей/проводов** в nanoCAD BIM Электро

Во вкладке **Электрика** необходимо выбрать инструмент **Прокладка кабеля** → откроется окно **Прокладка кабелей/проводов** → можно выбрать конкретный щит или проложить все кабели автоматически → программа проложит все кабели и выделит цветом проложенные линии и электроприемники, к которым они были проложены (рис. 5.26).

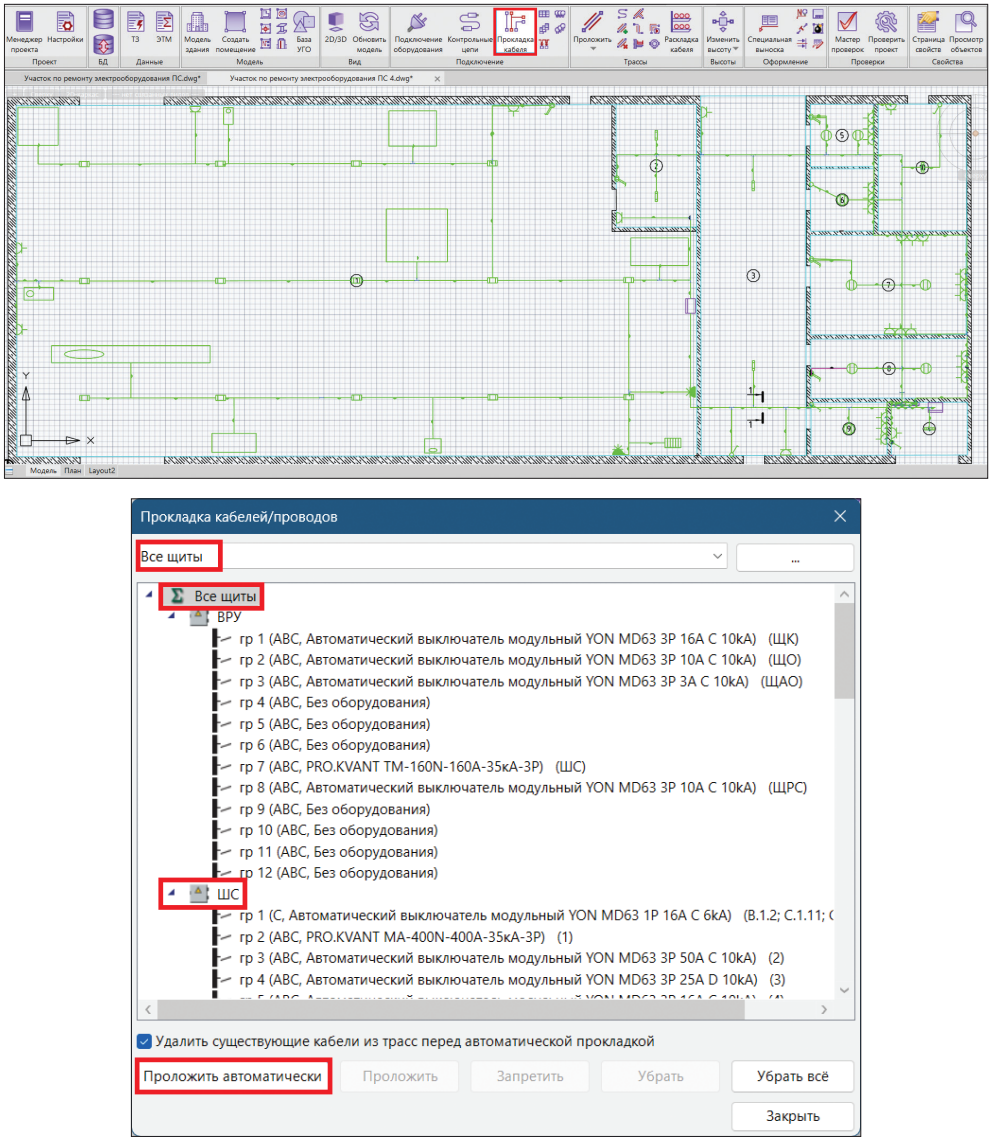


Рис. 5.26. Автоматическая **Прокладка кабелей/проводов** в nanoCAD BIM Электро

Ручная прокладка позволяет индивидуально указать конкретный фидер, путь для каждого фидера. Этот способ применяется при сложной конфигурации трасс или когда требуется точное соблюдение проектных отметок прокладки (рис. 5.27).

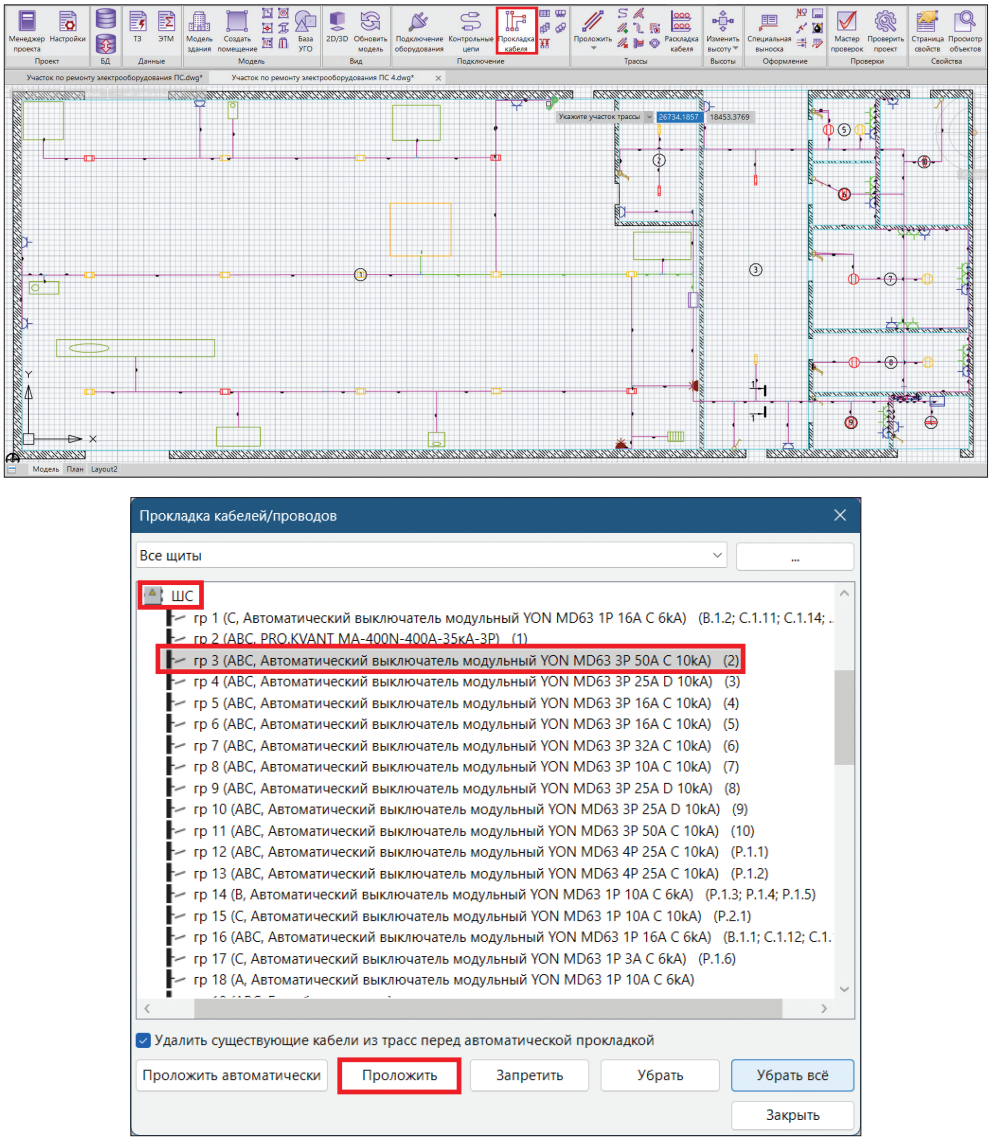


Рис. 5.27. Ручная **Прокладка кабелей/проводов** в nanoCAD BIM Электро

В процессе прокладки программа анализирует возможность соединения и выводит сообщение об успешном завершении, визуальным контролем служит цвет подсветки: успешно проложенные кабели отображаются стандартным зеленым цветом, а проблемные участки выделяются оранжевым цветом, сигнализируя о необходимости вмешательства проектировщика (рис. 5.28).

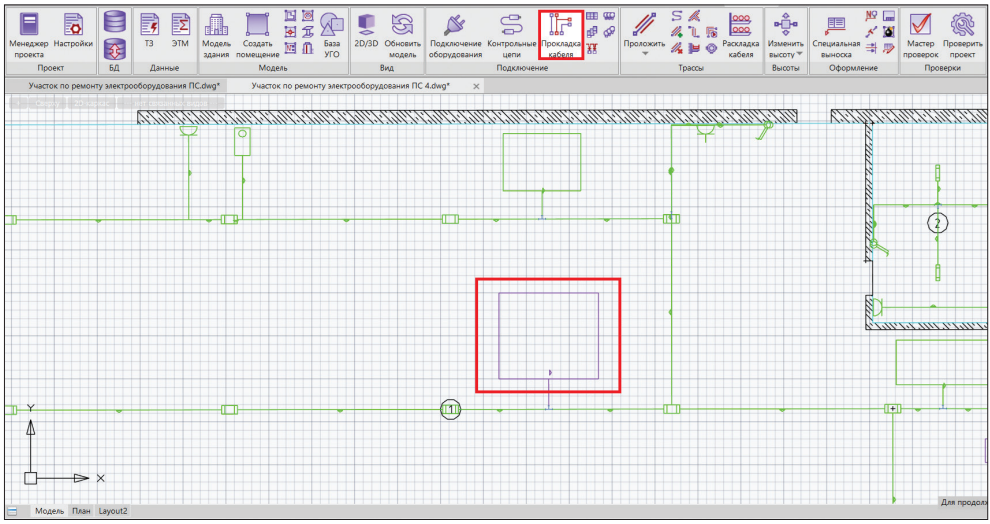


Рис. 5.28. Прокладка кабелей/проводов в nanoCAD BIM Электро → визуализация ошибок

Если после автоматической прокладки некоторые потребители остались неподключенными (например, из-за отсутствия связи в модели или пропущенных соединений трассы), программа сообщает об этом. В таких случаях необходимо:

1) вручную проверить созданные соединения в электротехнической модели;
2) выявить недостающие связи и создать их с помощью **Мастера подключения оборудования** (см. § 5.1);
3) повторить операцию прокладки с опцией удаления существующих кабелей для их обновления и приведения в соответствие с новой топологией.

После прокладки кабеля в ручном или автоматическом режиме необходимо выбрать конкретный кабель. Как упоминалось ранее, инструмент **Электротехническая модель (ЭТМ)** является центральным инструментом для анализа расчетных параметров и выбора кабелей. Именно здесь для каждого фидера отображается расчетный ток, определенный на основе мощностей всех подключенных к данному фидеру потребителей (рис. 5.29).

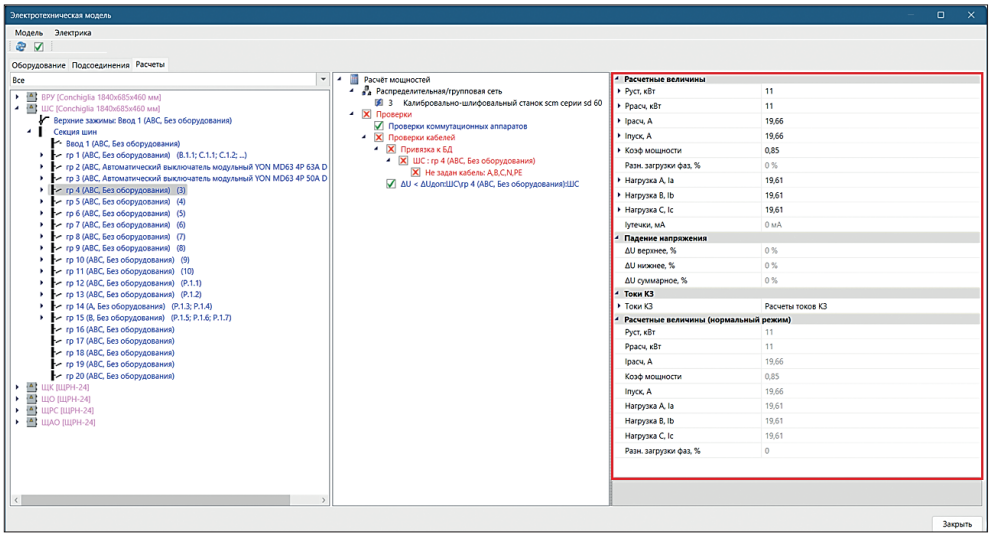


Рис. 5.29. Окно **Электротехническая модель** в nanoCAD BIM Электро → расчетные величины

На основе значений расчетных токов выполняется выбор сечения кабеля (рис. 5.30).

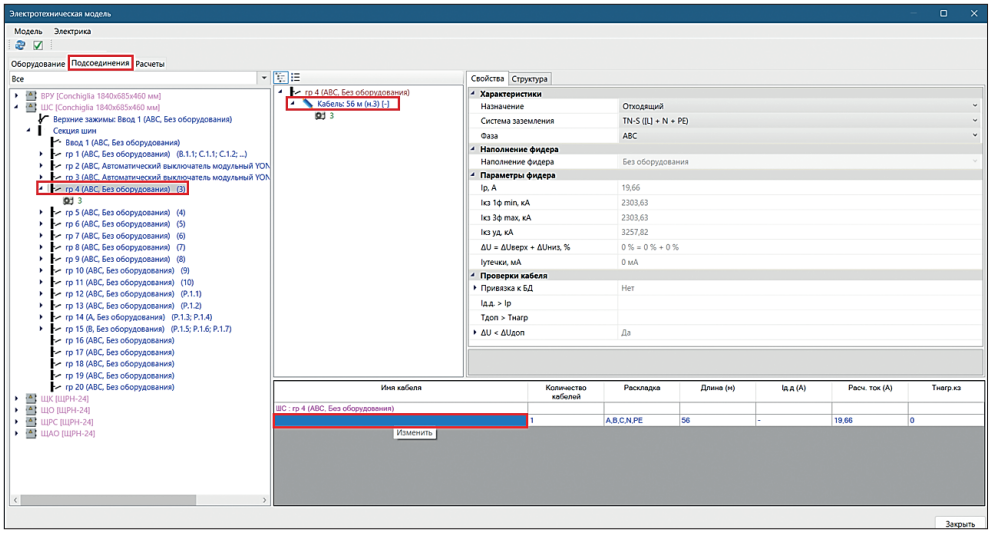


Рис. 5.30. Окно **Электротехническая модель** в nanoCAD BIM Электро → выбор кабеля

В практике проектирования сложились определенные стандартные решения (табл. 5.6):

- для групповых линий освещения при небольших токах (до 10–16 А) обычно достаточно кабеля сечением 1,5 мм², защищаемого автоматическим выключателем на 10 А или 16 А. Данный подход широко применяется как типовое решение и регламентируется СП 256.1325800.2016 «Электроустановки

жилых и общественных зданий. Правила проектирования и монтажа», где установлено, что минимальное сечение медных жил для групповых линий освещения должно составлять не менее 1,5 мм² [42, 57];

- для розеточных сетей сечение кабеля принимается не менее 2,5 мм², а номинальный ток автомата – 16 А или 20 А;
- для линий с большими токами (вводные кабели, питание мощного технологического оборудования) выбор производится строго по расчетному току с обязательной проверкой по условиям защиты и потере напряжения.

Таблица 5.6. Рекомендуемые сечения кабелей для типовых нагрузок

Тип нагрузки	Расчетный ток, А	Рекомендуемое сечение, мм²	Тип кабеля (пример)	Номинал автомата, А
Группа освещения (офис)	до 10	1,5	ВВГнг(А)-LS 3×1,5	10–16
Розеточная группа (офис)	до 16	2,5	ВВГнг(А)-LS 3×2,5	16–20
Розеточная группа (кухня, мастерская)	до 25	4,0	ВВГнг(А)-LS 3×4	25
Электроплита (однофазная)	до 40	6,0	ВВГнг(А)-LS 3×6	40
Вводной кабель (квартира)	40–50	10	ВВГнг(А)-LS 3×10 или 5×10	40–50
Кабель к станку (15 кВт, 380 В)	~30	4,0 или 6,0	ВВГнг(А)-LS 4×4 или 4×6	32–40
Кабель к ВРУ (100 А)	100	25 или 35	ВВГнг(А)-LS 4×25 или 4×35	100

Для выбора конкретного кабеля (материал изоляции, количество жил, сечение) через окно **ЭТМ** необходимо открыть вкладку **Подсоединения** (слева) → выбрать фидер (питающая линия) → (справа) во вкладке **Свойства** изменить свойства кабеля выбранной питающей линии → откроется окно **БД проекта** → необходимо выбрать **Базу данных оборудования** конкретного производителя и параметры кабеля (рис. 5.31) → выбрав подходящий кабель из базы данных, следует применить его к выбранному фидеру. Программа позволяет применить выбранный кабель на несколько однотипных фидеров, что существенно ускоряет работу при большом количестве однородных линий (рис. 5.32).

Для вводных фидеров щитов (питающих кабелей) выбор осуществляется исходя из номинала вводного аппарата. Например, для вводного автомата на 40 А требуется кабель с допустимым током не менее 40 А. При этом программа автоматически проверяет соответствие длительно допустимого тока кабеля номинальному току коммутационно-защитного аппарата.

Вся информация о выбранных кабелях (марки, сечения, длины, принадлежность к фидерам), а также о кабеленесущих системах и результатах проверок автоматически включается в выходные документы.

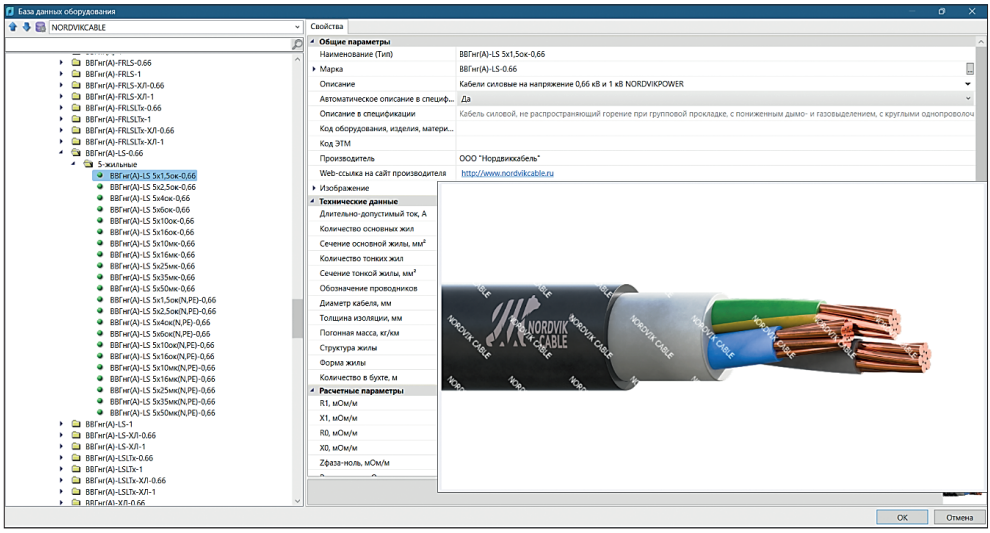


Рис. 5.31. Окно **База данных оборудования** в nanoCAD BIM Электро → выбор кабеля

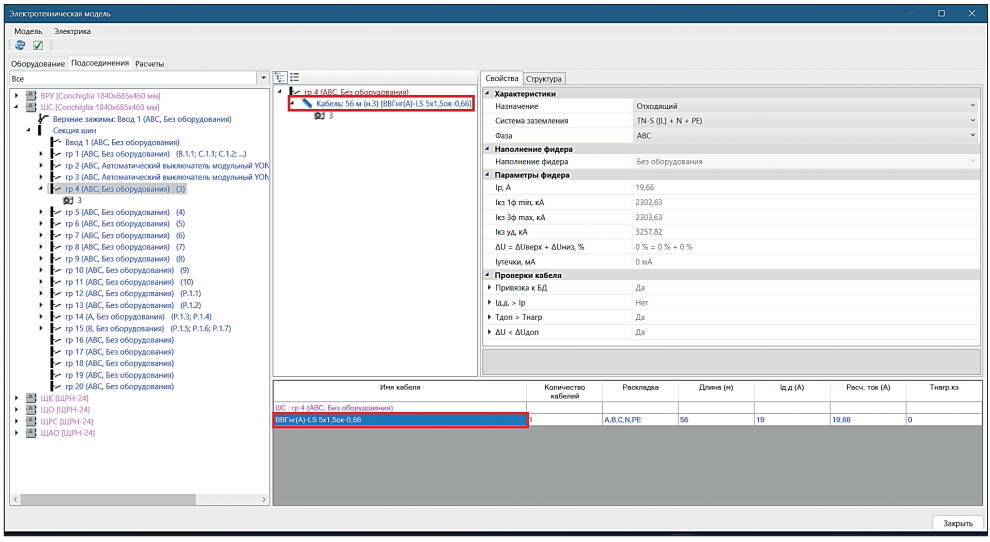


Рис. 5.32. Окно **Электротехническая модель** в nanoCAD BIM Электро → результат выбора кабеля для питающей линии

Эти документы могут быть выведены в требуемом формате (например, Microsoft Excel, PDF) для дальнейшего использования в сметной документации, при заказе материалов и непосредственно при производстве электромонтажных работ.

Таким образом, описанный в данном параграфе процесс прокладки и выбора кабелей в nanoCAD BIM Электро, основанный на использовании актуальных баз данных производителей и встроенных инструментов автоматической проверки, обеспечивает комплексный подход к проектированию и гарантирует соответствие системы электроснабжения всем требованиям безопасности и надежности.

Контрольные вопросы к § 5.4

1. Почему выбор кабеля выполняется после выбора аппарата защиты, а не до него?
2. Какие способы прокладки кабелей реализованы в nanoCAD BIM Электро?
3. Каким образом программа сообщает пользователю о проблемах при автоматической прокладке кабелей?
4. Что необходимо сделать, если после автоматической прокладки некоторые потребители остались неподключенными?
5. В каком окне программы отображаются расчетные токи для каждого фидера и выполняется выбор кабеля?
6. Как программа помогает проектировщику выбрать кабель, подходящий по допустимому току и количеству жил?
7. Можно ли применить выбранный кабель на несколько однотипных фидеров? Если да, то как это сделать?
8. Какие проверки автоматически выполняются программой после назначения кабеля фидеру?
9. Какие выходные документы автоматически формируются в nanoCAD BIM Электро после завершения выбора кабелей?

Для закрепления материала по данной главе пройдите тест, который находится на странице с дополнительными материалами (см. на стр. 7).

Практическое задание № 4

Тема: «Разработка электротехнической модели системы электроснабжения производственного участка в nanoCAD BIM Электро».

Цель задания: освоить этапы моделирования и проектирования системы электроснабжения производственного здания предприятия транспорта в среде nanoCAD BIM Электро:

- создание логических связей между элементами системы;
- проектирование кабельных трасс и выбор кабеленесущих систем;
- выбор защитных и коммутационных аппаратов на основе расчетных токов;
- выбор и прокладка кабелей.

Задание

Задание выполняется на основе результатов **Практических заданий № 1, № 2 и № 3**. В проекте должны быть выполнены следующие этапы:

1) создан проект **Участок по ремонту электрооборудования подвижного состава (ЭПС)**, настроены параметры, подключена архитектурная подоснова, созданы помещения (задание № 2);
2) в помещениях размещены:
   - светильники рабочего и аварийного освещения;
   - выключатели (с установочными коробками);

- розеточная сеть (офисные блоки, промышленные розетки);
- 10 единиц технологического оборудования (согласно варианту из задания № 3, табл. 4.16);
- распределительные щиты: ВРУ, ЩО (щит освещения) и т. п.;

3) сформировано и заполнено **Технологическое задание** на 10 электроприемников (задание № 3);
4) выполнен расчет электрических нагрузок по форме Ф636-92, выбран силовой трансформатор, настроен источник питания для ВРУ с указанием типа трансформатора и тока КЗ на высокой стороне (задание № 3).

Все эти данные должны быть сохранены в проекте. Если какой-либо из этапов пропущен, необходимо вернуться к соответствующим заданиям и выполнить их.

1. **Подключение оборудования к распределительным щитам.**

1.1. Проверка структуры щитов.

Откройте окно **Электротехническая модель (ЭТМ)** (панель **Электрика** → **ЭТМ**) → в дереве проекта разверните каждый щит и убедитесь, что во всех щитах созданы вводной и отходящие фидеры для групп освещения, розеточных групп, технологического оборудования.

1.2. Подключение нижестоящих щитов к ВРУ.

В окне **ЭТМ** выберите отходящий фидер ВРУ, предназначенный для питания ЩО → в правой панели **Подсоединения** нажмите **Подключить оборудование** → выберите из списка помещений соответствующее оборудование. Аналогично подключите другие щиты к соответствующим отходящим фидерам ВРУ. Убедитесь, что в дереве ЭТМ нижестоящие щиты отобразились как вложенные элементы фидеров ВРУ (рис. 5.33).

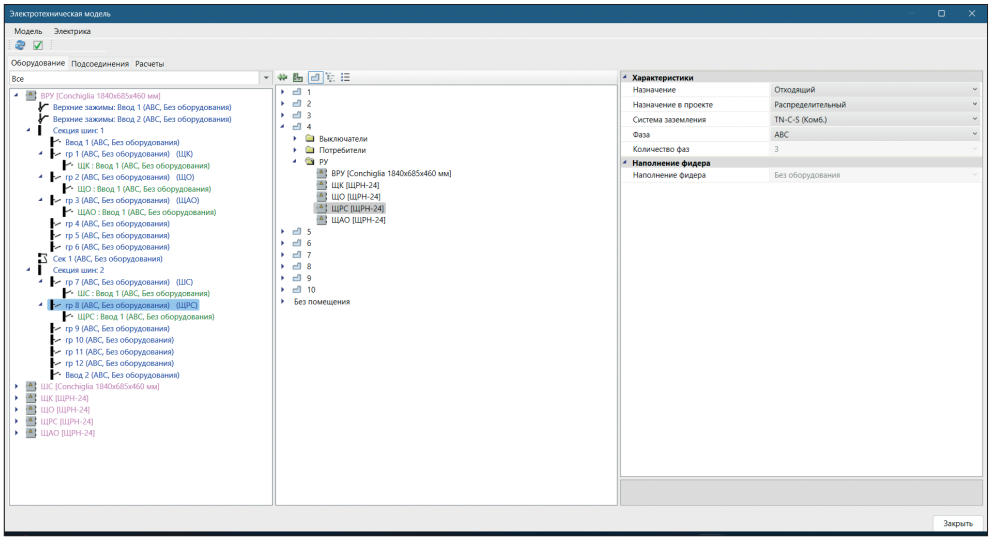


Рис. 5.33. Пример выполнения п. 1.2 практического задания № 4

1.3. Подключение конечных потребителей.

1.3.1. Подключение светильников через выключатели.

В окне **ЭТМ** выберите отходящий фидер щита **ЩО**, предназначенный для группы освещения → нажмите **Подключить оборудование** → в списке оборудования выберите выключатель, управляющий данной группой.

Важно: сначала подключается выключатель к фидеру, затем светильники к выключателю (рис. 5.34).

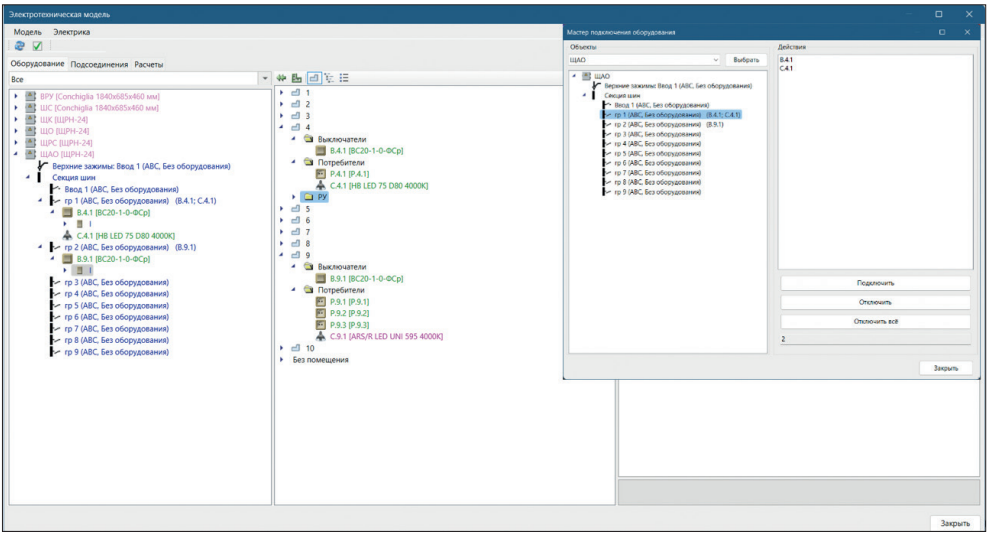


Рис. 5.34. Пример выполнения п. 1.3.1 практического задания № 4

Теперь выберите тот же фидер в **ЭТМ**, нажмите **Подключить оборудование** и выберите **выключатель** (убедитесь, что он появился в структуре фидера через **Мастер подключений**) → далее выберите подключенный выключатель в дереве **ЭТМ**, нажмите **Подключить оборудование** и укажите все светильники, которые должны управляться этим выключателем (можно выбрать несколько, удерживая **Ctrl**) → повторите для всех групп освещения. Для двухклавишных выключателей подключите соответствующие группы ламп → проверьте все подключения через **Мастер подключений**; если подключение не выполнено, подключите оборудование через **Мастер подключений**.

1.3.2. Подключение розеток.

В окне **ЭТМ** выберите отходящий фидер щита **ЩРС**, соответствующий группе розеток → нажмите **Подключить оборудование** и выберите все розетки, входящие в эту группу (используйте **Ctrl** для множественного выбора) → аналогично подключите промышленные розетки цеха (рис. 5.35).

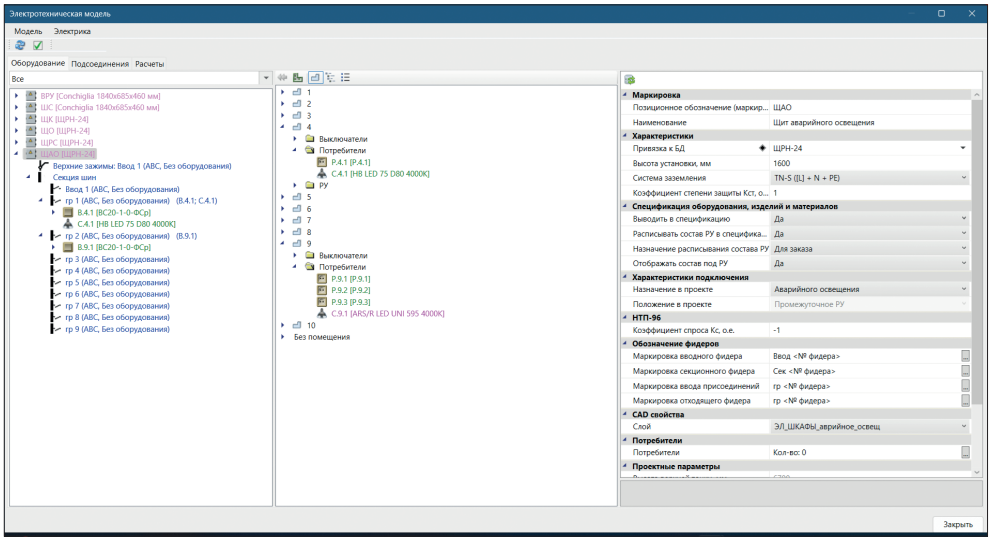


Рис. 5.35. Пример выполнения п. 1.3.2 практического задания № 4

1.3.3. Подключение технологического оборудования.

В окне **ЭТМ** выберите отходящий фидер щита **ЩС**, предназначенный для конкретного станка (например, **Токарный станок с ЧПУ**) → нажмите **Подключить оборудование** и выберите соответствующий электроприемник из списка (убедитесь, что он есть в технологическом задании) → повторите для всех 10 электроприемников (рис. 5.36).

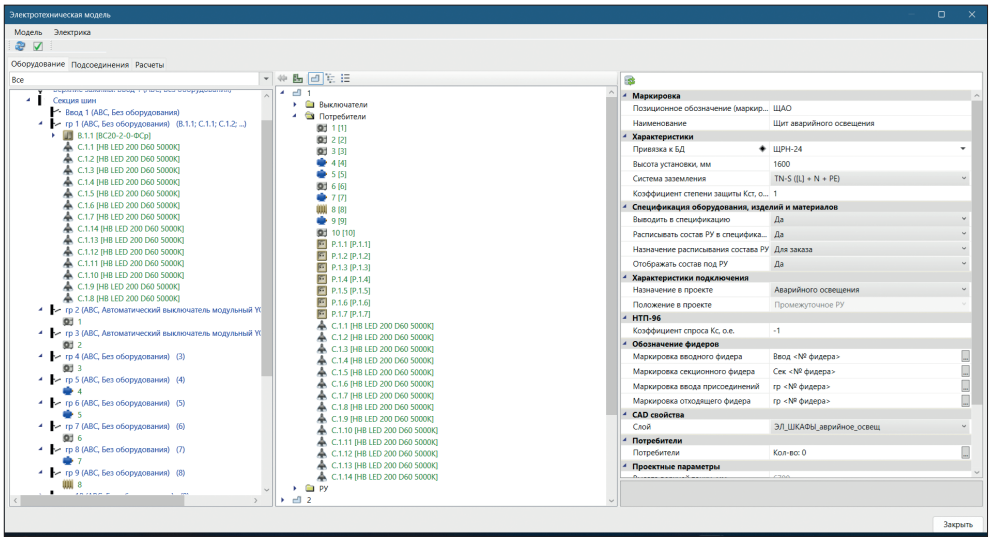


Рис. 5.36. Пример выполнения п. 1.3.3 практического задания № 4

1.4. Проверка симметрии загрузки фаз.

В окне ЭТМ выделите щит и откройте вкладку **Расчеты**, проанализируйте загрузку фаз А, В, С. При неравномерности более 30 % измените фазировку (в свойствах фидера или через контекстное меню подключенного оборудования). Выполните аналогичную проверку для всех щитов.

2. **Проектирование кабельных трасс.**

2.1. Создание основных магистральных трасс.

На панели **Электрика** в группе **Трассы** выберите инструмент **Проложить** → в окне **Настройки трассы** укажите:

- **Тип КНС:** выберите из базы данных металлический перфорированный лоток, например **Лоток перфорированный оцинкованный 100×50** (производитель – на усмотрение, но с учетом несущей способности);
- **УГО перепада высот:** выберите подходящее условное обозначение (например, стрелка вверх/вниз);
- **Высота прокладки**;
- **Прокладывать по стенам:** Да/Нет;
- **Поверхность крепления**.

Постройте трассу, соединяющую **ВРУ** с группой щитов **ЩО**, **ЩРС**, **ШАО, ЩС**. Трасса должна проходить через коридор и цех, огибая колонны (используйте ортогональный режим) (рис. 5.37).

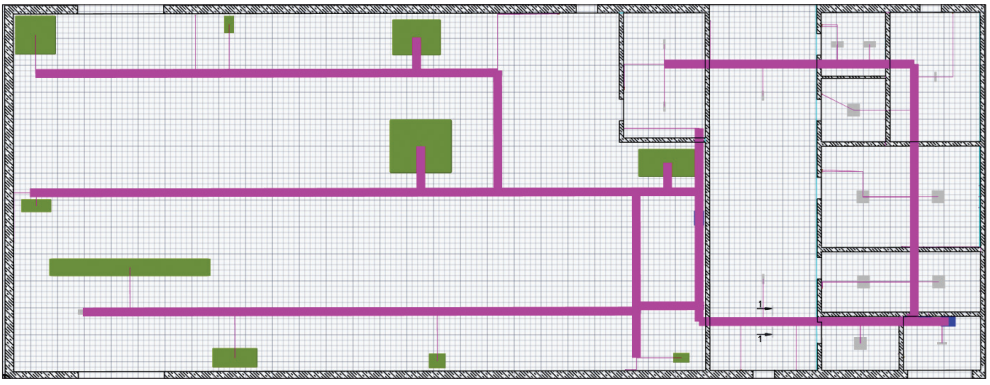


Рис. 5.37. Пример выполнения п. 2.1 практического задания № 4

2.2. Создание ответвлений к потребителям.

Используйте инструмент **Проложить от** или другие инструменты → выберите начальную точку на основной трассе вблизи места установки щита → проведите ответвление к щиту → аналогично создайте ответвления к щитам и электроприемникам.

Для освещения и розеток: от щита проложите трассы вдоль стен (по потолку) к каждой группе светильников. Используйте тип КНС – **кабель-канал (короб) пластиковый 40×20 и трубу гофрированную ПВХ** с прокладкой внутри перегородок. Для этого в настройках трассы укажите соответствующие параметры.

Для промышленных розеток цеха: от щита проложите трассу по стене (открыто) в лотках или трубе.

3. **Выбор защитных и коммутационных аппаратов.**

3.1. Выбор коммутационно-защитных аппаратов для отходящих линий групповых щитов.

Откройте окно **ЭТМ** → для каждого отходящего фидера щитов:

- зафиксируйте значение **Расчетный ток, А** (отображается в свойствах фидера). Этот ток рассчитан программой на основе мощностей подключенных потребителей и настроек источника питания (трансформатора);
- выберите фидер, нажмите **Добавить аппарат** (иконка «+») или через контекстное меню.

В открывшейся **Базе данных оборудования** перейдите в раздел **Модульное оборудование** (или соответствующего производителя) → выберите автоматический выключатель с подходящим номинальным током и характеристикой (рекомендации см. в табл. 5.5 пособия) → для групповых линий освещения используйте автоматы на 10–16 А с характеристикой C; для розеточных групп – автомат + УЗО или дифференциальный автомат на 16–25 А; для линий к электродвигателям – автоматы с характеристикой D → для розеточных групп обязательно добавьте **УЗО** (или выберите дифференциальный автомат) → после выбора аппарата в свойствах фидера появятся результаты автоматической проверки (зеленая галочка / красный крест) (рис. 5.38).

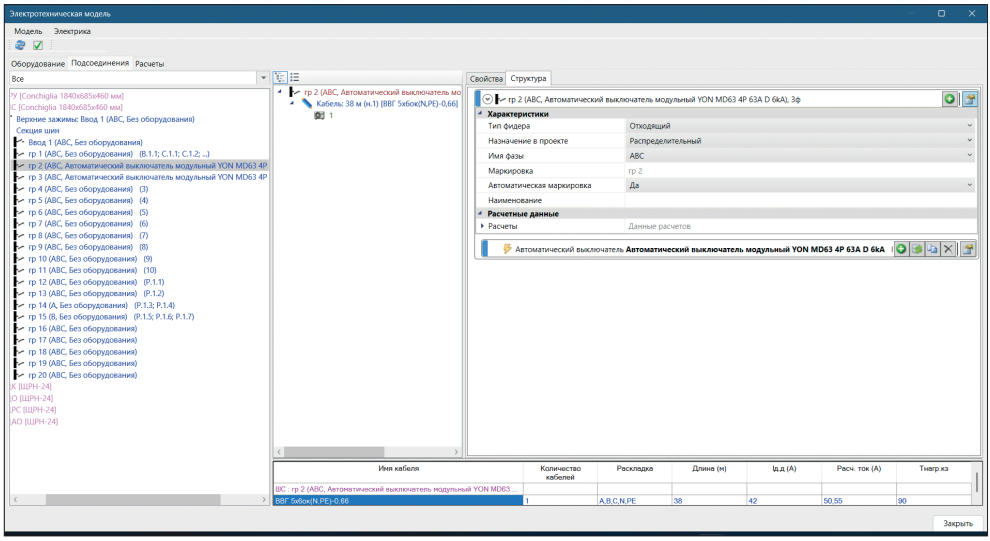


Рис. 5.38. Пример выполнения п. 3.1 практического задания № 4

3.2. Выбор вводных аппаратов щитов.

Для каждого щита выберите вводной фидер, определите его расчетный ток (он будет рассчитан автоматически с учетом коэффициента одновременности) → выберите вводной автоматический выключатель или выключатель

нагрузки соответствующего номинального тока → учтите пусковые токи наиболее мощных двигателей.

3.3. Выбор аппаратов в ВРУ.

В окне **ЭТМ** перейдите к фидерам ВРУ, питающим щиты. Расчетные токи этих фидеров уже определены программой → выберите для каждого фидера автоматический выключатель в литом корпусе или рубильник с соответствующим номиналом, обеспечивая селективность (номинал выше, чем у вводных аппаратов питаемых щитов). Рекомендуется, чтобы номинал вышестоящего аппарата был на одну-две ступени больше. Если вводные аппараты ВРУ уже были выбраны в задании № 3 при настройке источника, проверьте их соответствие расчетному току на вводе.

4. **Выбор и прокладка кабелей.**

4.1. Предварительный выбор сечений.

Используя расчетные токи фидеров и рекомендации табл. 5.6 пособия, определите ориентировочные сечения кабелей для всех линий → учтите условия прокладки.

4.2. Выбор кабелей из базы данных.

На панели **Электрика** выберите инструмент **Прокладка кабелей/проводов** → в открывшемся окне выберите опцию **Проложить все кабели автоматически** или укажите конкретные щиты → запустите процесс → программа проложит кабели по ранее созданным трассам → визуально оцените результат: успешно проложенные кабели подсвечиваются зеленым, проблемные участки – оранжевым (рис. 5.39).

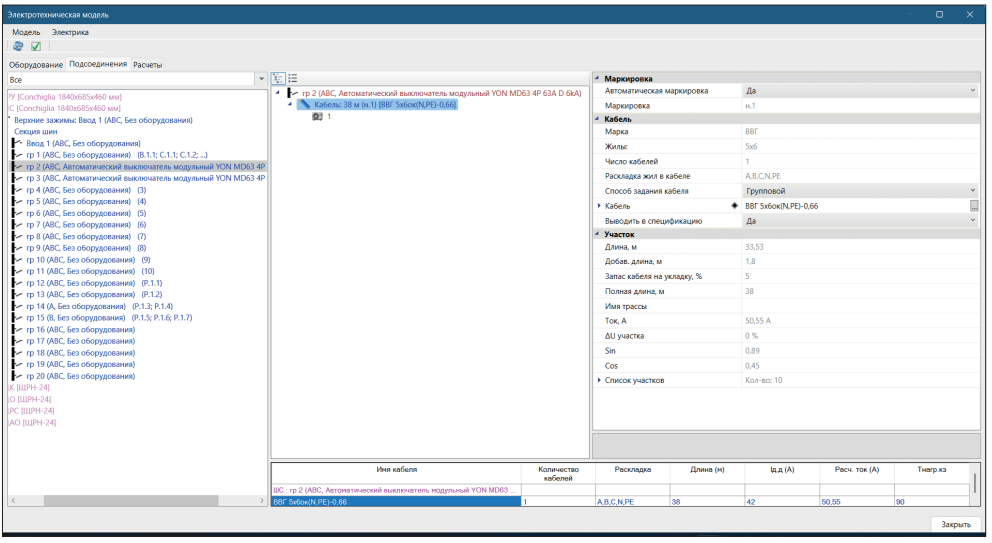


Рис. 5.39. Пример выполнения п. 4 практического задания № 4

Если возникли ошибки (например, нет связи трассы с потребителем), проанализируйте сообщения и исправьте: добавьте недостающие участки трасс вручную или проверьте подключения в **ЭТМ** либо через **Мастер подключений**.

После исправлений повторите автоматическую прокладку с опцией **Удалить существующие кабели и проложить заново**.

В окне **ЭТМ** выберите щит → отходящий фидер → в правой панели **Свойства** найдите параметр **Кабель** и нажмите кнопку выбора (троеточие) → в **Базе данных оборудования** выберите подходящий кабель → подтвердите выбор. Программа автоматически выполнит проверки. Если проверка не пройдена (красный крест), выберите кабель большего сечения.

Критерии правильного выполнения задания

1 (Подключения):

1) все нижестоящие щиты подключены к соответствующим фидерам ВРУ;
2) группы освещения правильно подключены: светильники → выключатель → фидер ЩО (для каждой группы);
3) розетки подключены к фидерам ЩРС, сфазированы равномерно;
4) все 10 электроприемников подключены к фидерам ЩС;
5) в ЭТМ отображается полная иерархия «источник → щит → потребитель».

2 (Трассы):

1) создана основная магистральная трасса от ВРУ к щитам с корректным типом КНС;
2) созданы ответвления к щитам и конечным потребителям с соответствующими КНС (кабель-каналы, трубы и т. п.);
3) для трасс заданы правильные высоты прокладки и поверхности крепления.

3 (Аппараты защиты):

1) для каждого фидера выбран аппарат с номиналом не менее расчетного тока;
2) для розеточных групп установлены УЗО или АВДТ с током утечки 30 мА;
3) для двигателей выбраны автоматы с характеристикой D;
4) соблюдена селективность: номинал вышестоящего аппарата больше номинала нижестоящего (на 1–2 ступени);
5) автоматические проверки после выбора аппаратов не выявили ошибок.

4 (Кабели):

1) для каждого фидера выбран кабель из базы данных с сечением, обеспечивающим $I_{\text{доп}} \geqslant I_{\text{ном.авт}}$;
2) потери напряжения не превышают допустимых (для освещения – 2,5 %, для силовых – 5 %);
3) автоматическая прокладка кабелей выполнена без ошибок (зеленые линии).

Задание считается **выполненным**, если обучающийся:

- корректно создал логические связи в ЭТМ на основе ранее размещенного оборудования;
- спроектировал кабельные трассы с выбором КНС;
- подобрал аппараты защиты и кабели с использованием баз данных;
- выполнил автоматическую прокладку кабелей и проверил модель.

Наличие непривязанных потребителей, ошибок в селективности, превышение потерь напряжения или некорректная заполняемость трасс являются основанием для доработки.

ГЛАВА 6

Методы и средства верификации проекта в nanoCAD BIM Электро

§ 6.1. Проверка проекта системы электроснабжения в nanoCAD BIM Электро

Проектирование системы электроснабжения любого промышленного предприятия или предприятия транспорта завершается проверкой его на соответствие нормативным требованиям, отсутствие ошибок и корректность всех принятых проектировщиком решений.

В nanoCAD BIM Электро проверка проекта системы позволяет выявить и устранить возможные недостатки еще до того, как документация будет передана заказчику или направлена на экспертизу. При этом важно понимать, что такая проверка не является разовым действием, она сопровождает весь процесс проектирования и опирается на серию последовательных расчетов, заложенных в основу информационной модели.

Корректность каждого проектного решения в nanoCAD BIM Электро обеспечивается выполнением комплекса автоматизированных расчетов, основанных на методах, предусмотренных нормативными документами (ПУЭ, РТМ 36.18.32.4, СП 256.1325800, ГОСТ Р 50571.5.52 и др.). Эти расчеты программа выполняет на всех этапах – от формирования технологического задания до окончательного выбора оборудования и кабелей [5]. Рассмотрим основные из них (рис. 6.1).

1. **Расчет электрических нагрузок** выполняется на основе данных, введенных в **Технологическом задании** (см. § 5.1). Эти данные отображаются в форме Ф636-92 и служат основой для выбора аппаратов защиты и питающих кабелей.
2. **Расчет токов короткого замыкания (КЗ)** осуществляется для проверки чувствительности и селективности защиты, программа рассчитывает токи КЗ в каждой точке сети. Расчет учитывает:

- параметры вышестоящей сети (трансформатор, питающие кабели);
- сопротивления кабельных линий (активные и индуктивные);
- сопротивления коммутационных аппаратов (при наличии данных).

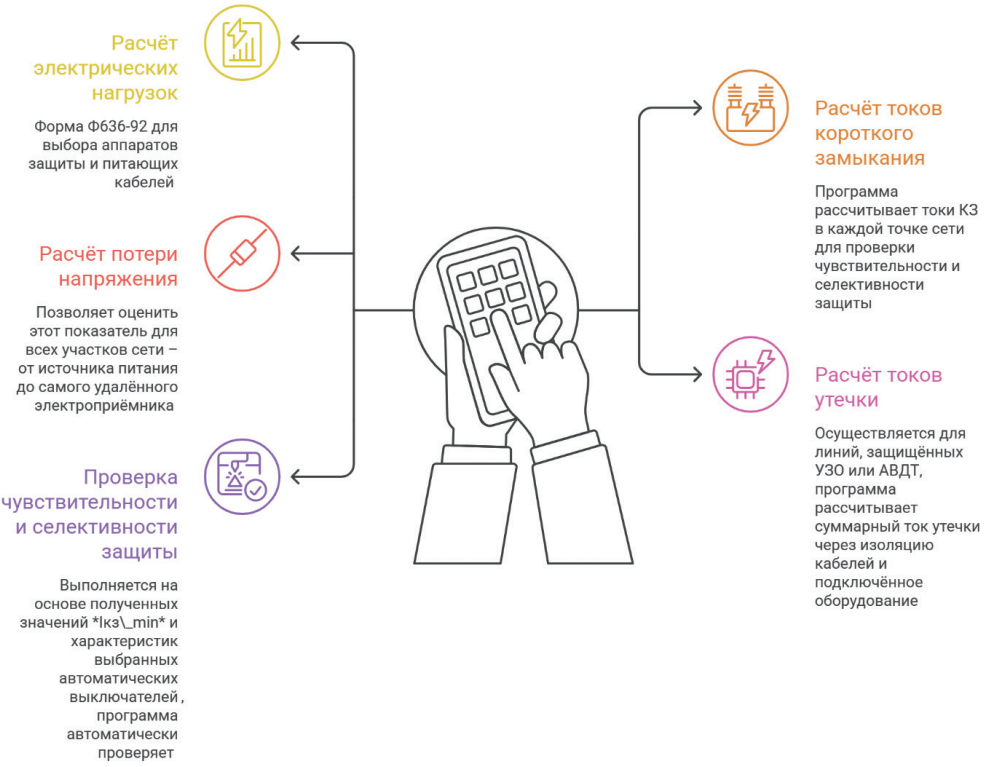


Рис. 6.1. Проверочные расчеты в nanoCAD BIM Электро

В результате определяются:

- **минимальный ток КЗ ($I_{кз_min}$)** – для проверки чувствительности защиты (должен превышать ток срабатывания электромагнитного расцепителя);
- **максимальный ток КЗ ($I_{кз_max}$)** – для проверки отключающей способности коммутационно-защитных аппаратов;
- **ударный ток КЗ ($i_{уд}$)** – для проверки электродинамической стойкости оборудования;
- **температура нагрева кабеля при КЗ ($T_{нагр}$)** – программа вычисляет температуру, до которой нагревается токопроводящая жила кабеля при протекании тока короткого замыкания, и проверяет, не превышает ли она допустимую для данного типа изоляции [20, 28, 40].

3. **Расчет потери напряжения** позволяет оценить один из важнейших параметров качества электроэнергии. В программе этот показатель вычисляется для всех участков сети – от источника питания (трансформатора) до самого удаленного электроприемника. Расчет выполняется с учетом:

- активного и индуктивного сопротивлений кабелей;
- расчетного тока линии;
- длины участка.

Допустимые значения потерь напряжения (ΔU) регламентированы СП 256.1325800 (не более 5 % для силовых сетей и 2,5 % для осветительных) [26, 40, 57].

4. **Расчет токов утечки** осуществляется для линий, защищенных УЗО или АВДТ. Программа рассчитывает суммарный ток утечки через изоляцию кабелей и подключенное оборудование. Этот параметр необходим для предотвращения ложных срабатываний дифференциальной защиты. В программе реализована проверка, согласно которой ток утечки должен быть не более 1/3 от номинального отключающего дифференциального тока ($I_{\Delta n}$), что соответствует требованиям ПУЭ (п. 7.1.83). Если ток утечки превышает это значение, возможны ложные срабатывания, и требуется корректировка проекта (уменьшение длины линии, выбор кабеля с меньшей емкостью или замена УЗО на устройство с большим $I_{\Delta n}$) [38, 49, 59].
5. **Проверка чувствительности и селективности защиты** выполняется на основе полученных значений $I_{кз_min}$ и характеристик выбранных автоматических выключателей, программа автоматически проверяет:

- **чувствительность защиты** – условие $I_{ср.эмр} \leqslant I_{кз_min}$ (ток срабатывания электромагнитного расцепителя не должен превышать минимальный ток КЗ в конце линии);
- **отключающую способность** – условие $I_{си} \geqslant I_{кз_max}$ (предельная коммутационная способность аппарата должна быть больше максимального тока КЗ в месте установки);
- **селективность (избирательность)** – при последовательном включении аппаратов номинальные токи и времятоковые характеристики должны быть согласованы так, чтобы при аварии срабатывал только ближайший к месту повреждения аппарат.

После выполнения описанных расчетов программа сравнивает параметры выбранного оборудования (автоматических выключателей, УЗО, кабелей) с полученными расчетными значениями. Если оборудование не удовлетворяет условиям, оно идентифицируется и выделяется как ошибочное, и проектировщик получает возможность его заменить. Например, если сечение кабеля недостаточно для расчетного тока, программа укажет на необходимость увеличить сечение или выбрать кабель с более высоким значением допустимой токовой нагрузки.

Автоматизированная проверка проекта в nanoCAD BIM Электро направлена на решение следующих ключевых задач:

- **контроль выполнения нормативных требований** (ПУЭ, СП, ГОСТ) на основе выполненных расчетов;
- **обеспечение целостности модели** – отсутствие невыполненных подключений и разрывов в связях модели;
- **проверка корректности выбора оборудования** (автоматических выключателей, кабелей, УЗО) по расчетным параметрам;

- **анализ качества электрической сети** (потери напряжения, симметрия фаз, токи утечки);
- **снижение вероятности ошибок на этапе строительства и монтажа.**

Программа nanoCAD BIM Электро выполняет всесторонний анализ модели, который можно разделить на несколько логических групп. В табл. 6.1 приведены основные проверяемые параметры и нормативное обоснование каждого вида контроля [26, 40, 49, 57].

Таблица 6.1. Параметры автоматической проверки проекта в nanoCAD BIM Электро

Группа проверки	Проверяемые параметры	Нормативное обоснование
Электрические расчеты	Расчетный ток линии ($I_р$) не превышает номинальный ток аппарата ($I_{н.авт}$)	ПУЭ, п. 3.1.4: номинальные токи аппаратов должны соответствовать расчетным токам защищаемых линий
	Минимальный ток КЗ ($I_{кз_min}$) достаточен для срабатывания защиты	ПУЭ, п. 3.1.11: обеспечение чувствительности защиты
	Потеря напряжения (ΔU) не превышает допустимую	СП 256.1325800.2016, п. 10.11: ΔU не более 5 % (силовые сети) и 2,5 % (осветительные)
	Ток утечки ($I_Δ$) не превышает 50 % от $I_{Δn}$ УЗО/АВДТ	ПУЭ, п. 7.1.83: исключение ложных срабатываний УЗО
	Симметрия загрузки фаз	ПУЭ: неравномерность не более 15 % на вводе и 30 % для групп
Выбор оборудования	Соответствие выбранного автоматического выключателя (тип, номинал, отключающая способность)	ПУЭ, ГОСТ Р 50345–2010
	Соответствие выбранного кабеля (сечение, материал жил, изоляция)	ПУЭ, гл. 1.3, 2.1, 2.3
	Наличие и тип УЗО/АВДТ для розеточных сетей и влажных помещений	ПУЭ, п. 7.1.71–7.1.88
	Принадлежность оборудования к помещению	Важно для классификации сред и выбора оборудования по IP
Целостность модели	Наличие подключений к фидерам для всех потребителей	Исключение неподключенных элементов
	Наличие выбранных кабелей для всех проложенных трасс	Обеспечение полноты спецификации
	Разрывы трасс	Исключение разрывов в кабельных линиях
	Корректность раскладки кабелей в лотках	Контроль заполняемости, соблюдение норм прокладки

Результаты всех выполненных проверок визуализируются в окне электротехнической модели (ЭТМ) и в специализированном окне **Мастер проверок**, где ошибки и предупреждения группируются по категориям и сопровождаются наглядной цветовой индикацией. Это позволяет проектировщику оперативно локализовать проблемные участки и внести необходимые исправления.

Контрольные вопросы к § 6.1

1. Какие основные проверочные расчеты выполняются в nanoCAD BIM Электро в процессе проектирования?
2. Для чего выполняется расчет токов короткого замыкания? Какие параметры защиты он позволяет проверить?
3. Как программа рассчитывает потерю напряжения в линии? Каковы допустимые значения согласно нормативным документам?
4. Почему важно контролировать ток утечки для линий, защищенных УЗО?
5. Какие условия проверяются при оценке чувствительности защиты и отключающей способности автоматического выключателя?
6. Назовите основные группы параметров, по которым программа проверяет проект.
7. Какие параметры качества электроэнергии контролируются в рамках проверки проекта?
8. Какие ошибки, связанные с целостностью модели, может выявить автоматическая проверка?

§ 6.2. Инструменты проверки проекта в nanoCAD BIM Электро

В nanoCAD BIM Электро для проверки проекта предусмотрены два взаимодополняющих инструмента (рис. 6.2):

1) **Электротехническая модель (ЭТМ)** – скорее предназначена для детального анализа параметров каждого элемента сети. Здесь проектировщик может в любой момент увидеть расчетные значения и результаты проверок для конкретного фидера, щита, коммутационного аппарата или кабеля;
2) инструмент **Проверки** (панель **Проверки** на вкладке **Электрика**) – предназначен для комплексной оценки всего проекта, выявления всех ошибок и предупреждений в едином окне. Доступ к этому инструменту также доступен через окно **ЭТМ**.

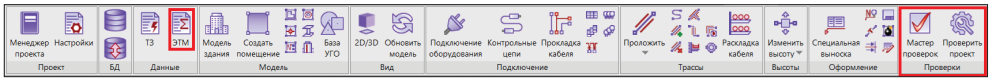


Рис. 6.2. Окно вкладки **Электрика** → проверочные расчеты в nanoCAD BIM Электро

ЭТМ незаменима для оперативного контроля и локальной корректировки при работе над конкретным участком сети. Инструмент **Проверки** (в частности, **Мастер проверок**) оптимален для финальной верификации всего проекта перед формированием документации.

Окно электротехнической модели (**ЭТМ**) (рис. 6.3) выполняет две важные функции. Во-первых, оно позволяет управлять подключениями – создавать и редакти-

ровать электрические связи между щитами, выключателями и потребителями. Во-вторых, оно служит важным инструментом контроля, с помощью которого можно в любой момент проверить правильность принятых проектных решений [5, 40].

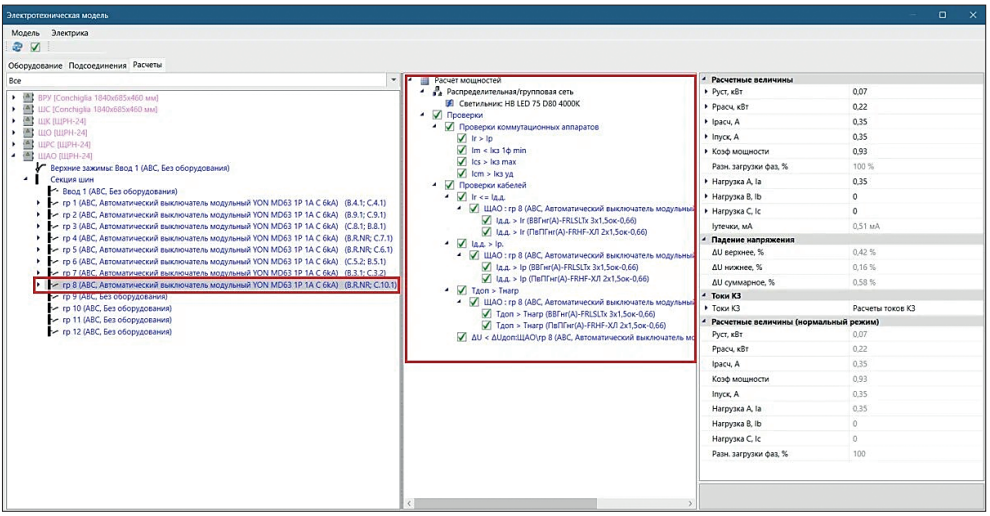


Рис. 6.3. Окно **ЭТМ** → проверочные расчеты в nanoCAD BIM Электро (все проектные решения верны)

Для того чтобы проверить параметры конкретной питающей линии (фидера), достаточно выбрать ее в дереве проекта, расположенном в левой части окна **ЭТМ**. В правой части откроется подробная информация: расчетный ток, токи короткого замыкания, потеря напряжения и, что самое главное, результаты проверки выбранного оборудования.

Наиболее эффективным является использование данного функционала на этапе выбора коммутационно-защитных аппаратов (автоматических выключателей, устройств защитного отключения) и кабельной продукции. Программа осуществляет анализ выбранного оборудования в режиме реального времени, незамедлительно предоставляя информацию о его соответствии или несоответствии заданным расчетным параметрам. После изменения параметров оборудования важно помнить о необходимости обновления модели (значок на панели ЭТМ).

Визуализация результатов выполнена в виде цветовой индикации:

- при полном соответствии всех параметров расчетным значениям и требованиям нормативной документации напротив каждого вида проверки отображается зеленый маркер, свидетельствующий о корректности принятого решения (рис. 6.3);
- если хотя бы одно условие не выполняется, соответствующая позиция маркируется красным маркером. При этом программа не просто констатирует факт несоответствия, но и указывает конкретный параметр, вызвавший нарушение (например, «номинальный ток автоматического выключателя менее расчетного тока линии» или «выбранное сечение кабеля не обеспечивает требуемую пропускную способность») (рис. 6.4).

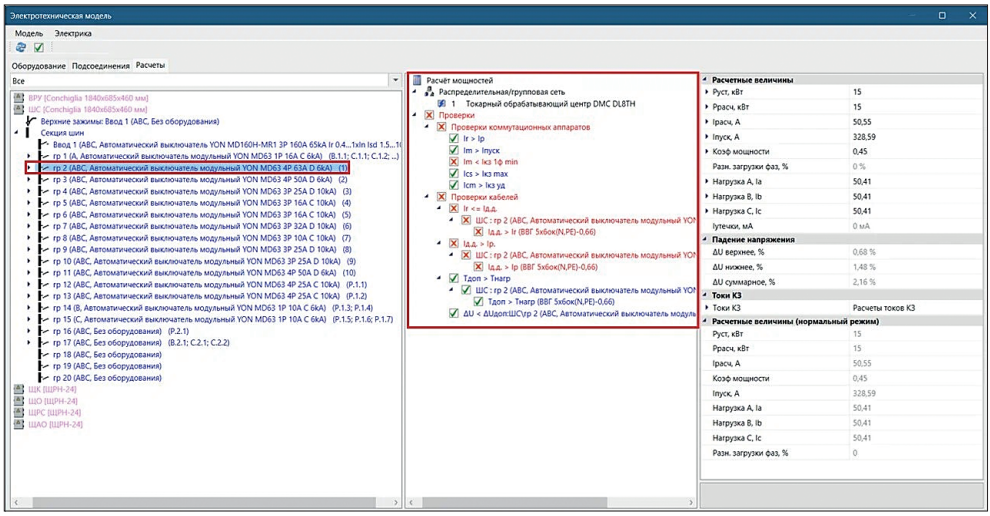


Рис. 6.4. Окно **ЭТМ** → проверочные расчеты в nanoCAD BIM Электро (некоторые проектные решения НЕ верны)

Подобная организация обратной связи позволяет проектировщику оперативно реагировать на выявленные недостатки в проекте. При обнаружении недостатков возможны следующие корректирующие действия:

- изменение параметров выбранного элемента (например, увеличение сечения кабеля);
- полная замена элемента на альтернативный, соответствующий требуемым характеристикам (например, выбор автоматического выключателя с большим номинальным током или иной времятоковой характеристикой).

После внесения изменений проверка выполняется повторно, и при устранении нарушения и обновлении модели красный маркер заменяется зеленым.

На рис. 6.5 представлен фрагмент интерфейса окна ЭТМ, в котором визуально отображается несоответствие между длительно допустимым током выбранного кабеля и расчетным током защищаемой линии. Такое несоответствие показывает, что выбранное сечение кабеля не обеспечивает требуемой пропускной способности для передачи электрической энергии в нормальном режиме работы.

Выделение конкретного параметра (в данном случае – допустимого тока кабеля) позволяет проектировщику четко идентифицировать причину ошибки. Программа не просто констатирует наличие проблемы, но и указывает, какой именно параметр не соответствует расчетным значениям. Анализируя представленные данные, проектировщик может сделать однозначный вывод: для устранения выявленного несоответствия необходимо увеличить сечение кабеля.

Таким образом, визуальная индикация в сочетании с детализированным отображением проверяемых параметров позволяет оперативно определить корректирующие действия, направленные на приведение выбранного оборудования в соответствие с расчетными нагрузками и нормативными требованиями.

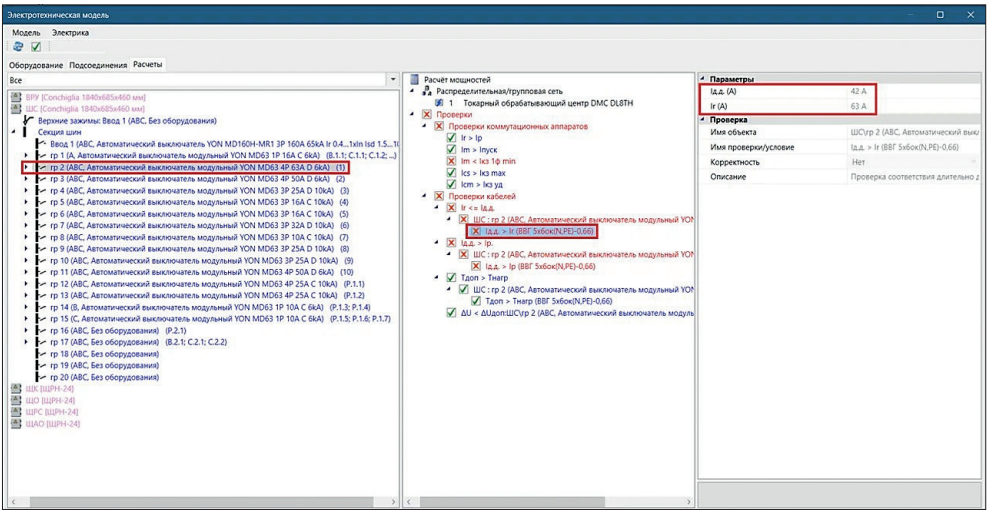


Рис. 6.5. Фрагмент интерфейса окна **ЭТМ** → несоответствие между длительно допустимым током выбранного кабеля и расчетным током защищаемой линии

Таким образом, окно электротехнической модели (ЭТМ) обеспечивает возможность интерактивного контроля корректного выбора оборудования непосредственно в процессе проектирования, без необходимости запуска дополнительных проверочных процедур, что способствует снижению вероятности возникновения ошибок.

Помимо электротехнической модели (ЭТМ), в nanoCAD BIM Электро предусмотрен еще один специализированный инструмент для контроля корректности проекта – **Проверки** (рис. 6.2). Данный инструмент расположен на одноименной панели вкладки **Электрика** и объединяет две основные команды: **Мастер проверок** и **Проверить проект**.

В интерфейсе nanoCAD BIM Электро реализована команда **Проверить проект** или **Проверка целостности данных проекта**, которая, скорее, относится к категории экспресс-проверок. Данная команда предназначена для ускоренной верификации текущего состояния информационной модели.

При ее активации программа выполняет быстрый анализ, в ходе которого выявляются ошибки проекта, влияющие на корректность и целостность проекта (рис. 6.6).

В окне **Проверка целостности данных проекта** выводится перечень конкретных ошибок, выявленных в графической области проекта. Программа предоставляет возможность наглядно отобразить каждую из обнаруженных ошибок непосредственно на плане и предлагает инструменты для их последовательного исправления.

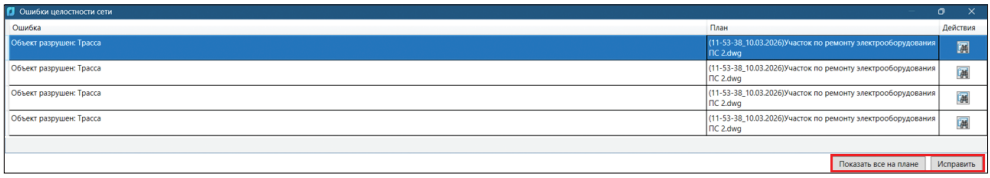


Рис. 6.6. Окно **Ошибки целостности сети** → **Проверка целостности данных проекта** → ошибки в построении трассы

В случае обнаружения ошибок программа не ограничивается простой констатацией их наличия, она предоставляет исчерпывающие данные, позволяющие идентифицировать и локализовать каждое отклонение, например точное местоположение проблемного элемента (скажем, конкретный щит, фидер или участок трассы). Пользователю обеспечивается возможность пошагового просмотра всех выявленных ошибок с их визуальной индикацией в рабочем пространстве, что позволяет локализовать проблемные элементы и произвести необходимую корректировку проектных решений.

Если в процессе проверки не было зафиксировано ни одного нарушения, в командной строке, расположенной в нижней части рабочего окна программы, отображается уведомление **Проверка завершена. Ошибки не найдены** (рис. 6.7). Это свидетельствует о том, что базовые структурные и расчетные параметры модели не содержат критических противоречий.

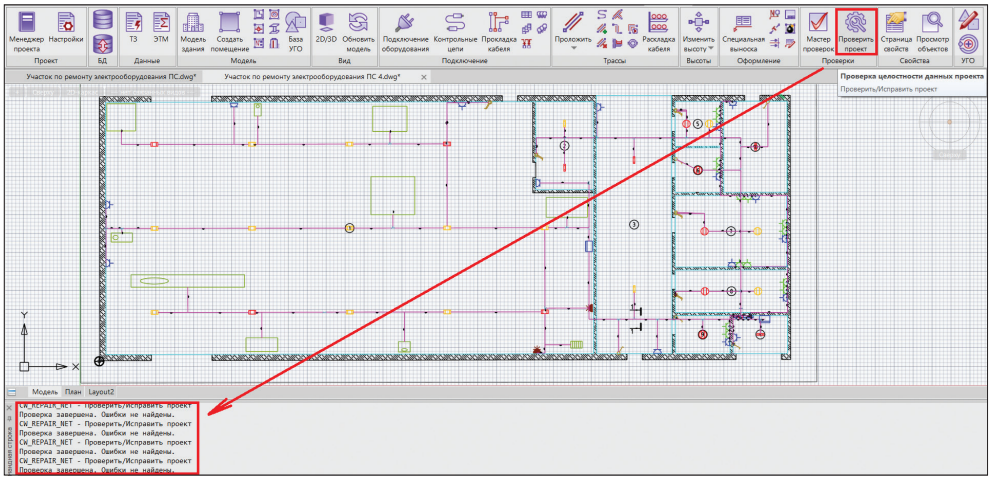


Рис. 6.7. Инструмент **Проверить проект** → ошибки отсутствуют

В этом случае для их детального изучения и последующего исправления рекомендуется перейти к использованию более развернутого инструмента – **Мастер проверок**, представляющего собой структурированный реестр обнаруженных ошибок, позволяющий оперативно переходить к любому из отмеченных элементов для их устранения.

Мастер проверок (рис. 6.8) – это диалоговое окно, в котором собраны все проверяемые параметры, сгруппированные по категориям. Цветовая индикация позволяет определить, в какой категории проектировщиком были допущены ошибки.

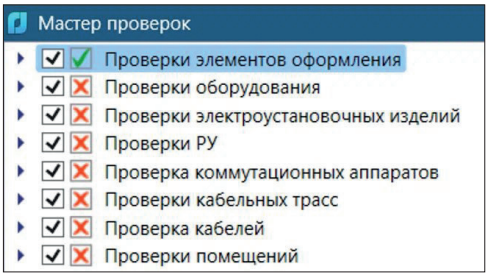


Рис. 6.8. Окно **Мастер проверок** → категории проверок

В рамках работы с **Мастером проверок** проектировщик получает полную информацию о выявленных ошибках, вместе с тем программа не препятствует продолжению работы, а лишь уведомляет об обнаруженных нарушениях, делегируя пользователю право устанавливать приоритеты их исправления.

Мастер проверок позволяет осуществлять контроль как в автоматическом, так и в ручном режиме. При активации опции **Запускать проверку автоматически** программа осуществляет непрерывный анализ модели в фоновом режиме, оперативно реагируя на любые изменения. При необходимости пользователь может инициировать проверку вручную, используя соответствующую кнопку запуска, и выбрать категории для проверки (рис. 6.9).

В процессе работы в nanoCAD BIM Электро проектировщики, особенно на начальном этапе освоения программы, могут допускать ряд типичных ошибок. С помощью **Мастера проверок** такие ошибки обнаруживаются на ранних этапах работы, а встроенные инструменты обеспечивают возможность их оперативной коррекции. Рассмотрим наиболее распространенные ошибки и способы их устранения (табл. 6.2).

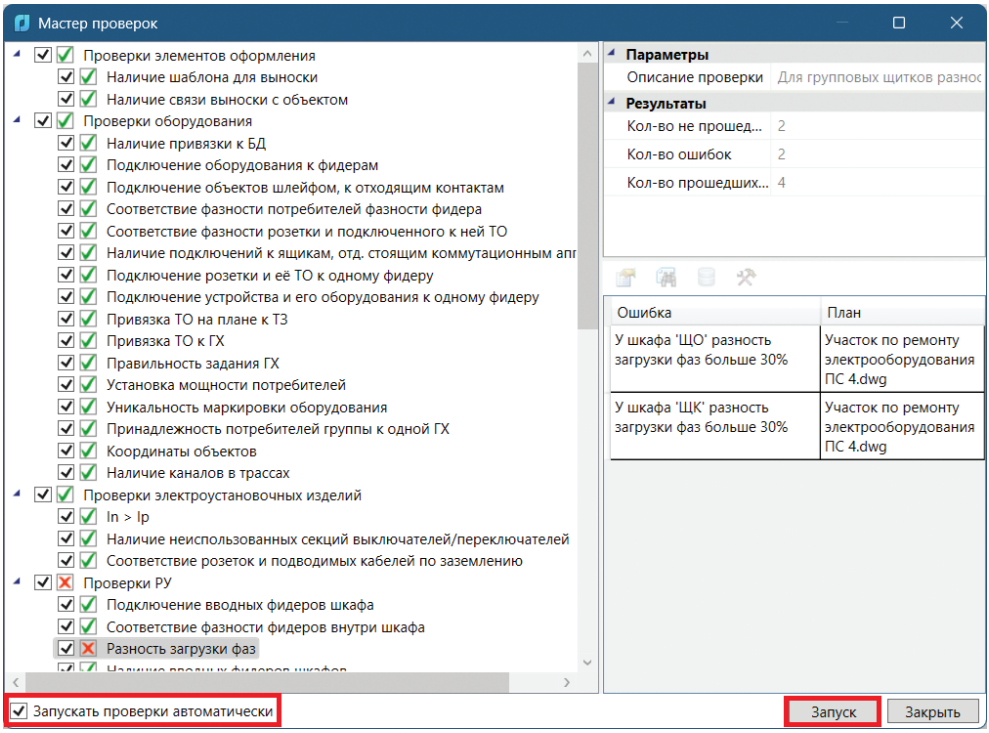


Рис. 6.9. Окно **Мастер проверок** → выбор категории проверки → запуск проверки автоматически или вручную

Таблица 6.2. Типичные ошибки, выявляемые **Мастером проверок** в nanoCAD BIM Электро

Категория	Типичная ошибка	Пояснение
Электрические расчеты	Номинальный ток коммутационного аппарата или электроустановочных изделий меньше расчетного тока (рис. 6.10)	$I_{ном.авт} < I_р$ – необходимо увеличить номинальный ток или пересмотреть нагрузку
	Не выполнена проверка по чувствительности (рис. 6.11)	Ток КЗ в конце линии недостаточен для надежного срабатывания защиты
	Превышение допустимой потери напряжения (рис. 6.12)	Сечение кабеля недостаточно для длины линии
	Несимметрия фаз превышает требуемое значение (рис. 6.13)	Однофазные нагрузки распределены неравномерно
Выбор оборудования	Отсутствует кабель для фидера (рис. 6.14)	Кабель не выбран, линия не может быть проложена
	Кабель не удовлетворяет условиям по расчетному току или току термической стойкости (рис. 6.15)	Выбранный кабель не проходит по току или термической стойкости

Окончание табл. 6.2

Категория	Типичная ошибка	Пояснение
Целостность модели	Оборудование не подключено (рис. 6.16)	Потребитель не имеет логической связи с фидером
	Разрывы трасс (рис. 6.17)	Физическая трасса не соединяет все необходимые точки
	Наличие привязки к базе данных (рис. 6.18)	Объект не привязан к БД
	Нарушены координаты объектов (рис. 6.19)	Объект лежит вне плоскости
	Принадлежность оборудования к помещениям (рис. 6.20)	Устройство не принадлежит помещению

Номинальный ток коммутационного аппарата или электроустановочного изделия (розетки, выключателя) меньше расчетного тока (рис. 6.10) [65]

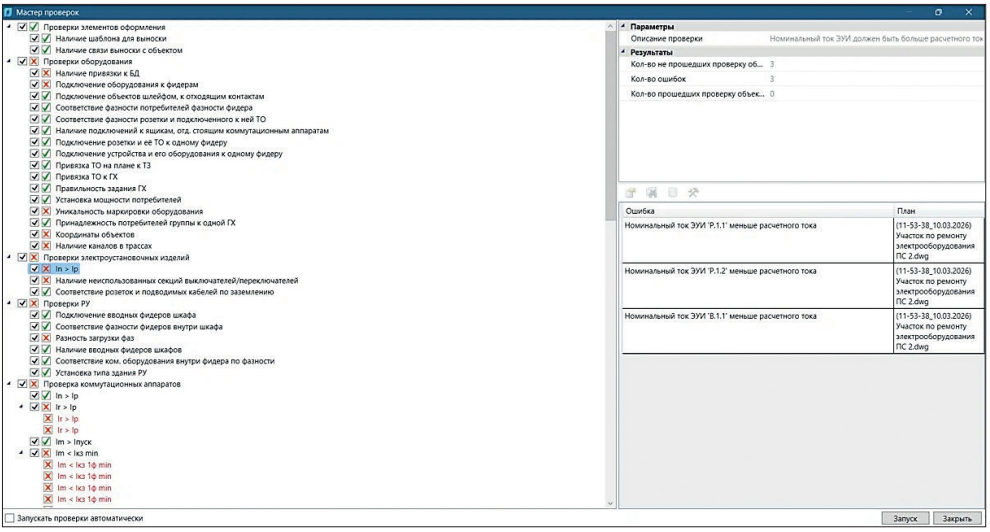


Рис. 6.10. Окно **Мастер проверок** → ошибка: номинальный ток коммутационного аппарата или электроустановочных изделий меньше расчетного тока

Причина: выбранный автоматический выключатель, УЗО или розетка имеют номинальный ток, недостаточный для пропуска расчетного тока линии.

Способ исправления: в окне электротехнической модели (ЭТМ) выделите проблемный фидер → откройте свойства выбранного аппарата → в **Базе данных оборудования** выберите аппарат с большим номинальным током, сохранив при необходимости тип характеристики (B, C, D) и количество полюсов → после замены программа автоматически пересчитает проверку. Если ошибка повторилась, выполните еще одну итерацию подбора [40, 65].

Не выполнена проверка по чувствительности срабатывания автоматического выключателя (рис. 6.11)

Причина: ток короткого замыкания в конце защищаемой линии недостаточен для надежного срабатывания электромагнитного расцепителя автоматического выключателя.

Способ исправления: увеличьте сечение кабеля (в **ЭТМ** выберите кабель и замените его на большее сечение), это снизит сопротивление петли «фаза–ноль» и повысит ток КЗ. Если увеличение сечения невозможно, можно уменьшить номинальный ток коммутационного аппарата (при условии, что он остается больше расчетного тока линии) или выбрать аппарат с более низкой кратностью срабатывания электромагнитного расцепителя (например, вместо характеристики D выбрать C). Проверьте длину линии, т. к. при чрезмерной протяженности линии питания может потребоваться установка промежуточного распределительного пункта или выбор кабеля большего сечения [40, 49].

Превышение допустимой потери напряжения (рис. 6.12)

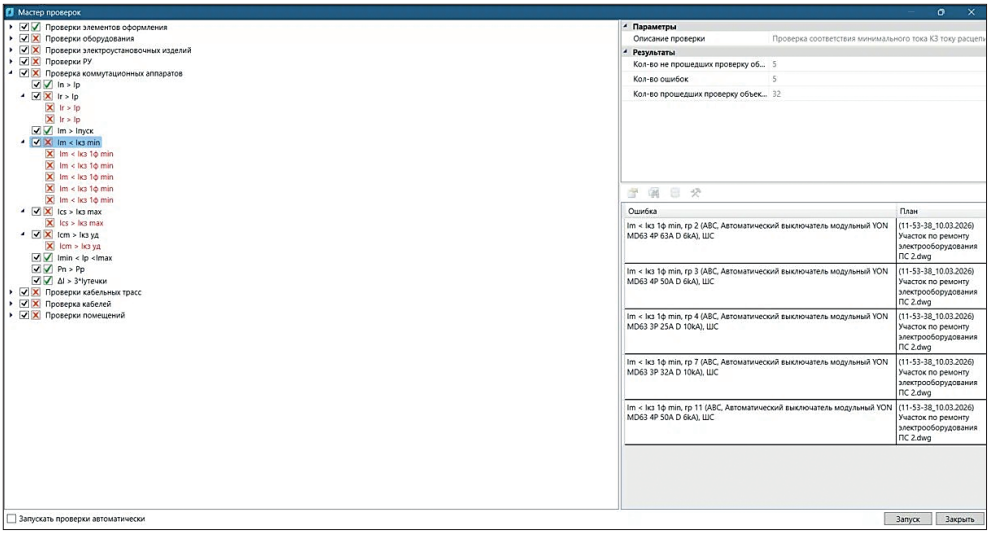


Рис. 6.11. Окно **Мастер проверок** → ошибка: не выполнена проверка по чувствительности

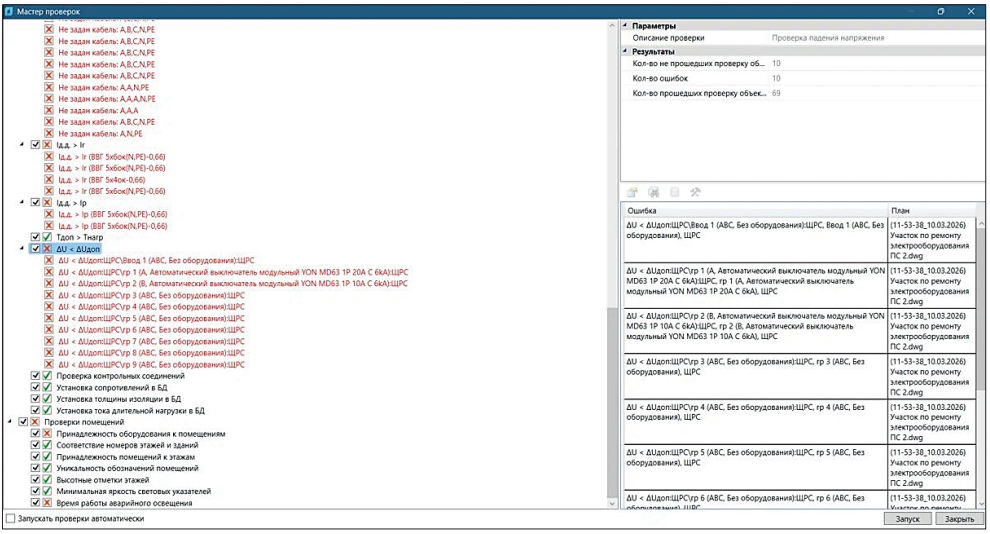


Рис. 6.12. Окно **Мастер проверок** → ошибка: превышение допустимой потери напряжения

Причина: выбранное сечение кабеля недостаточно для передачи требуемой мощности на заданное расстояние.

Способ исправления: в окне **ЭТМ** выделите фидер (питающую линию) и замените кабель на большее сечение. При этом замену кабеля целесообразно выполнять только на головном участке линии (от распределительного щита до первого ответвления или до наиболее нагруженного потребителя), так как увеличение сечения на всей протяженности линии может привести к неоправданно высоким материальным затратам. Если линия питает несколько потребителей, можно перераспределить нагрузку, разделив ее на несколько фидеров. В сложных случаях (большая протяженность, значительная мощность) рекомендуется изменить трассу прокладки, сократив длину, или использовать кабель из материала с более высокой проводимостью [26, 40].

Несимметрия фаз превышает требуемое значение (рис. 6.13)

Причина: однофазные нагрузки распределены по фазам неравномерно. При анализе симметрии фаз **Мастер проверок** может выявить превышение допустимой неравномерности: на вводе – более 15 %, в групповых щитах – более 30 %.

Способ исправления: в окне **ЭТМ** выделите щит, для которого выявлена ошибка → вызовите контекстное меню и выберите команду **Распределить фидеры по фазам** → программа автоматически перераспределит однофазные фидеры между фазами A, B, C. Проверьте, что для трехфазных фидеров фаза не задается (они загружают все три фазы симметрично) [40, 49].

Отсутствует кабель для фидера (питающей линии) (рис. 6.14)

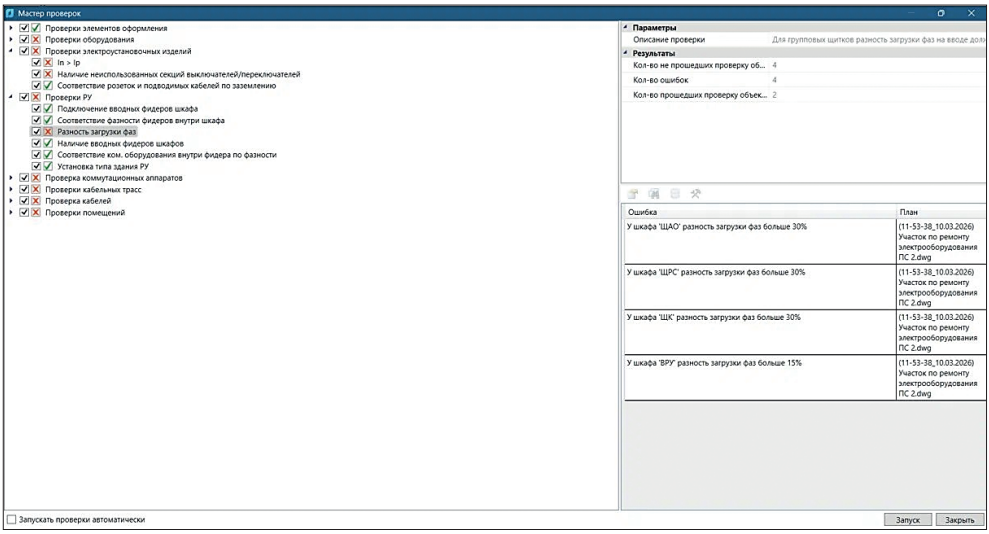


Рис. 6.13. Окно **Мастер проверок** → ошибка: несимметрия фаз превышает требуемое значение

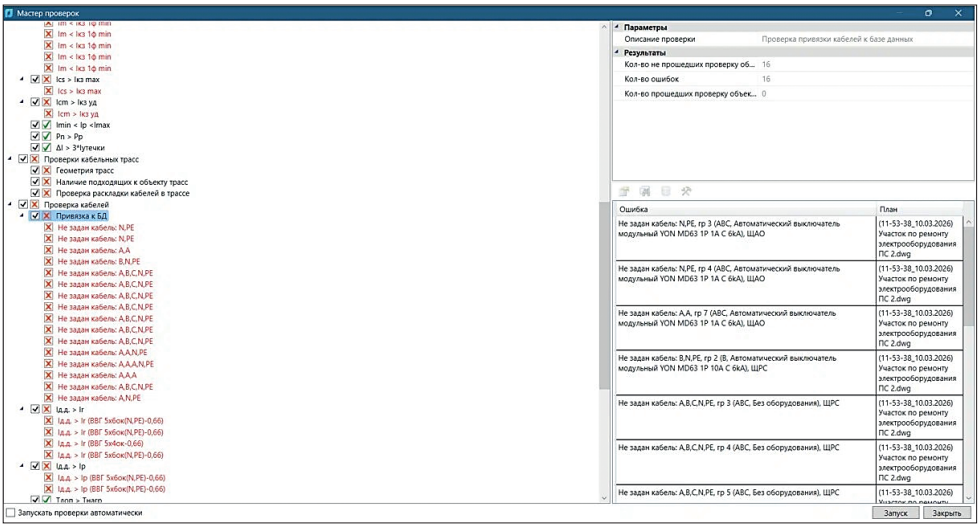


Рис. 6.14. Окно **Мастер проверок** → ошибка: отсутствует кабель для фидера

Причина: для питающей линии не выбран кабель.

Способ исправления: в окне **ЭТМ** выберите фидер → в панели свойств нажмите на поле выбора кабеля → в **Базе данных оборудования** выберите подходящий кабель (с учетом материала жил, сечения, типа изоляции) → подтвердите выбор → кабель будет назначен фидеру, и ошибка исчезнет.

Кабель не удовлетворяет условиям по расчетному току или термической стойкости (рис. 6.15)

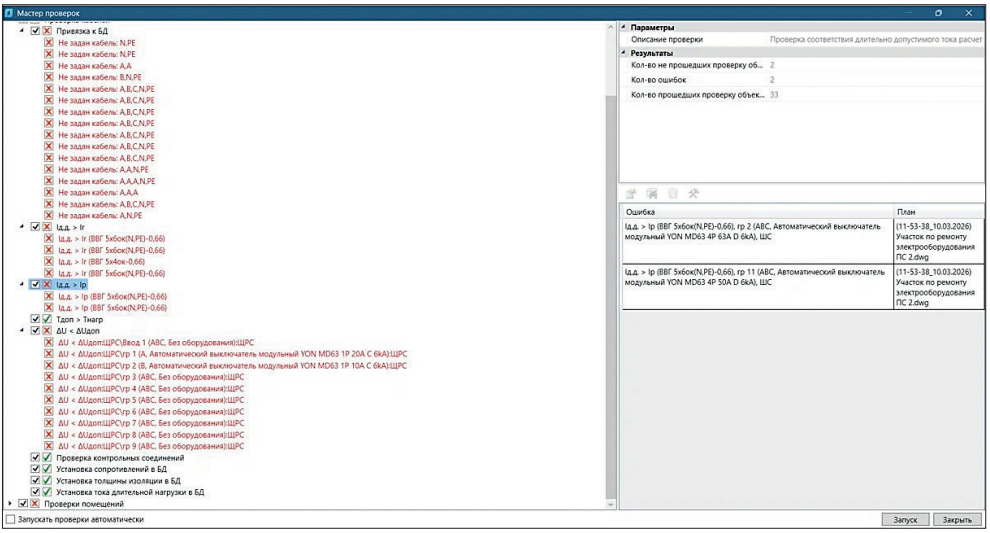


Рис. 6.15. Окно **Мастер проверок** → ошибка: кабель не удовлетворяет условиям по расчетному току или току термической стойкости

Причина: выбранный кабель не проходит по длительно допустимому току или не выдерживает нагрев при коротком замыкании.

Способ исправления: замените кабель на большее сечение → убедитесь, что материал жил соответствует проекту (для большинства внутренних сетей предпочтительна медь). При длительных перегрузках (например, линии с электродвигателями) проверьте соответствие кабеля пусковым токам → при необходимости увеличьте сечение [40].

Оборудование не подключено (рис. 6.16)

Причина: элемент (светильник, розетка, электроприемник) не имеет логической связи с фидером.

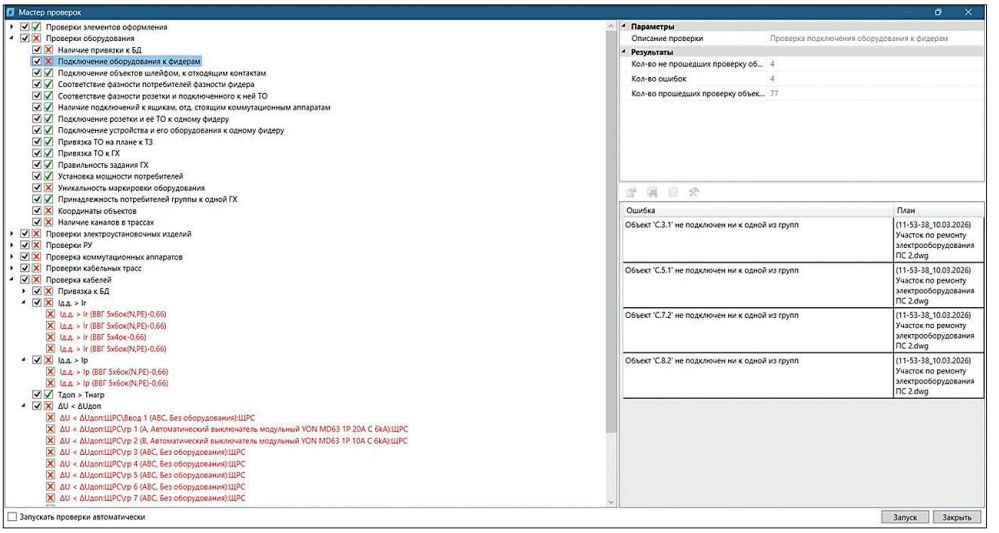


Рис. 6.16. Окно **Мастер проверок** → ошибка: оборудование не подключено

Способ исправления: в окне **ЭТМ** выберите щит, к которому должно быть подключено оборудование → разверните нужный фидер и с помощью **Мастера подключения** свяжите неподключенный элемент с фидером. Для светильников, управляемых выключателями, сначала подключается выключатель к фидеру, затем светильники к выключателю [40].

Разрывы трасс (рис. 6.17)

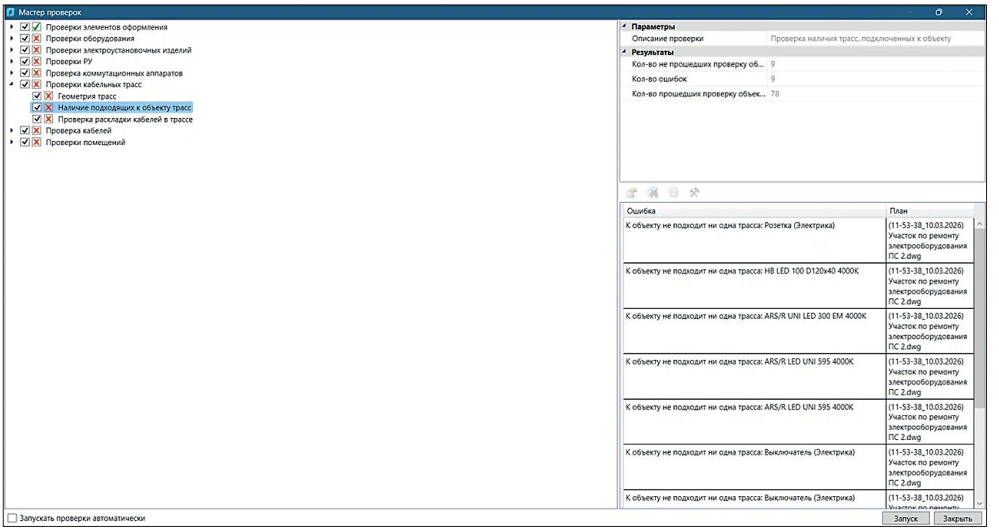


Рис. 6.17. Окно **Мастер проверок** → ошибка: разрывы трасс

Причина: кабельная трасса не соединяет все необходимые элементы либо имеет разрыв.

Способ исправления: для устранения разрыва используйте стандартную команду **Прокладка трассы**, чтобы дорисовать недостающий участок, соединив существующие фрагменты. Также можно растянуть или переместить существующие сегменты, замкнув разрыв. Важно, чтобы после редактирования **на трассе не оставалось красных точек (точек подключения)**, которые указывают на места разрыва [40].

Наличие привязки к базе данных (рис. 6.18)

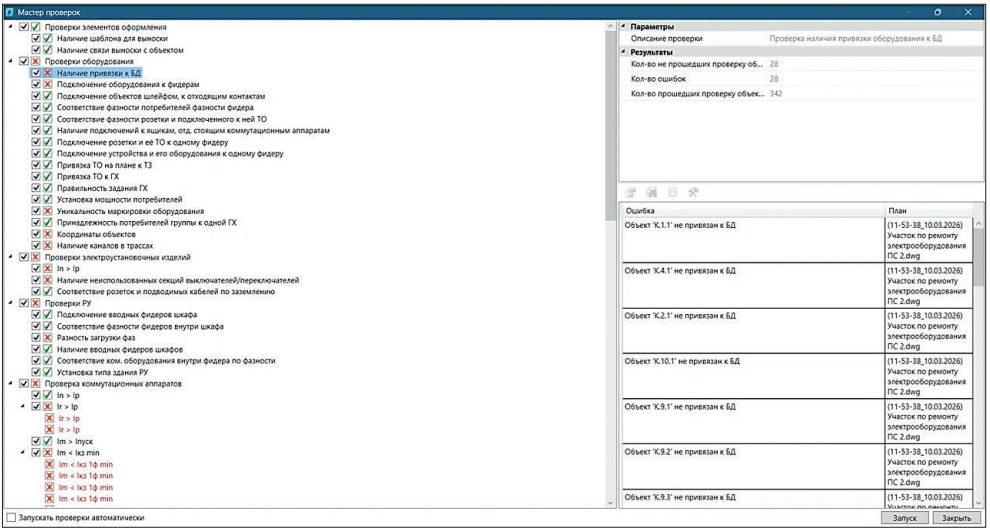


Рис. 6.18. Окно **Мастер проверок** → ошибка: наличие привязки к базе данных

Причина: объект (например, светильник или розетка) не привязан к конкретной модели в базе данных.

Способ исправления: выделите объект на плане → в окне свойств нажмите кнопку выбора → в **Базе данных оборудования** выберите подходящую модель (светильник, розетку, выключатель). Это обеспечит корректные электрические параметры и графическое отображение [40].

Нарушены координаты объектов (рис. 6.19)

Причина: объект находится за пределами рабочей области или имеет нулевые/некорректные координаты (например, после копирования между разными чертежами).

Способ исправления: в **Мастере проверок** дважды щелкните по ошибке → осуществляется автоматический переход к проблемному элементу с его отображением в рабочей области → переместите объект в нужное место или вручную измените координаты в панели свойств [40].

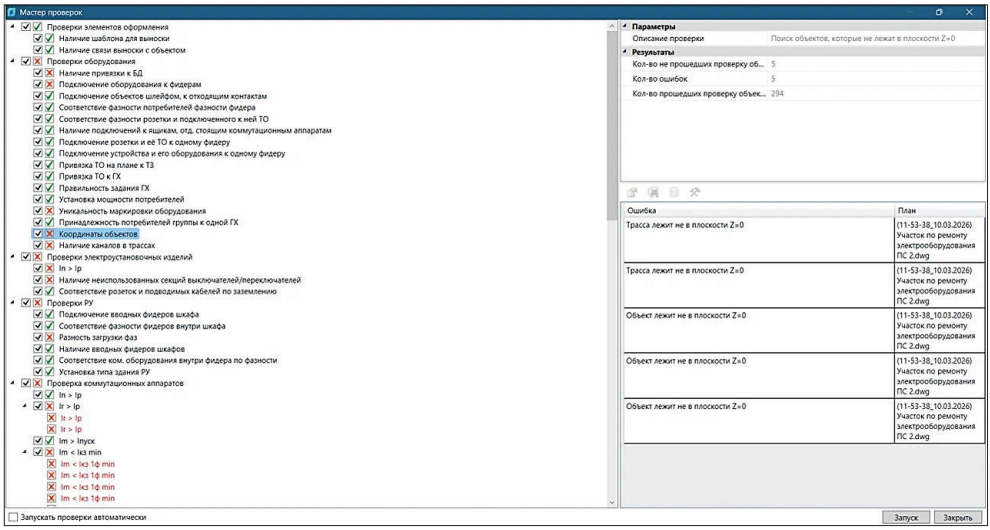


Рис. 6.19. Окно **Мастер проверок** → ошибка: нарушены координаты объектов

Принадлежность оборудования к помещениям (рис. 6.20)

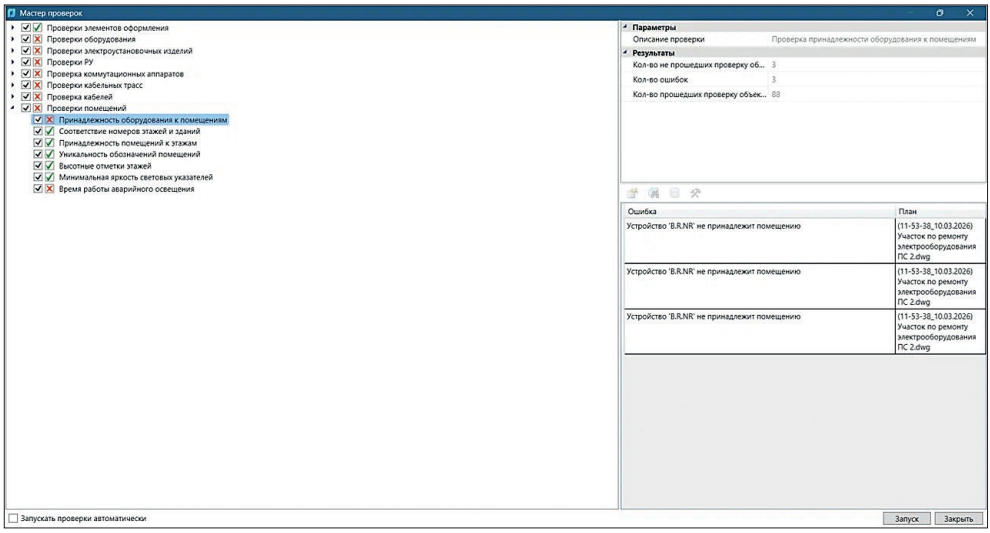


Рис. 6.20. Окно **Мастер проверок** → ошибка: принадлежность оборудования к помещениям

Причина: оборудование не привязано к помещению (например, расположено вне контура помещения или помещение не создано). **Мастер проверок** может выдавать предупреждения о том, что оборудование не привязано к помещению или находится вне его контура. Например, кондиционер или тепловая завеса могут быть размещены на улице либо в тамбуре, не имеющем четкой привязки. Такие предупреждения не являются критическими, но служат напоминанием о необходимости корректного зонирования для учета условий среды.

Способ исправления: убедитесь, что для данного этажа созданы объекты **Помещение** с корректными контурами. Если оборудование должно находиться вне здания (например, наружный кондиционер), данное предупреждение можно игнорировать, но рекомендуется указать для него специальную зону (например, **Наружная установка**) [40, 50].

Для трасс, состоящих из нескольких лотков, кабельных каналов или труб, требуется специальная проверка заполняемости. Этот контроль выполняется с помощью **Мастера раскладки кабеля** (рис. 6.21), который вызывается из панели **Трассы**.

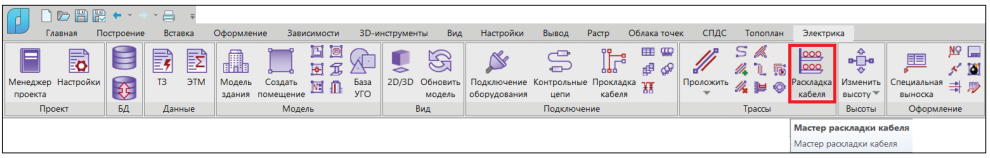


Рис. 6.21. Панель **Трассы** → **Раскладка кабеля**

Возможности **Мастера раскладки кабеля**:

- отображение всех кабелей, проходящих через выбранный участок трассы;
- представление доступных объемов (лотков, коробов, труб) с их геометрическими характеристиками;
- ручное или автоматическое распределение групп кабелей по объемам с заданием способа укладки;
- автоматический расчет заполняемости каждого лотка в процентах;
- контроль соблюдения нормативных требований (обычно заполняемость не должна превышать 40–50 % для свободной укладки и 60–70 % для однослойной с зазорами);
- возможность копирования параметров раскладки на другие участки трасс с одинаковой конструкцией.

Если после раскладки заполняемость превышает допустимую, программа выдаст предупреждение, и проектировщик должен либо увеличить сечение лотка, либо перераспределить кабели.

Рассмотрим типовой сценарий работы с мастером на примере трассы, состоящей из нескольких лотков (ярусов). Например, кабели проложены по трассе, но еще не разложены по лоткам.

После вызова команды **Раскладка кабеля** (рис. 6.21) открывается диалоговое окно, разделенное на три функциональные области (рис. 6.22):

- левая область – отображает все кабели, проходящие через выбранный участок трассы, кабели сгруппированы по нормативным признакам (силовые, контрольные, резервные и т. п.);
- центральная область – представляет собой структуру трассы: доступные объемы (лотки, короба, трубы) с их геометрическими характеристиками;

- правая область – отображает свойства выделенного элемента (лотка или кабеля). Здесь можно задать параметры укладки, такие как тип укладки (однослойно, многослойно, с зазором) и расстояние между кабелями [40].

Для размещения кабелей в лотках необходимо в левой области выделить группу кабелей → в центральной области выбрать целевой объем (лоток) → нажать кнопку **Перенести кабели** на панели инструментов.

После переноса выбранная группа отобразится в структуре лотка, при этом мастер автоматически рассчитывает заполняемость каждого лотка в процентах.

Если после раскладки выясняется, что свободного объема для оставшихся кабелей недостаточно (например, заполняемость превышает допустимые 40–50 %), требуется изменить конфигурацию самой кабеленесущей системы.

Для увеличения пропускной способности трассы можно заменить тип КНС на более вместительный или изменить количество лотков.

Для этого в окне **Мастер раскладки кабеля** выбрать трассу, для которой требуется изменить КНС → перейти к редактированию конструкции трассы → откроется окно, где представлены все элементы КНС (лотки, несущие элементы, крепеж) → в окне **База данных оборудования** создать копию существующей КНС, чтобы не изменять исходный типовой элемент. Для копирования используется соответствующая команда в контекстном меню → в копии заменить лотки на каждом ярусе на более широкие.

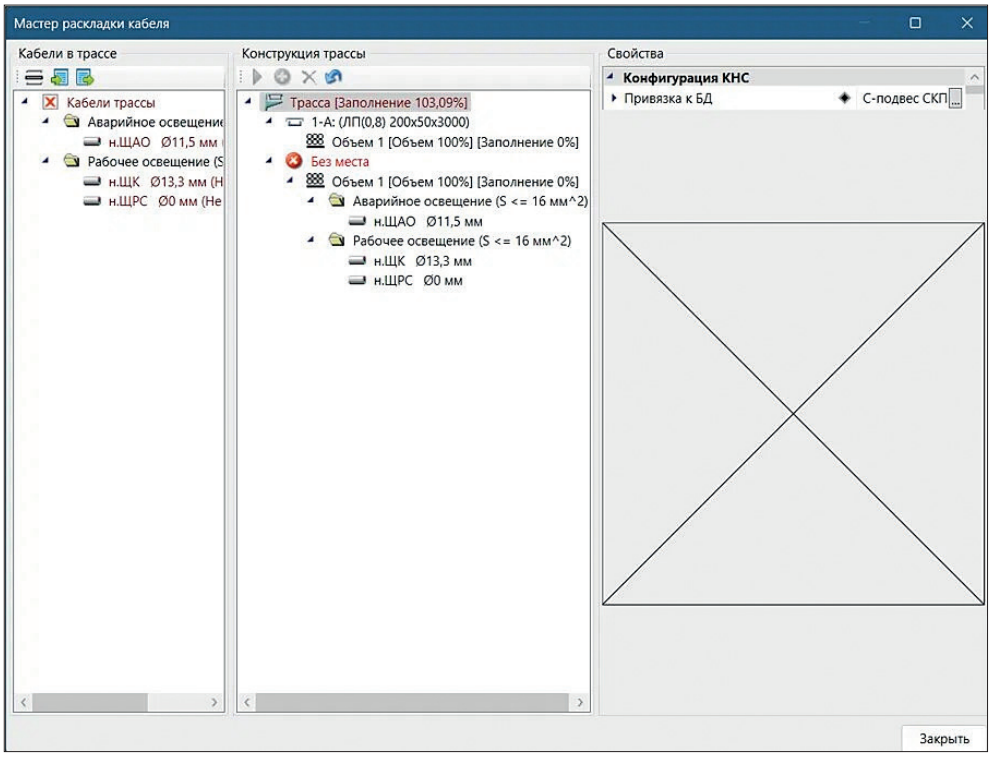


Рис. 6.22. Панель **Трассы** → **Раскладка кабеля**

Чтобы заменить тип КНС на всех участках трассы, используется инструмент **Проложить канал в существующих трассах**. В открывшемся окне необходимо выбрать модифицированную КНС из базы данных → указать участки трассы, на которых требуется замена → подтвердить действие [7].

После замены КНС на плане первоначальная раскладка кабелей сбрасывается (кабели возвращаются в состояние «не разложены»), и ее необходимо выполнить заново.

Если трасса содержит несколько участков с одинаковой конфигурацией КНС, раскладку кабелей достаточно выполнить один раз, а затем скопировать параметры на остальные участки. Для этого в **Мастере раскладки кабеля** выполнить раскладку для одного нагруженного участка → нажать кнопку **Копировать параметры раскладки в другие трассы** → программа подсветит участки трассы, имеющие такую же конструкцию КНС.

В результате параметры распределения кабелей (принадлежность к конкретным лоткам, тип укладки, зазоры) будут применены ко всем выбранным участкам, что значительно ускоряет работу.

После раскладки кабелей на всех участках трасс рекомендуется выполнить повторную проверку заполняемости в **Мастере проверок**. Если ни один из лотков не превышает допустимый процент заполнения, проект считается корректно подготовленным к формированию документации.

После устранения всех ошибок повторно запустите **Мастер проверок** для подтверждения корректности внесенных изменений. Если ошибки больше не отображаются, проект считается готовым к формированию документации.

Для эффективной и системной проверки проекта рекомендуется следующий порядок действий:

1) выполнить все логические подключения (см. § 5.1) и убедиться, что для каждого потребителя создана связь с фидером;
2) создать все кабельные трассы (см. § 5.2) и соединить ими все необходимые элементы;
3) выбрать и назначить аппараты защиты для всех фидеров (см. § 5.3), начиная с групповых щитов и продвигаясь к ВРУ;
4) выбрать и проложить кабели (см. § 5.4), используя автоматическую прокладку как базовый метод, а ручную – для коррекции сложных участков;
5) выполнить раскладку кабелей в лотках для всех многолотковых трасс с помощью **Мастера раскладки кабеля**;
6) запустить **Мастер проверок** и проанализировать список ошибок и предупреждений;
7) последовательно устранить все ошибки, используя навигацию;
8) после каждого значительного исправления повторно запускать проверку для контроля динамики;
9) после устранения всех ошибок и предупреждений сохранить проект через **Менеджер проекта → Сохранить все**.

Контрольные вопросы к § 6.2

1. Какие два основных инструмента проверки проекта предусмотрены в nanoCAD BIM Электро и в чем разница между их назначением?
2. Как в окне электротехнической модели (ЭТМ) можно оперативно проверить корректность выбранного коммутационного аппарата для конкретного фидера?
3. Опишите последовательность действий при обнаружении в окне ЭТМ ошибки «номинальный ток автоматического выключателя меньше расчетного тока линии».
4. Каким образом в окне ЭТМ можно выявить несоответствие между допустимым током кабеля и расчетным током защищаемой линии и что необходимо сделать для его устранения?
5. Для чего предназначена команда **Проверить проект** (**Проверка целостности данных проекта**) и какую информацию она предоставляет?
6. Что представляет собой **Мастер проверок** и как он помогает в системной верификации проекта?
7. Какие основные категории проверок (группы) отображаются в окне **Мастер проверок** и что они характеризуют?
8. Как в **Мастере проверок** осуществляется навигация к элементу с ошибкой для его исправления?
9. Перечислите не менее пяти типичных ошибок, выявляемых **Мастером проверок**, и кратко опишите способы их исправления.
10. Какие требования к загрузке фаз контролируются **Мастером проверок** и каким образом можно автоматически устранить их нарушение?
11. Для каких случаев используется **Мастер раскладки кабеля** и какие параметры он позволяет контролировать?
12. Что означает предупреждение **Принадлежность оборудования к помещениям** и всегда ли оно требует исправления?
13. Опишите рекомендуемый порядок действий при проведении комплексной проверки проекта перед формированием документации.

(!) Для закрепления материала по данной главе пройдите тест, который находится на странице с дополнительными материалами (см. на стр. 7).

Практическое задание № 5

Тема: «Методы и средства верификации проекта в nanoCAD BIM Электро».

Цель задания: закрепить теоретические знания и получить практические навыки:

- проверки целостности данных проекта;
- использования встроенных инструментов для выявления ошибок в проекте;
- исправления типичных ошибок, возникающих в процессе проектирования;

- выполнения раскладки кабелей в кабеленесущих системах с контролем заполняемости;
- итоговой верификации проекта перед формированием документации.

Задание

Задание выполняется на основе результатов **Практических заданий № 1, № 2, № 3, № 4**. В проекте должны быть выполнены следующие этапы:

1) созданы помещения, размещено оборудование;
2) сформировано и заполнено **Технологическое задание**;
3) выполнен расчет электрических нагрузок, настроен источник питания (трансформатор + кабели) для ВРУ;
4) созданы электрические связи через ЭТМ (щиты подключены к ВРУ, потребители подключены к фидерам);
5) построены кабельные трассы (магистраль от ВРУ, ответвления к щитам, к группам потребителей);
6) выбраны аппараты защиты и кабели для всех фидеров;
7) выполнена автоматическая прокладка кабелей.

Если какие-либо из перечисленных этапов не выполнены, необходимо вернуться к соответствующим заданиям и завершить их.

В процессе выполнения предыдущих заданий в проекте могли возникнуть ошибки (низкие номинальные токи автоматических выключателей, неверно выбранные сечения кабелей, разрывы трасс, неподключенное оборудование и т. п.). В рамках данного задания необходимо выявить и устранить все ошибки, используя встроенные инструменты проверки.

1. **Экспресс-проверка целостности данных проекта.**

На панели **Электрика** в группе **Проверки** нажмите кнопку **Проверить проект** → в появившемся окне изучите перечень ошибок (рис. 6.6). Обратите внимание на их количество и описание → используя навигацию по ошибкам, перейдите к каждой из них и определите тип ошибки, объект, к которому она относится, предполагаемую причину → исправьте все ошибки, чтобы в командной строке отображалось уведомление: **Проверка завершена. Ошибки не найдены** (рис. 6.23).

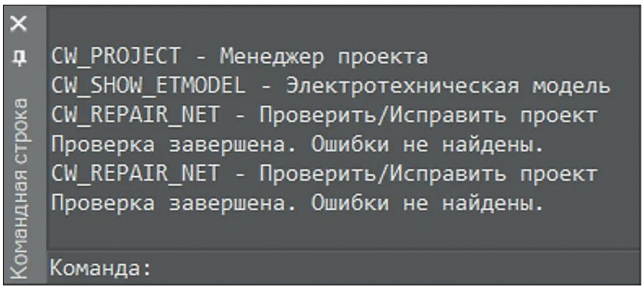


Рис. 6.23. Требуемые результаты экспресс-проверки целостности данных по п. 1

2. **Анализ ошибок проекта в окне электротехнической модели (ЭТМ).**

Откройте окно **ЭТМ** (панель **Электрика** → **ЭТМ**) → последовательно выделите все фидеры и определите питающие линии, для которых в окне свойств отображаются ошибки → определите, какие параметры не соответствуют расчетным → для щитов, у которых наблюдается несимметрия фаз, запустите автоматическое распределение нагрузки по фазам (рис. 6.24).

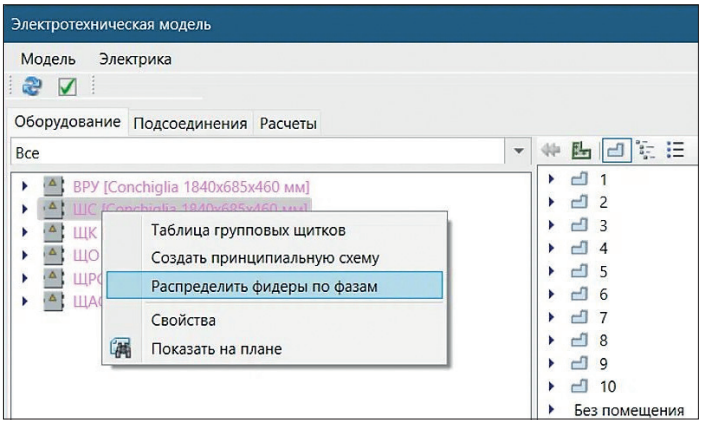


Рис. 6.24. Активация функции автоматического распределения нагрузки по фазам

Для фидеров с ошибкой по чувствительности найдите в свойствах рассчитанный ток КЗ в конце линии и сравните его с током срабатывания электромагнитного расцепителя → измените выбор оборудования для исправления ошибки → для фидеров с превышением потери напряжения зафиксируйте фактическое значение ΔU и допустимое (2,5 % для освещения, 5 % для силовых линий) → измените выбор оборудования для исправления ошибки (рис. 6.25).

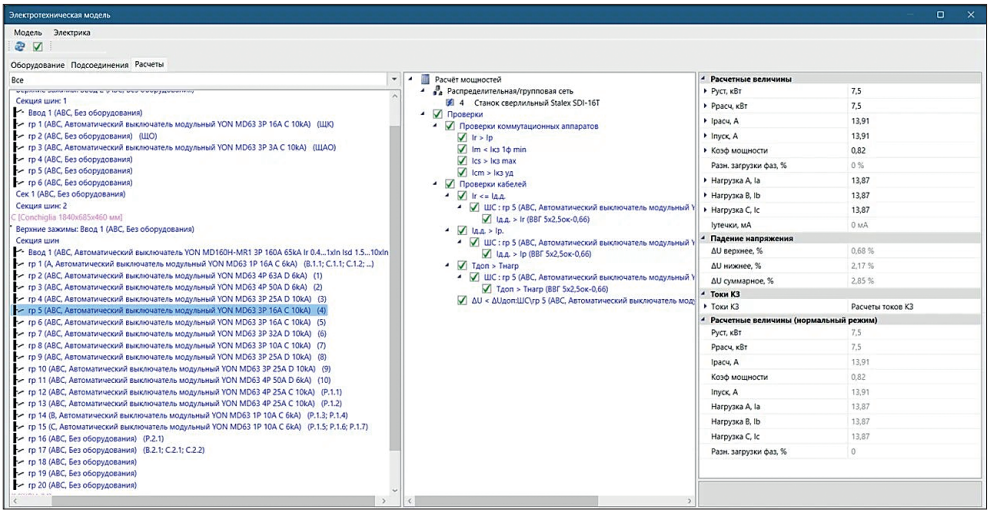


Рис. 6.25. Требуемые результаты проверки ошибок проекта в ЭТМ

3. **Комплексная проверка с помощью Мастера проверок**

На панели **Электрика → Проверки** нажмите кнопку **Мастер проверок** (рис. 6.8) → убедитесь, что выбраны все категории проверок (рис. 6.9) → запустите проверку вручную (кнопка **Выполнить проверку**) → проанализируйте результаты, сгруппированные по категориям:

- Проверки элементов оформления;
- Проверки оборудования;
- Проверки электроустановочных изделий;
- Проверки РУ;
- Проверка коммутационных аппаратов;
- Проверки кабельных трасс;
- Проверка кабелей;
- Проверка помещений.

Для каждой ошибки дважды щелкните по строке – программа переместит вид на проблемный объект. Исправьте выявленные ошибки.

4. **Исправление выявленных ошибок.**

Исправляйте ошибки последовательно, используя рекомендации из табл. 6.2 и пояснения к рис. 6.10–6.20. После каждого исправления сохраняйте проект и наблюдайте, как исчезают ошибки в **ЭТМ** и **Мастере проверок**.

5. **Раскладка кабелей в лотках и контроль заполняемости.**

На панели **Трассы** выберите инструмент **Раскладка кабеля** (рис. 6.21) → в окне **Мастер раскладки кабеля** выберите участок основной магистральной трассы (лоток), который содержит несколько кабелей → выполните автоматическое распределение кабелей по объемам (кнопка **Разложить**) → проанализируйте процент заполняемости каждого лотка. Если заполняемость превышает нормативную (обычно 40–50 % для свободной укладки, 60–70 % для однослойной с зазорами), примите меры:

- увеличьте типоразмер лотка (замените в настройках трассы);
- разнесите кабели по разным лоткам;
- перераспределите кабели вручную.

Убедитесь, что после раскладки предупреждения о заполняемости отсутствуют.

6. **Итоговая верификация.**

Повторно запустите **Мастер проверок** → убедитесь, что в списке нет ошибок (допускаются только некритические предупреждения, например о расположении оборудования вне помещения для наружных установок) → сохраните проект через **Менеджер проекта → Сохранить все**.

Критерии правильного выполнения задания

1. **Экспресс-проверка** выполнена, выявленные ошибки определены и исправлены.
2. **Анализ в ЭТМ** позволил определить причины ошибок для каждого фидера.

3. В **Мастере проверок** выявлены все ошибки, корректно определены их категории.
4. **Исправлены все ошибки**:
   - заменены коммутационно-защитные аппараты;
   - обеспечена чувствительность защиты (ток КЗ > тока срабатывания автоматических выключателей);
   - потери напряжения приведены в норму;
   - устранена несимметрия фаз;
   - для каждого фидера выбран кабель;
   - все потребители подключены;
   - трассы без разрывов;
   - оборудование привязано к БД и т. п.
5. **Раскладка кабелей** выполнена, заполняемость лотков не превышает допустимых значений.
6. **Итоговая проверка** не выявляет критических ошибок.

Задание считается **выполненным**, если обучающийся:

- продемонстрировал умение выявлять ошибки с помощью встроенных инструментов;
- последовательно исправил все ошибки проекта, руководствуясь нормативными требованиями;
- выполнил раскладку кабелей и проконтролировал заполняемость трасс.

Наличие неисправленных ошибок является основанием для доработки.

ГЛАВА 7

Оформление и выпуск проектной документации в nanoCAD BIM Электро

§ 7.1. Основные подходы и требования к выпуску проектной документации

После завершения проектирования и проверки модели проектируемой системы электроснабжения возникает необходимость выпустить комплект проектной документации. Процесс выпуска проектной документации является регламентированной процедурой, завершающей проектирование. Вся совокупность создаваемых документов, их содержание, форма, а также порядок согласования и передачи заказчику должны соответствовать действующим нормативным актам Российской Федерации. Понимание этих требований является неотъемлемой частью профессиональной компетенции инженера-проектировщика.

Проектная документация (ПД) – это комплект текстовых и графических материалов, который в обязательном порядке разрабатывается для строительства, реконструкции или капитального ремонта объекта капитального строительства (здания, сооружения) [30].

Официальное определение дано в п. 2 ст. 48 Градостроительного кодекса РФ (№ 190-ФЗ от 29.12.2004). В нем указано, что ПД содержит материалы в текстовой и графической формах (и/или в форме информационной модели) и определяет архитектурные, функционально-технологические, конструктивные и инженерно-технические решения для обеспечения строительства, реконструкции или капремонта объектов капитального строительства.

Состав, содержание и правила оформления проектной документации для строительства в Российской Федерации регламентируются системой документов, основу которой составляют:

- **Градостроительный кодекс РФ** – определяет общие требования к подготовке проектной документации и процедуре ее экспертизы;

- **постановление Правительства РФ № 87 от 16.02.2008** (последняя редакция вступила в силу 21 октября 2025 года) – это документ, который устанавливает конкретный состав разделов проектной документации для различных объектов капитального строительства и требования к их содержанию;
- **ГОСТ Р 21.101–2026 (СПДС)** – это национальный стандарт, который устанавливает основные требования к проектной и рабочей документации, он детально регламентирует правила комплектования документов, оформления основных надписей (штампов), нанесения размеров и внесения изменений [1, 23, 48];
- **Техническое задание (ТЗ)** – является основополагающим документом, разрабатываемым заказчиком, определяет цели, задачи, технико-экономические параметры и особые требования к проектируемому объекту. Проектирование ведется в строгом соответствии с утвержденным ТЗ.

Согласно постановлению № 87, **проектная документация (ПД)** на объекты капитального строительства (кроме линейных) в обязательном порядке включает следующие разделы (в том числе текстовую и графическую части):

1) Пояснительная записка – общая информация об объекте, исходно-разрешительная документация, технико-экономические показатели;
2) Схема планировочной организации земельного участка – генплан с привязкой объекта к местности;
3) Архитектурные решения – фасады, планы этажей, экспликации помещений;
4) Конструктивные и объемно-планировочные решения – описание несущих и ограждающих конструкций;
5) Сведения об инженерном оборудовании – в том числе раздел «Система электроснабжения» (шифр ЭС), а также водоснабжение, отопление, вентиляция, связь и т. д.;
6) Проект организации строительства (ПОС) – календарный план, потребность в ресурсах, стройгенплан;
7) Проект организации работ по сносу (при необходимости);
8) Перечень мероприятий по охране окружающей среды;
9) Мероприятия по обеспечению пожарной безопасности;
10) Мероприятия по обеспечению доступа инвалидов;
11) Смета на строительство;
12) Иные разделы (в зависимости от специфики объекта).

На основе утвержденной проектной документации в дальнейшем разрабатывается **рабочая документация (РД)** – более детальный комплект чертежей и спецификаций, который непосредственно используется строителями на площадке (в частности, для систем электроснабжения – это шифр ЭОМ).

Для понимания процесса проектирования важно различать эти два понятия (табл. 7.1) [23, 48].

Таблица 7.1. Различия между основными видами проектной документации

Критерий	Проектная документация (ПД)	Рабочая документация (РД)
Основное назначение	Обоснование решений, прохождение экспертизы и получение разрешения на строительство	Детальная проработка для непосредственного выполнения строительно-монтажных работ
Степень детализации	Принципиальные, обобщенные решения	Максимально подробная (схемы соединений, сечения кабелей, узлы проходов и т. п.)
Порядок разработки	Разрабатывается на начальном этапе	Разрабатывается на основе утвержденной ПД
Экспертиза и утверждение	Подлежит обязательной государственной (или негосударственной) экспертизе	Экспертизе не подлежит, может разрабатываться одновременно с ПД или позже
Правовой статус	Является основанием для выдачи разрешения на строительство	Имеет статус технической документации для производства работ

Процесс создания проектной документации (ПД) включает следующие ключевые этапы:

1. **Получение исходных данных.** Застройщик или заказчик предоставляет проектировщику градостроительный план земельного участка (ГПЗУ), результаты инженерных изысканий и технические условия (ТУ) на подключение к инженерным сетям.
2. **Разработка ПД.** Проектная организация разрабатывает ПД в строгом соответствии с постановлением № 87, техническими регламентами, СП и ГОСТ.
3. **Экспертиза.** Готовая ПД направляется на государственную или негосударственную экспертизу для проверки ее соответствия техническим регламентам и требованиям безопасности.
4. **Утверждение.** После получения положительного заключения экспертизы ПД утверждается застройщиком или заказчиком. Разработанная, согласованная и утвержденная ПД является основанием для получения разрешения на строительство.
5. **Разработка РД.** После утверждения ПД (или параллельно с ней) на ее основе разрабатывается рабочая документация для строительства.

Современное определение, данное в ч. 2 ст. 48 Градостроительного кодекса РФ, прямо указывает, что проектная документация может существовать **в форме информационной модели** [30, 48, 58].

Это означает, что BIM-модель здания (включая все инженерные системы, в том числе и систему электроснабжения) на определенном уровне проработки может легитимно рассматриваться как полноценная проектная документация. Такой подход становится все более распространенным, так как позволяет автоматизировать проверку на коллизии, точнее рассчитывать объемы материалов и создавать единую информационную среду для всех участников строительства.

В рамках раздела 5 «Сведения об инженерном оборудовании» проектной документации для систем электроснабжения (шифр ЭС) разрабатываются:

- принципиальные схемы электроснабжения (однолинейные схемы);
- схемы распределительных сетей;
- планы расположения электрооборудования (щиты, трассы, светильники);
- принципиальные схемы питания.

В рабочей документации (шифр ЭОМ) эти решения детализируются, разрабатываются схемы соединений, кабельные журналы, спецификации, монтажные схемы щитов и т. д., все, что требуется для непосредственного выполнения строительно-монтажных работ.

Полный комплект проектной документации, создаваемой в nanoCAD BIM Электро, обычно включает следующие документы:

- Пояснительная записка (в составе раздела ЭС);
- Планы расположения электрооборудования и прокладки кабельных трасс;
- Экспликация помещений;
- Однолинейные и принципиальные схемы щитов;
- Спецификация оборудования, изделий и материалов;
- Кабельный журнал;
- Таблица потребностей кабелей;
- Результаты светотехнического расчета;
- Результаты электротехнических расчетов;
- Расчет токов короткого замыкания [25].

По завершении разработки проект подлежит согласованию и передаче заказчику. Основные этапы этого процесса включают:

1) **внутренний контроль.** Выполненный проект в обязательном порядке проходит **нормоконтроль**, который осуществляет специально назначенный сотрудник, не участвовавший в разработке;
2) **экспертиза.** Проектная документация объектов капитального строительства подлежит обязательной государственной или негосударственной экспертизе в случаях, предусмотренных законодательством. Заявителем на проведение экспертизы выступает застройщик или заказчик;
3) **утверждение.** Проектная документация утверждается застройщиком или заказчиком в случаях, предусмотренных законодательством после получения положительного заключения государственной экспертизы;
4) **передача.** Заказчику передается полный комплект документации на бумажном и (или) электронном носителе (в форматах *.dwg, *.pdf, а также в открытом формате IFC для обеспечения информационного обмена). Кроме того, в настоящее время широко практикуется передача всей папки проекта, включающей базу данных проекта (БД), файлы настроек, библиотеки оборудования, исходные файлы информационной модели (BIM) и другие рабочие материалы. Это обеспечивает возможность дальнейшего сопровождения, внесения изменений и полноценного использования модели на

этапах строительства и эксплуатации. Передача оформляется актом приема-передачи, фиксирующим факт выполнения проектных работ в соответствии с договором и техническим заданием [48].

Контрольные вопросы к § 7.1

1. Дайте определение, что такое проектная документация.
2. Перечислите основные нормативные документы, регламентирующие состав, содержание и оформление проектной документации в Российской Федерации.
3. Какие требования к проектной документации устанавливает постановление Правительства РФ № 87?
4. Назовите обязательные разделы проектной документации для объектов капитального строительства.
5. В рамках какого раздела проектной документации разрабатывается подраздел «Система электроснабжения» и какой шифр ему присваивается?
6. Чем отличается проектная документация (ПД) от рабочей документации (РД) по степени детализации, назначению и правовому статусу?
7. Какой шифр имеет рабочая документация для систем электроснабжения и что она включает, в отличие от проектной?
8. Перечислите основные этапы процесса создания и согласования проектной документации.
9. Что понимается под BIM-моделью как формой проектной документации, какие преимущества дает такой подход?
10. Какие документы входят в полный комплект проектной документации, создаваемой в nanoCAD BIM Электро для системы электроснабжения?

§ 7.2. Пояснительная записка и оформление чертежей в nanoCAD BIM Электро

7.2.1. Пояснительная записка в составе проектной документации

Пояснительная записка (ПЗ) – это текстовый документ, входящий в состав проектной документации, содержащий описание принятых технических решений, их обоснование, расчеты и сведения, необходимые для оценки соответствия объекта требованиям безопасности, энергоэффективности и иным нормативным показателям. ПЗ является важнейшей частью любого проекта, поскольку именно в ней систематизируется вся исходно-разрешительная документация и дается обоснование всех заложенных в чертежи решений.

Пояснительная записка должна содержать следующие разделы в соответствии с п. 16 постановления № 87 и рекомендациями ВНИПИ Тяжпромэлектропроект (табл. 7.2) [25, 48].

Таблица 7.2. Основные разделы пояснительной записки в соответствии с п. 16 постановления № 87 и рекомендациями ВНИПИ Тяжпромэлектропроект

№ раздела	Наименование раздела	Содержание раздела
1	Общая часть	• Основание для разработки проекта (договор, техническое задание, технические условия). • Перечень нормативных документов (ПУЭ, СП 256.1325800.2016, ГОСТ Р 21.101–2026, постановление № 87). • Краткая характеристика объекта. • Категория надежности электроснабжения. • Климатические условия района строительства
2	Характеристика источников электроснабжения	• Источники питания (ТП, РУ). • Напряжение питающей сети. • Мощность трансформаторов. • Ток короткого замыкания на высокой стороне
3	Схема электроснабжения	• Обоснование принятой схемы (магистральная, радиальная). • Описание системы распределения электроэнергии (ВРУ, силовые и осветительные щиты). • Компенсация реактивной мощности (если предусмотрена)
4	Электрические нагрузки	• Сводная ведомость нагрузок. • Расчетная активная, реактивная и полная мощность. • Расчетный ток на вводе
5	Силовое электрооборудование	• Перечень электроприемников. • Способы управления и защиты (автоматические выключатели, УЗО, контакторы). • Пусковые токи и их учет при выборе аппаратов
6	Электрическое освещение	• Нормируемая освещенность помещений. • Типы выбранных светильников. • Результаты светотехнического расчета. • Аварийное освещение
7	Розеточная сеть	• Типы и количество розеток (офисные, промышленные). • Принципы группировки и защиты
8	Кабельные линии и кабеленесущие системы	• Выбранные марки кабелей. • Сечения кабелей и их обоснование (по длительно допустимому току, потере напряжения, термической стойкости). • Типы кабеленесущих систем (лотки, короба, трубы). • Способ прокладки (высота, по стенам/потолку)
9	Мероприятия по заземлению и молниезащите	• Система заземления (TN-C-S, TN-S и др.). • Материал и сечение заземляющих проводников. • Молниезащита (при необходимости)
10	Учет электроэнергии	• Места установки приборов учета. • Тип счетчиков (в соответствии с ТУ)
11	Энергоэффективность	• Мероприятия по снижению потерь электроэнергии. • Использование энергоэффективного оборудования (светодиодные светильники, конденсаторные установки)

Окончание табл. 7.2

№ раздела	Наименование раздела	Содержание раздела
12	Перечень мероприятий по обеспечению соблюдения требований энергетической эффективности	Применяемые устройства, технологии и материалы, позволяющие исключить нерациональный расход электрической энергии
13	Заключение	• Выводы о соответствии проектных решений нормативным требованиям. • Перечень переданной документации
14	Список использованной литературы и нормативных документов	• Все нормативные документы, на которые даны ссылки в тексте (ПУЭ, ГОСТы, СП, постановление № 87). • Каталоги производителей оборудования (при наличии)

Согласно п. 16 постановления № 87 и требованиям ГОСТ Р 21.622–2023, текстовая часть подраздела «Система электроснабжения» в составе раздела 5 должна содержать следующие сведения:

- характеристику источников электроснабжения в соответствии с техническими условиями на подключение, с указанием мощности, выраженной в киловаттах;
- обоснование принятой схемы электроснабжения, включая выбор напряжения, количества и мощности трансформаторов;
- сведения о количестве электроприемников, их установленной и расчетной мощности;
- требования к надежности электроснабжения (категории I, II, III) и качеству электроэнергии;
- описание решений по обеспечению электроэнергией электроприемников в рабочем и аварийном режимах в соответствии с установленной классификацией;
- описание проектных решений по компенсации реактивной мощности, релейной защите, управлению, автоматизации и диспетчеризации;
- перечень мероприятий по экономии электроэнергии;
- сведения о мощности сетевых и трансформаторных объектов;
- решения по организации масляного и ремонтного хозяйства (для объектов производственного назначения);
- перечень мероприятий по заземлению (занулению) и молниезащите.

Пояснительная записка оформляется в соответствии с требованиями ГОСТ Р 21.101–2026 (с учетом актуальных изменений). Основные правила оформления включают:

- формат листов. Листы ПЗ выполняются, как правило, на листах формата А4, допускается использование формата А3 для размещения крупных таблиц и схем;

- основная надпись (штамп). Каждый лист ПЗ должен содержать основную надпись по форме 5 или форме 6 приложения Ж ГОСТ Р 21.1101. В штампе указываются наименование проектной организации, наименование объекта, стадия проектирования (П – проектная документация), обозначение (шифр) документа, наименование листа, подписи разработчиков и руководителей, даты;
- нумерация страниц. Страницы ПЗ нумеруются сквозной нумерацией в пределах всего документа, номер страницы проставляется в основной надписи;
- содержание (оглавление). ПЗ должна содержать оглавление с указанием всех разделов, подразделов и номеров страниц;
- списки и таблицы. Все таблицы, формулы и рисунки должны иметь сквозную нумерацию в пределах раздела (например, «Таблица 2.1», «Рисунок 3.2»);
- переплет и брошюровка. Готовая пояснительная записка сброшюровывается в папку (скоросшиватель) с титульным листом и оформляется в соответствии с правилами, установленными в организации [23, 24].

Проектная документация (ПД) и рабочая документация (РД) различаются по своему назначению, степени детализации и правовому статусу. Соответственно, различаются и требования к пояснительной записке на каждой из стадий.

Таким образом, пояснительная записка в составе ПД является основополагающим документом, обосновывающим безопасность и эффективность проектных решений, в то время как пояснительная записка в составе РД служит детальным руководством для строителей и монтажников. Оба документа дополняют друг друга и вместе составляют полный комплект проектной продукции.

7.2.2. Оформление чертежей в nanoCAD BIM Электро

Оформление чертежей в Российской Федерации регламентируется Системой проектной документации для строительства (СПДС). Ключевым документом является ГОСТ Р 21.101–2026, который устанавливает:

- состав и комплектность рабочей документации;
- требования к оформлению чертежей (форматы, масштабы, расположение);
- правила заполнения основной надписи (штампа);
- порядок внесения изменений.

Основная надпись чертежа (штамп) располагается в правом нижнем углу и содержит:

- наименование проектной организации;
- наименование объекта и стадию проектирования;
- обозначение (шифр) чертежа;
- наименование листа;
- подписи разработчиков и руководителей;
- даты разработки и согласования.

Для электротехнических чертежей дополнительно применяются специализированные стандарты: ГОСТ 21.210 («Условные графические обозначения»), ГОСТ 21.608 («Оформление систем освещения»), ГОСТ 21.613 («Оформление силового электрооборудования») [17, 18, 19].

В табл. 7.3 приведены основные форматы чертежей, применяемые в проектировании систем электроснабжения.

Таблица 7.3. Форматы чертежей для электротехнической документации

Формат	Размеры, мм	Область применения
А3	297×420	Планы этажей, принципиальные схемы, однолинейные схемы
А2	420×594	Развернутые планы, схемы распределительных сетей
А1	594×841	Общие планы зданий, генеральные планы
А3×4	420×1189	Длинные трассы, фасады, развертки

Процесс оформления чертежа в nanoCAD BIM Электро начинается с установки рамки и заполнения основной надписи.

Для добавления рамки с основной надписью на лист чертежа необходимо на панели инструментов вкладки **Электрика** выбрать инструмент **Оформление** → **Установить рамку чертежа** (рис. 7.1).

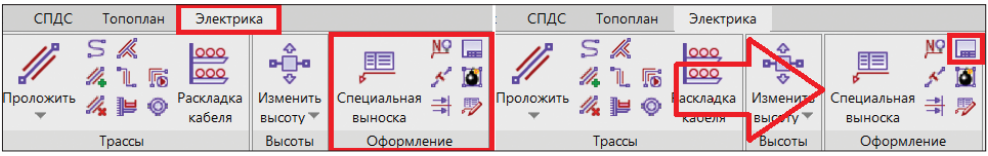


Рис. 7.1. Вкладка **Электрика → Оформление → Установить рамку чертежа**

В открывшемся окне **Вставка рамки** (рис. 7.2) из выпадающего списка необходимо выбрать нужный формат (например, А3×4 для длинных планов, А3 для стандартных листов) → указать вид основной надписи (форма 3 по ГОСТ Р 21.101 является наиболее распространенной для рабочих чертежей) → подтвердить выбор и указать на плане точку вставки рамки (рис. 7.3).

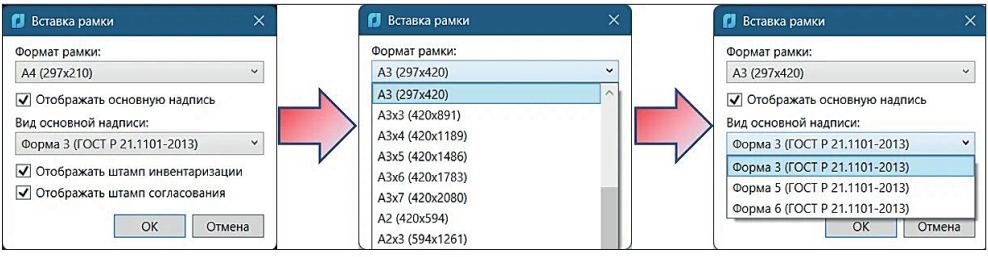


Рис. 7.2. Выбор параметров чертежа и рамки

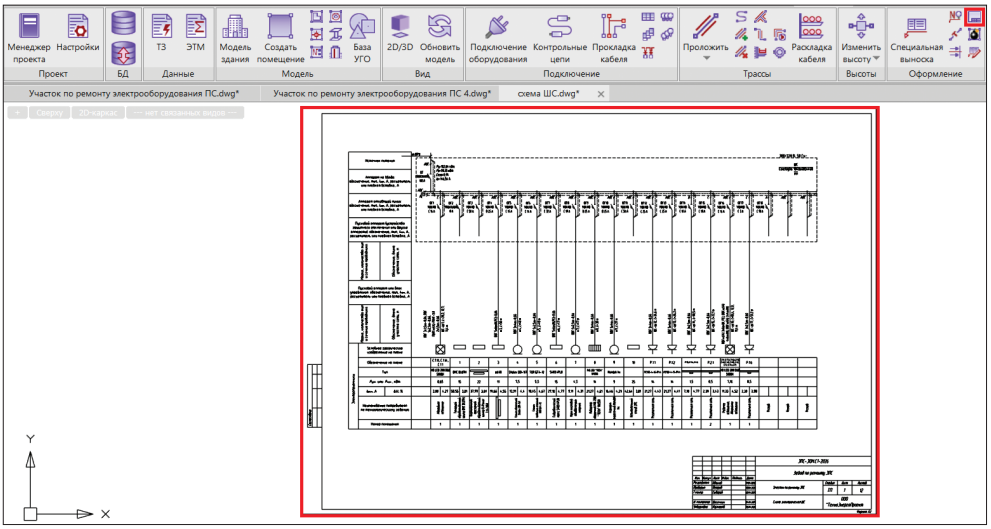


Рис. 7.3. Окно nanoCAD BIM Электро → вставка рамки на чертеже

После вставки автоматически откроется окно **Свойства** (рамки) (рис. 7.4), где необходимо заполнить свойства проекта, которые будут отражаться в штампе чертежа. После заполнения всех полей необходимо закрыть окно **Свойства**, и рамка с основной надписью будет установлена на чертеже (рис. 7.5).

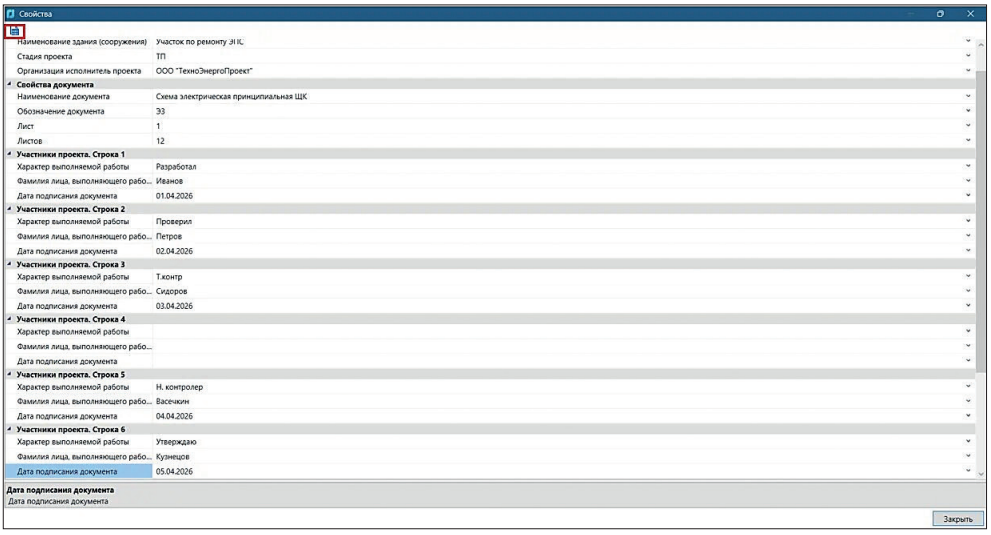


Рис. 7.4. Окно **Свойства** (штампа) чертежа nanoCAD BIM Электро

При необходимости изменить размер уже установленной рамки (например, при добавлении дополнительных элементов чертежа) можно изменить ее свойства через контекстное меню окна **Свойства** и задать новые параметры формата (рис. 7.2) [40, 41].

						ЭПС-ЭОМ.С1-2026			
						Завод по ремонту ЭПС			
Изм.	Кол.уч.	Лист	N док.	Подпись	Дата				
Разработал		Иванов			01.04.2026	Участок по ремонту ЭПС	Стадия	Лист	Листов
Проверил		Петров			02.04.2026		П	2	6
Т.контр		Сидоров			03.04.2026				
Н. контролер		Васечкин			04.04.2026	Схема электрическая ШС	ООО "ТехноЭнергоПроект		
Утверждаю		Кузнецов			05.04.2026				

Рис. 7.5. Пример штампа с основной надписью

7.2.3. Расстановка выносок и сечений в nanoCAD BIM Электро

Ключевыми элементами любого чертежа, обеспечивающими его информативность и читаемость, являются **выноски** и **сечения**.

Выноски – это специальные текстовые или графические обозначения, которые связывают элемент чертежа с его характеристиками (маркой, номером и т. п.) и выносятся за пределы основного изображения для улучшения читаемости. Они выполняют следующие функции:

- указывают позиционное обозначение оборудования;
- содержат технические характеристики (мощность электроприемника, номинальный ток автоматического выключателя и т. п.);
- идентифицируют кабельные трассы (тип, номер трассы, марка кабеля и т. п.);
- предоставляют ссылки на таблицы, спецификации и ведомости.

Сечения – это графические изображения поперечного разреза кабельной трассы, показывающие расположение кабелей внутри. Они необходимы для:

- контроля заполняемости трасс;
- проверки соблюдения расстояний между кабелями;
- согласования способа прокладки с монтажной организацией.

В соответствии с ГОСТ 2.305 сечение должно отображать реальное расположение кабелей с учетом их диаметров и зазоров, а также содержать информацию о материале и размерах кабеленесущей системы.

Выноски в nanoCAD BIM Электро создаются автоматически на основе данных информационной модели, что исключает ошибки ручного ввода [13, 40, 41].

Для добавления выноски к элементу (светильнику, щиту, розетке) используется инструмент **Оформление** во вкладке **Электрика** → необходимо выбрать команду **Специальная выноска** → выделить оборудование на плане → откроется окно **Выбор выноски** (рис. 7.6).

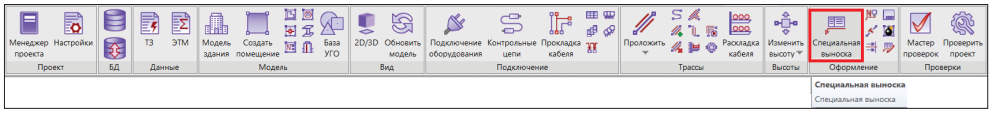


Рис. 7.6. Вкладка **Электрика → Оформление → Специальная выноска**

В появившемся окне необходимо выбрать тип выноски → указать на плане точку установки выноски и направление выносной линии (рис. 7.7) → после установки можно изменить положение выноски → программа автоматически подставит в выноску актуальные данные из свойств элемента (позиционное обозначение, марку, мощность и т. п.).

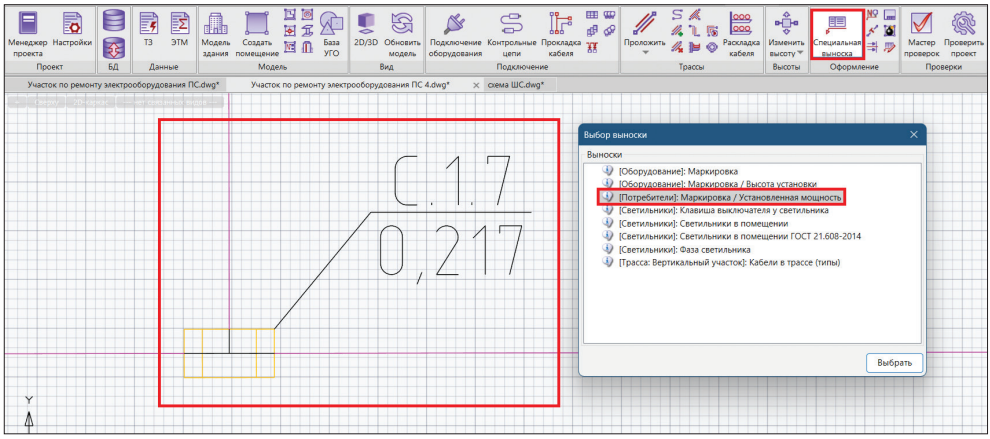


Рис. 7.7. Вкладка **Электрика**, оформление → **Специальная выноска** → окно **Выбор выноски**

Для кабельных трасс можно установить выноску с указанием номера трассы или состава проложенных кабелей. Для этого необходимо выбрать **Специальная выноска**, выделить участок трассы, выбрать параметр выноски и точку ее размещения (рис. 7.8).

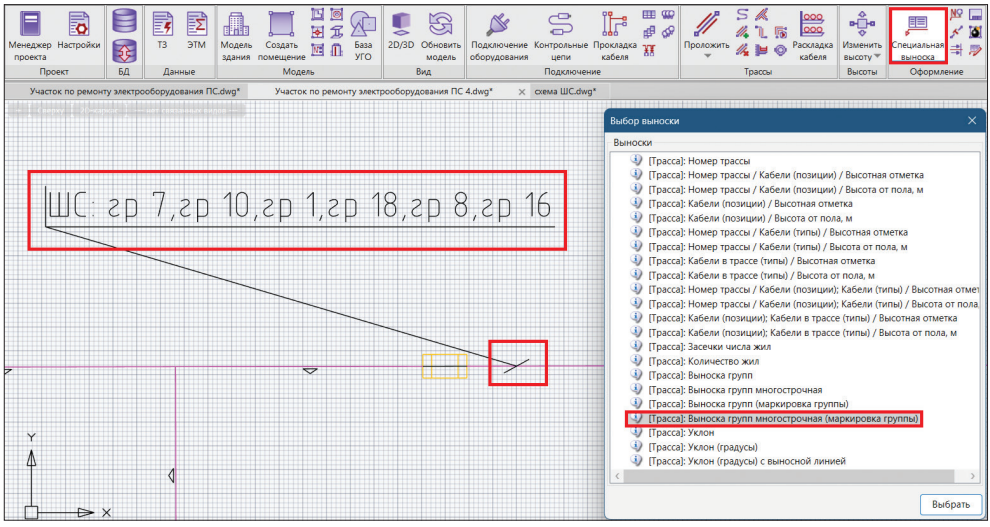


Рис. 7.8. Вкладка **Электрика**, оформление → **Специальная выноска** → окно **Выбор выноски** для кабельных трасс

Для создания выноски сечения (разреза) кабельной трассы используется специальный инструмент на панели **Оформление** → **Выноски сечения**. Сначала необходимо на трассе указать точку, в которой требуется выполнить сечение → в открывшемся окне **Страница свойств** задать параметры, подтвердить → на чертеже появится выноска сечения – графический символ, показывающий, где и в каком направлении выполнен разрез (рис. 7.9).

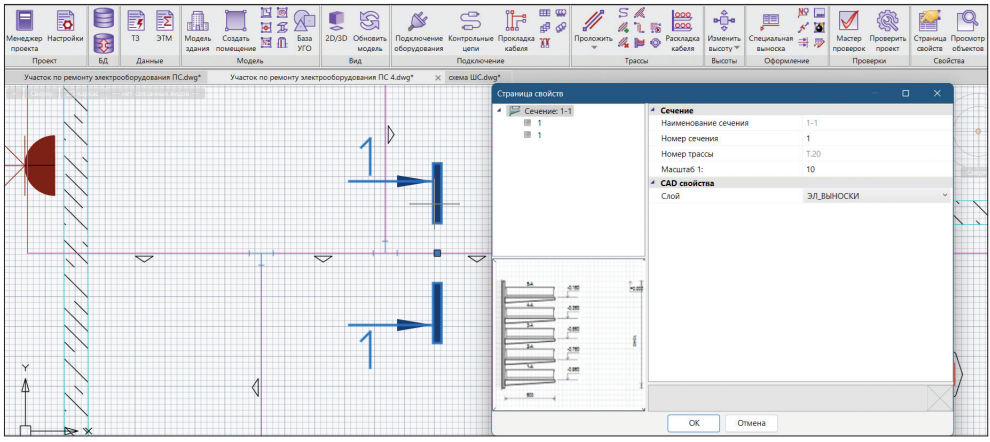


Рис. 7.9. Вкладка **Электрика**, оформление **Выноски сечения**

В контекстном меню команда **Заморозить/Разморозить** позволяет редактировать составные части выноски отдельно → при необходимости можно развернуть выноску сечения в другую сторону с помощью команды контекстного меню **Сменить направление взгляда** → после того как выноска сечения размещена и настроена, можно создать сам чертеж сечения → для этого в контекстном меню выноски необходимо выбрать команду **Установить сечение** → на плане указывается точка вставки чертежа сечения → программа автоматически сгенерирует вид сечения с изображением кабельной трассы в разрезе, с соблюдением заданного масштаба и с подписями элементов (лоток, кабели с указанием марок и сечений).

Контрольные вопросы к § 7.2

1. Что такое пояснительная записка в составе проектной документации и для каких целей она разрабатывается?
2. Назовите основные разделы пояснительной записки для электротехнической части проекта.
3. Каким образом должны быть оформлены таблицы, формулы и рисунки в тексте пояснительной записки?
4. Какими основными нормативными документами регламентируется оформление электротехнических чертежей в Российской Федерации?
5. Какие сведения обязательно должна содержать основная надпись (штамп) чертежа согласно ГОСТ Р 21.1101?

6. Какие форматы чертежей наиболее часто применяются для планов этажей, принципиальных схем и длинных трасс?
7. Опишите последовательность действий для установки рамки чертежа с основной надписью в nanoCAD BIM Электро.
8. Как изменить параметры уже установленной рамки (например, формат или размеры) после ее размещения на чертеже?
9. Что такое выноска на чертеже и какие функции она выполняет?
10. Для чего предназначены сечения кабельных трасс и какую информацию они отображают?
11. Каким образом в nanoCAD BIM Электро создается выноска к отдельному элементу оборудования (светильнику, щиту, розетке)?

§ 7.3. Формирование выходной проектной документации в nanoCAD BIM Электро

САПР nanoCAD BIM Электро предоставляет широкие возможности для автоматического формирования выходных документов на основе данных информационной модели, что исключает ручной ввод и связанные с ним ошибки.

К основным видам документации, генерируемой программой, относятся:

1) **Экспликация помещений** – ведомость помещений с указанием их номеров, наименований и класса зоны помещения, формируемая на основе объектов **Помещение**;
2) **Спецификация оборудования, изделий и материалов** – табличный документ, содержащий перечень всех элементов системы (щитов, кабелей, светильников, розеток, автоматических выключателей) с указанием их количества, марок и технических характеристик (свойств, атрибутов);
3) **Кабельный журнал** – таблица, в которой для каждой кабельной линии указаны: позиция, начало и конец линии, марка кабеля, сечение, длина;
4) **Светотехнический расчет** – результаты расчета освещенности помещений методом коэффициента использования или точечным методом;
5) **Результаты электротехнических расчетов** – отчет с суммарными значениями активной, реактивной и полной мощности, расчетного, пускового тока и т. п.;
6) **Расчет токов короткого замыкания** – отчет с результатами вычисления максимальных и минимальных токов короткого замыкания (КЗ) в характерных точках сети (на вводе, в распределительных щитах, у конечных потребителей), а также ударных токов КЗ, используемый для проверки отключающей способности аппаратов, чувствительности защиты и термической стойкости кабелей;
7) **Однолинейные расчетные схемы** – графическое отображение структуры питающей или распределительной сети с указанием расчетных параметров.

В табл. 7.4 приведено соответствие видов документации и инструментов их формирования.

Таблица 7.4. Формирование выходной документации в nanoCAD BIM Электро

Вид документации	Инструмент / Способ вызова	Формат вывода
Экспликация помещений	Менеджер проекта → раздел **Экспликация** → **Выгрузить в Word, Excel** или **Разместить на плане**	*.dwg, *.docx
Спецификация оборудования	Менеджер проекта → документация **Спецификация...** → **Обновить** → **Выгрузить в Word, Excel** или **Выгрузить в CAD** или **Экспортировать данные в смету**	*.xlsx, *.docx, *.dwg
Кабельный журнал	Менеджер проекта → документация **Кабельный журнал** → **Обновить** → **Выгрузить в Word, Excel** или **Выгрузить в CAD**	*.xlsx, *.dwg, *.docx
Светотехнический расчет	Менеджер проекта → результаты расчетов **Результаты светотехнических расчетов** → **Обновить** → **Выгрузить в Word, Excel**	*.docx, *.xlsx
Результаты электротехнических расчетов	Менеджер проекта → результаты расчетов **Результаты электротехнических расчетов** → **Обновить** → **Выгрузить в Word, Excel** или **Разместить на плане**	*.docx, *.xlsx, *.dwg
Расчет токов короткого замыкания	Менеджер проекта → результаты расчетов **Расчет ТКЗ** → **Обновить** → **Выгрузить в Word, Excel**	*.docx, *.xlsx,
Однолинейная схема	ЭТМ → контекстное меню РУ → **Создать принципиальную схему**	*.dwg

Однолинейная схема является ключевым документом, отображающим структуру проектируемой распределительной сети. В nanoCAD BIM Электро она создается автоматически на основе данных электротехнической модели (ЭТМ) [14, 40].

Для создания однолинейной схемы распределительного устройства необходимо открыть окно **Электротехническая модель** (ЭТМ) → в дереве проекта выделить нужный щит → вызвать контекстное меню (правой кнопкой манипулятора) и выбрать команду **Создать принципиальную схему** (рис. 7.10).

В открывшемся окне выбрать подходящий шаблон однолинейной схемы (рис. 7.11) → нажать команду **Открыть** → программа автоматически сформирует схему, разместив на экране схему щита, фидеры, автоматические выключатели с указанием номинальных токов, расчетных токов и марок кабелей → при необходимости выбрать подходящий формат для динамического блока рамки (рис. 7.12) → после генерации схему можно отредактировать стандартными командами (переместить элементы, изменить размеры, добавить поясняющие надписи) → сохранить однолинейную схему в папку проекта и закрыть ее.

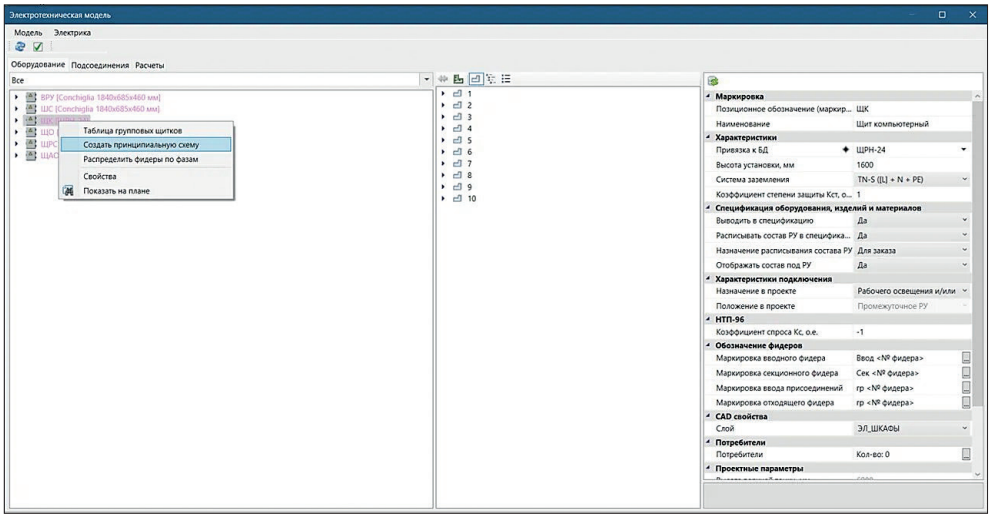


Рис. 7.10. Окно **Электротехническая модель** (ЭТМ) → **Создать принципиальную схему**

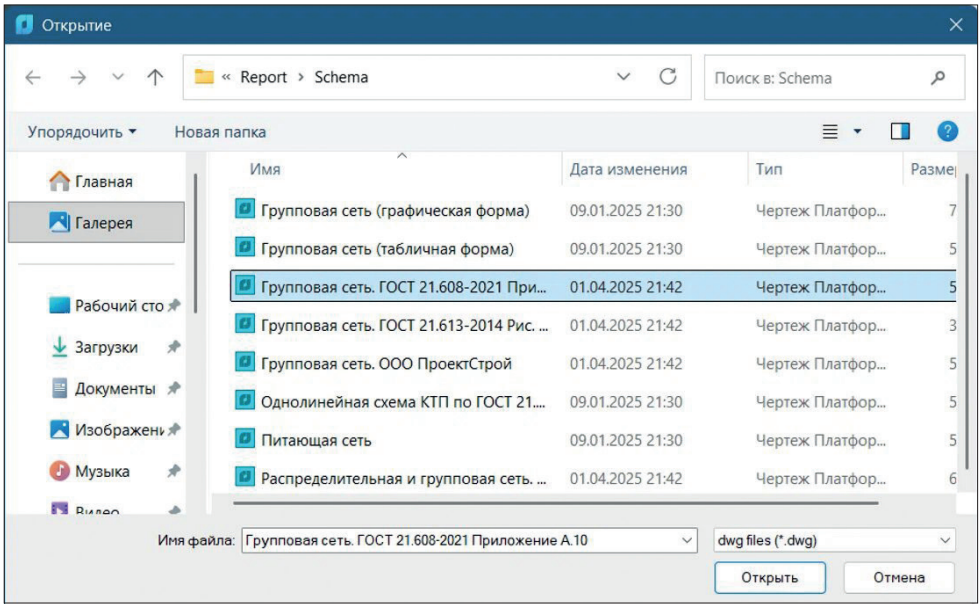


Рис. 7.11. Выбор шаблона однолинейной схемы

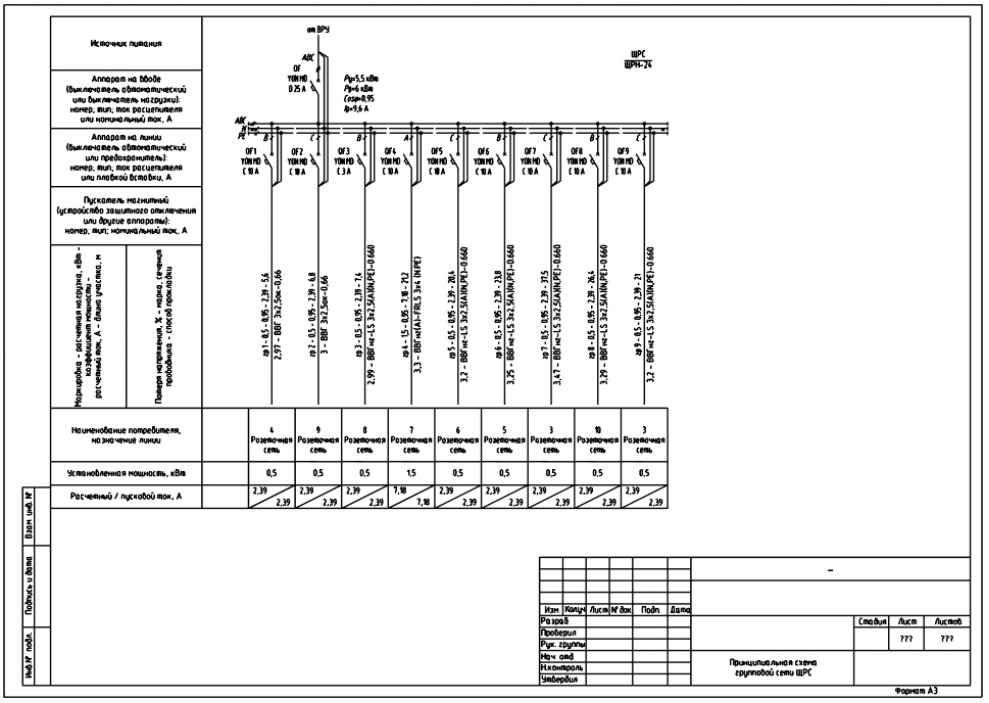


Рис. 7.12. Пример автоматически сформированной схемы группового щита в nanoCAD BIM Электро

Рекомендации по назначению различных типов схем приведены в табл. 7.5.

Таблица 7.5. Назначение различных типов схем

Тип схемы	Назначение
Питающая сеть	Отображает питание объекта от трансформаторной подстанции до ВРУ
Распределительная сеть	Показывает распределение энергии от ВРУ к групповым щитам
Групповая схема освещения	Детализирует питание светильников и выключателей
Схема силового оборудования	Отображает подключение электродвигателей, станков, насосов

Спецификации, кабельные журналы и другие табличные документы также формируются автоматически на основе информационной модели.

Для создания спецификации необходимо открыть **Менеджер проекта** → в дереве проекта, в разделе **Документация** выбрать **Спецификация оборудования, изделий и материалов** (рис. 7.13).

Если открыть этот раздел, то в области предварительного просмотра отобразится текущее содержимое → для актуализации содержимого необходимо вызвать контекстное меню и выбрать команду **Обновить спецификацию** → программа пересчитает все данные на основе текущего состояния модели → после обновления в области предварительного просмотра отобразится актуальная

спецификация (рис. 7.14). Для выгрузки во внешнее приложение (например, MS Word) необходимо вызвать контекстное меню и выбрать **Выгрузить документ в Word** или **в Excel**, а затем сохранить полученный файл в папку проекта [40].

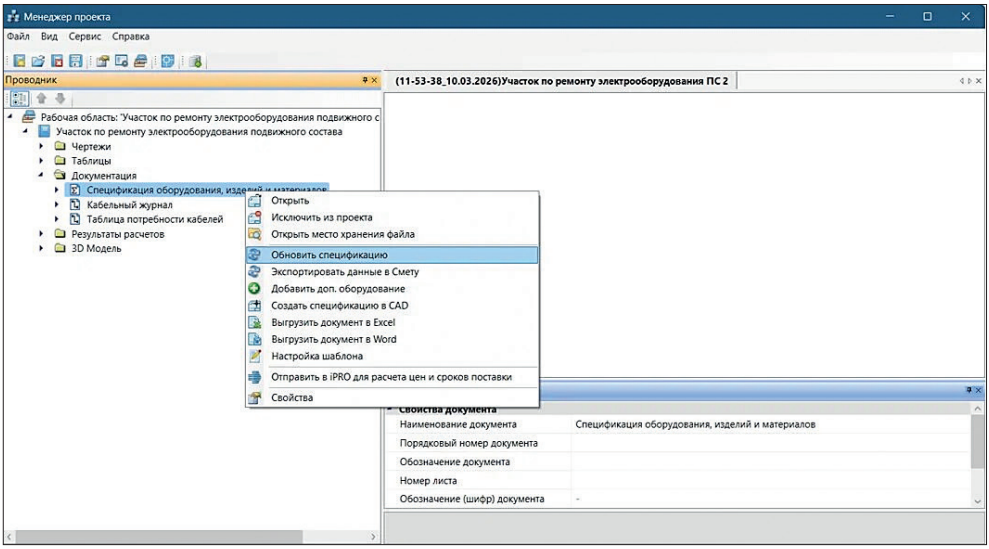


Рис. 7.13. Окно **Менеджер проекта**, просмотр и формирование **Спецификации оборудования, изделий и материалов**

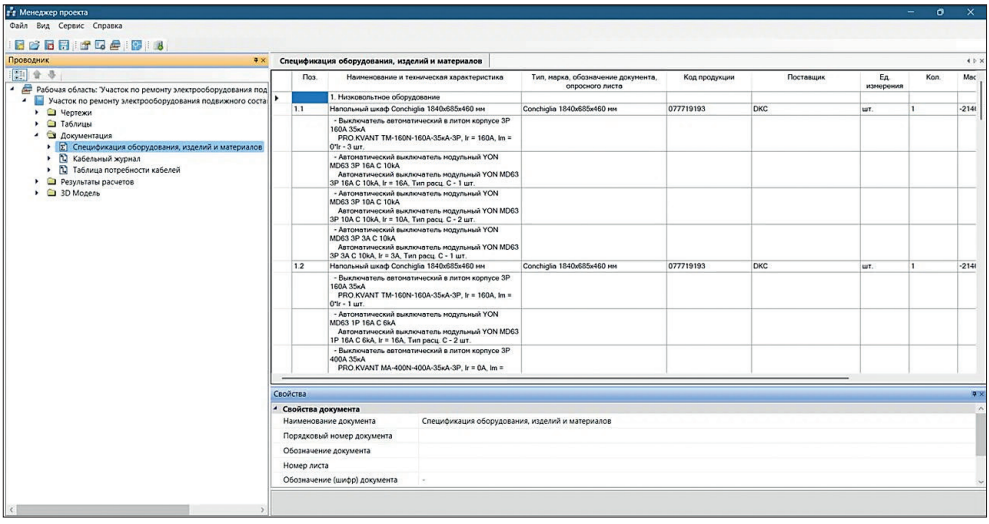


Рис. 7.14. Окно **Менеджер проекта**, пример сформированной **Спецификации оборудования, изделий и материалов**

Кабельный журнал формируется аналогично спецификации. Для создания кабельного журнала необходимо в **Менеджере проекта** в разделе **Документация** выбрать **Кабельный журнал** → обновить его содержимое командой **Обновить кабельный журнал** (рис. 7.15) → выгрузить журнал в нужном формате

(Word, Excel или CAD), причем для выгрузки в CAD используется команда **Выгрузить документ в CAD**, после чего журнал размещается на чертеже в виде таблицы (рис. 7.16).

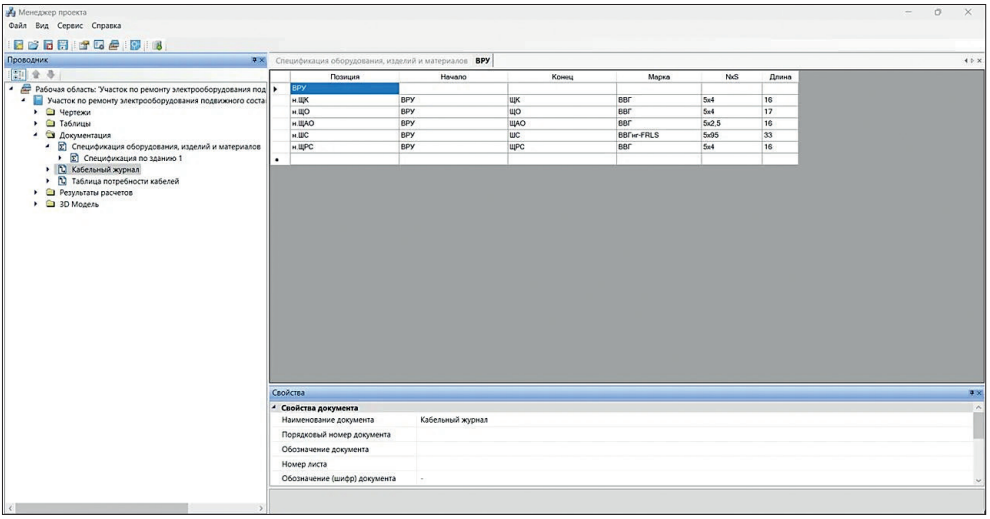


Рис. 7.15. Окно **Менеджер проекта**, пример сформированного **Кабельного журнала** в окне предварительного просмотра

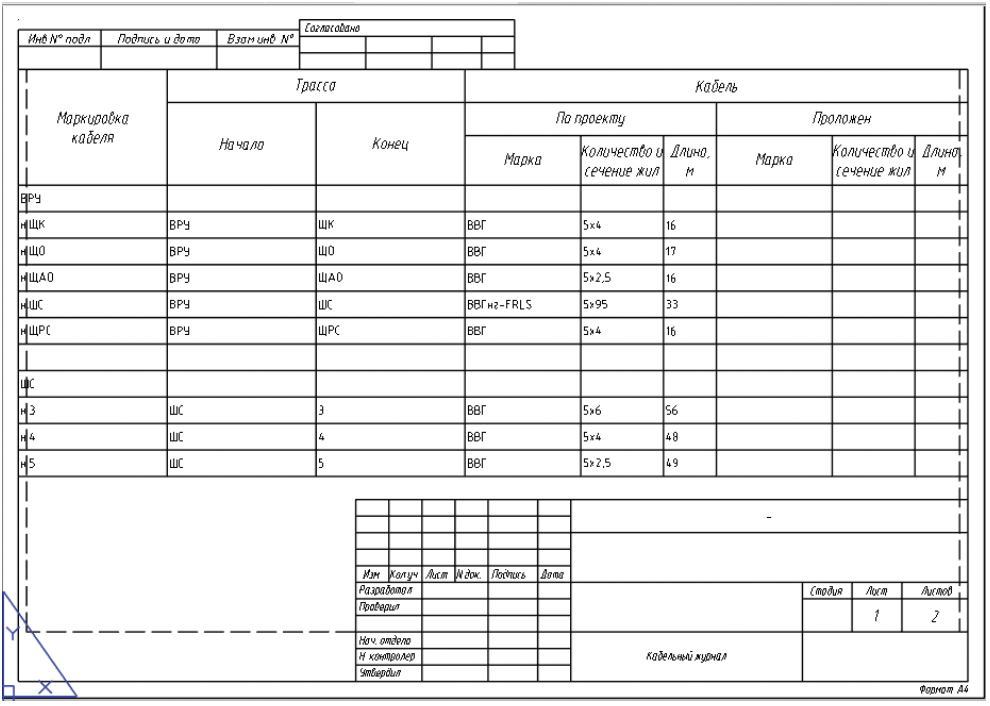


Рис. 7.16. Окно **Менеджер проекта**, пример сформированного **Кабельного журнала** на чертеже

Для формирования экспликации помещений необходимо в окне **Менеджер проекта** перейти в раздел **Таблицы** → выбрать документ **Экспликация помещений** (рис. 7.17) → открыть его → обновить содержимое с помощью команды **Обновить** → выгрузить полученную экспликацию в текстовый редактор MS Word или непосредственно на чертеж в nanoCAD (рис. 7.18). Программа автоматически заполняет экспликацию на основе ранее созданных объектов **Помещение**.

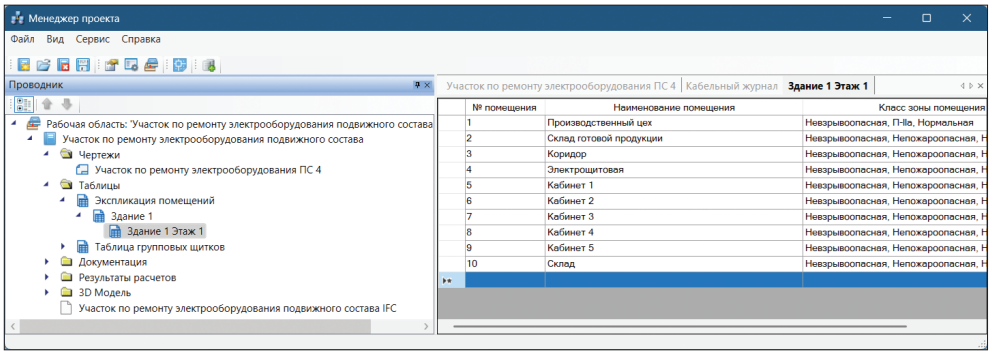


Рис. 7.17. Окно **Менеджер проекта**, пример сформированной **Экспликации помещений** в окне предварительного просмотра

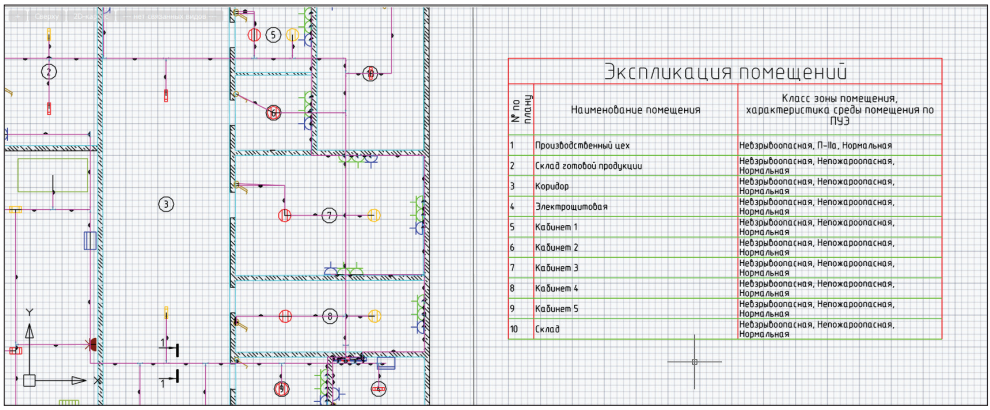


Рис. 7.18. Пример размещения сформированной **Экспликации помещений** на чертеже

В программном комплексе nanoCAD BIM Электро предусмотрена возможность автоматического получения результатов всех выполненных в ходе проектирования расчетов – светотехнических, электротехнических, а также расчетов токов короткого замыкания (ТКЗ). Для формирования соответствующего отчета необходимо в окне **Менеджер проекта** перейти в раздел **Результаты расчетов** (рис. 7.19) → выбрать нужный вид расчета → открыть соответствующий документ → обновить его содержимое командой **Обновить** (после чего данные приведутся в соответствие с текущим состоянием информационной модели) → после этого документ можно разместить непосредственно на чертеже (команда **Выгрузить в CAD**) или экспортировать во

внешние приложения (MS Word или MS Excel) для дальнейшего оформления и включения в состав проектной документации [40].

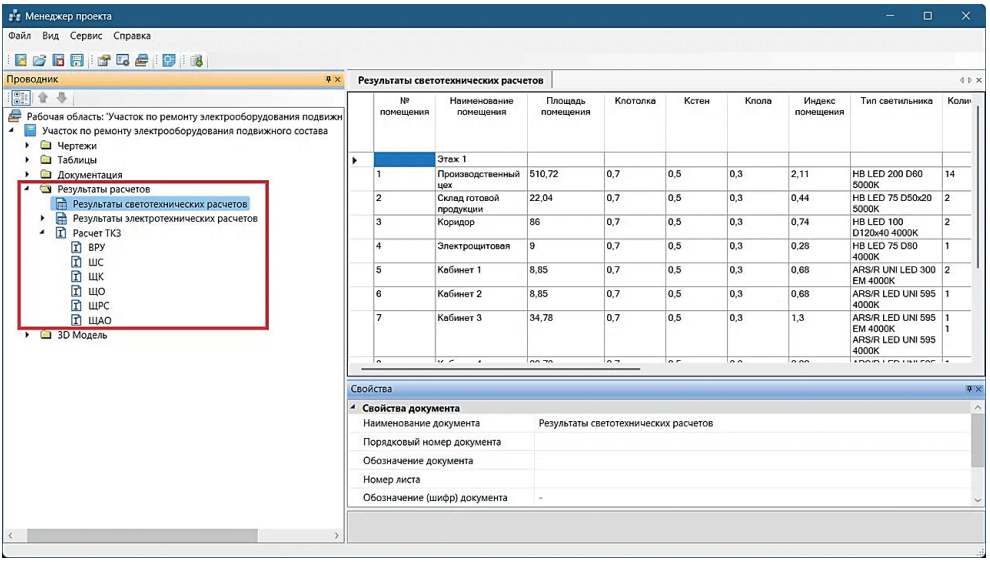


Рис. 7.19. Окно **Менеджер проекта** → **Результаты расчетов** в окне предварительного просмотра

Все сформированные в nanoCAD BIM Электро выходные документы (однолинейные схемы, спецификации оборудования, кабельные журналы, ведомости расчетов и др.) могут быть:

- сохранены в папке проекта в форматах, предусмотренных программой;
- экспортированы в другие форматы для передачи смежным специалистам или включения в состав сводной документации;
- выведены на печать непосредственно из интерфейса программы.

В nanoCAD BIM Электро предусмотрена возможность изменения формы и состава выходных документов (спецификаций, кабельных журналов, ведомостей) с помощью инструмента **Настройка шаблона** (рис. 7.20). Это позволяет адаптировать внешний вид документов под требования конкретного проекта или стандарты организации.

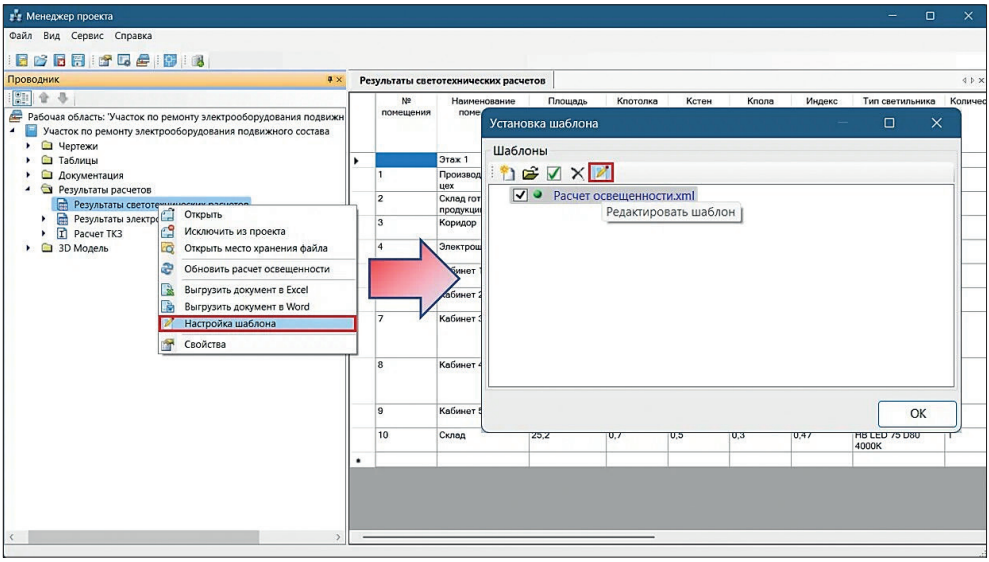


Рис. 7.20. Окно **Менеджер проекта** → **Настройка шаблона**

Для этого в окне **Менеджер проекта** надо выделить документ, форму или содержание которого необходимо изменить → вызвать контекстное меню и выбрать команду **Настройка шаблона** → в открывшемся диалоговом окне **Установка шаблона** нажать кнопку **Редактировать шаблон** → откроется окно **Настройка шаблонов для документов** (рис. 7.21), в котором можно:

- выбрать, какие колонки отображать в документе;
- задать ширину каждой колонки;
- изменить порядок следования колонок;
- настроить параметры шрифта и форматирования ячеек.

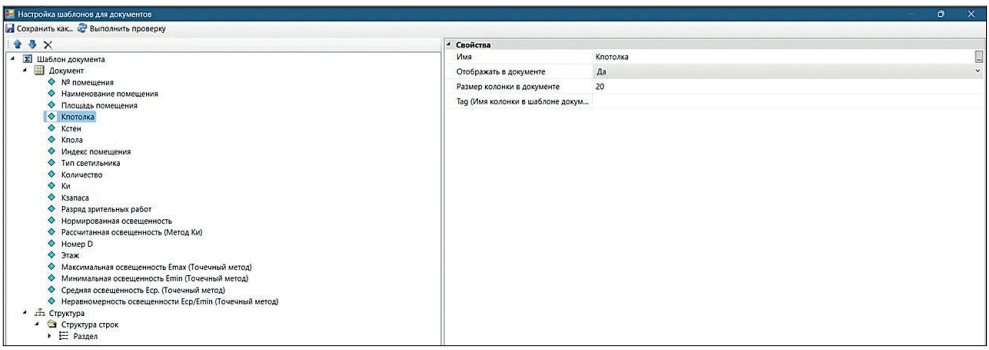


Рис. 7.21. Окно **Настройка шаблонов для документов**

После того как настройка шаблонов завершена, а все выходные документы приведены к требуемому виду, следующим этапом является подготовка чертежей к выводу на печать. Корректная настройка параметров печати гарантиру-

ет, что документация будет соответствовать стандартам и будет пригодна для передачи заказчику и использования.

Перед выводом на печать чертежа (например, однолинейной схемы или плана расположения оборудования) необходимо выполнить следующие действия:

- убедиться, что на листе установлена и корректно заполнена рамка чертежа с основной надписью (штампом) в соответствии с требованиями ГОСТ Р 21.101–2026;
- выполнить предварительный просмотр, это позволяет оценить расположение изображения на листе, масштаб и обрезку;
- настроить параметры печати, выбрать принтер (или виртуальный принтер PDF), задать формат бумаги (соответствующий формату рамки), установить масштаб печати (как правило, 1:1 для чертежей, выполненных в масштабе), при необходимости откорректировать область печати.

Для печати табличных документов (спецификаций, кабельных журналов, ведомостей расчетов) рекомендуется не выводить их на печать непосредственно из программы, а предварительно экспортировать во внешние файлы в форматах *.docx (для текстовых документов) или *.xlsx (для табличных данных). Полученные файлы могут быть открыты любым офисным приложением, поддерживающим эти форматы [40].

Настройка внешнего вида (шрифтов, ширины колонок, разбивки на страницы и других параметров форматирования) производится до генерации документа – на уровне шаблонов, используемых программой (например, шаблонов в формате *.dotx для текстовых документов). После настройки шаблона все экспортируемые документы автоматически формируются с заданным оформлением. При необходимости дополнительной обработки полученные файлы могут быть доработаны в любом совместимом офисном приложении.

После экспорта и форматирования документ можно распечатать стандартными средствами. Такой подход обеспечивает более высокое качество печати и позволяет гибко управлять внешним видом таблиц перед включением их в состав проектной документации.

Если сводный комплект документации требует использования дополнительных таблиц, расчетов, документов, то для удобства доступа к ним их можно подключить непосредственно к проекту в **Менеджере проекта**. Для этого в окне **Менеджер проекта** выделить проект → вызвать контекстное меню и выбрать команду **Подключить существующий документ** (рис. 7.22) → в открывшемся диалоговом окне выбрать нужный файл и подтвердить выбор → документ отобразится в дереве **Менеджера проекта**.

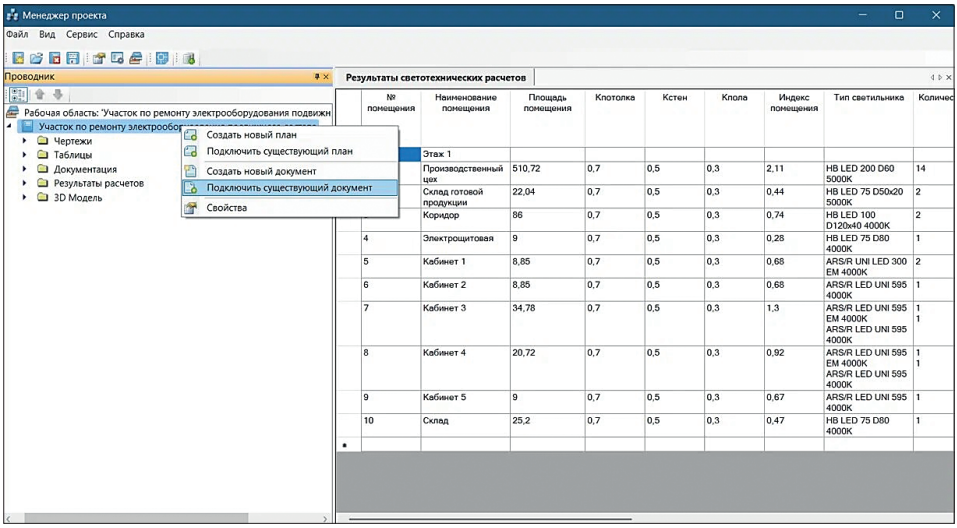


Рис. 7.22. Окно **Менеджер проекта → Подключить существующий документ**

Контрольные вопросы к § 7.3

1. Перечислите основные документы, входящие в состав комплекта проектной документации, формируемого в nanoCAD BIM Электро.
2. Какие этапы согласования и передачи проекта заказчику должен пройти готовый проект?
3. Какие виды выходной документации могут быть автоматически сгенерированы в nanoCAD BIM Электро на основе информационной модели?
4. Опишите порядок создания однолинейной схемы для распределительного устройства (щита) с использованием электротехнической модели (ЭТМ).
5. Для чего используются разные шаблоны однолинейных схем и каково назначение каждого типа схем (питающая сеть, распределительная сеть, групповая схема освещения, схема силового оборудования)?
6. Как сформировать экспликацию помещений?
7. Где находятся результаты светотехнических расчетов, расчетов нагрузок и токов короткого замыкания и каков порядок их экспорта?
8. Для чего предназначен инструмент **Настройка шаблона** в **Менеджере проекта** и какие параметры документа можно изменить с его помощью?
9. Какие действия необходимо выполнить перед печатью чертежа (например, однолинейной схемы) для обеспечения корректного вывода на печать?
10. Почему для печати табличных документов (спецификаций, кабельных журналов) рекомендуется предварительно экспортировать их в MS Word или Excel, а не печатать непосредственно из программы?

§ 7.4. Построение информационной модели в nanoCAD BIM Электро

В nanoCAD BIM Электро построение трехмерной модели выполняется на основе информационной модели, созданной в процессе проектирования. Для этого в программе предусмотрен специальный инструмент, доступный через **Менеджер проекта**.

Перед построением 3D-модели необходимо убедиться, что:

- все элементы системы электроснабжения (щиты, светильники, розетки, выключатели, кабельные трассы) размещены и имеют корректные геометрические параметры (высоту установки, размеры);
- выполнены все необходимые подключения;
- проект сохранен и не содержит ошибок.

Для построения трехмерной модели системы электроснабжения необходимо открыть окно **Менеджер проекта** (рис. 7.23) → в левой части окна **Менеджер проекта** выбрать раздел **3D Модель** в иерархии проекта → открыть контекстное меню → выбрать пункт **Построить 3D модель объекта** (рис. 7.24).

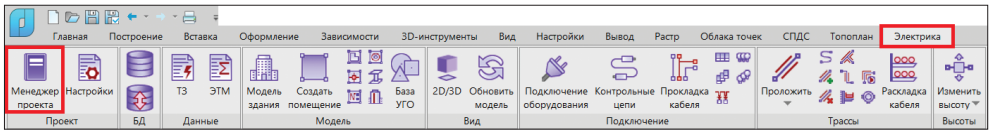


Рис. 7.23. Вкладка **Менеджер проекта** в nanoCAD BIM Электро

Программа откроет диалоговое окно, в котором необходимо уточнить параметры построения (рис. 7.24):

- **выбор здания**, если проект содержит несколько зданий, необходимо указать, модель какого здания требуется построить;
- **выбор этажей**, можно включить в модель все этажи или только выбранные;
- **выбор координат** расположения 3D-модели на плане.

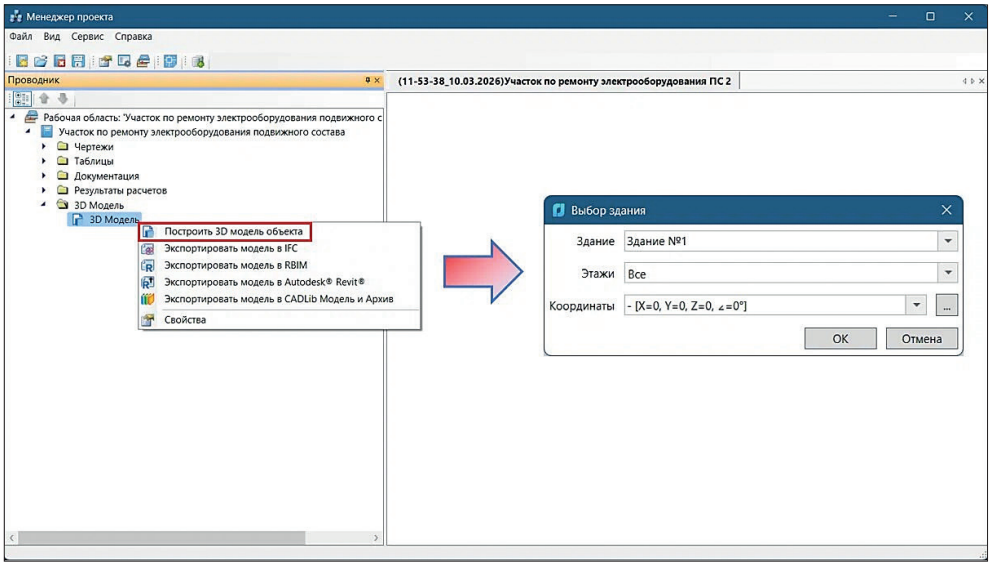


Рис. 7.24. Окно **Менеджер проекта** → **3D Модель** с вызовом контекстного меню в nanoCAD BIM Электро

Данный подход удобен, если необходимо сформировать модель не всего здания, а только его фрагмента (например, одного технического этажа или надземной части), после задания параметров и их подтверждения программа приступает к построению 3D-модели. По окончании процесса в рабочей области на экране появится трехмерное изображение спроектированной системы электроснабжения объекта (рис. 7.25). В модели будут представлены:

- распределительные щиты (с учетом их габаритов и высоты установки);
- кабельные трассы (лотки, короба, трубы);
- светильники, розетки, выключатели;
- электроприемники (станки, насосы и т. п.) с их геометрическими размерами;
- 3D-геометрия системы электроснабжения.

Помимо встроенных средств визуализации и анализа, программа поддерживает сохранение созданной информационной модели в отдельный файл и экспорт в форматы, обеспечивающие совместимость с другими BIM-системами и программными комплексами. В частности, предусмотрен экспорт в открытый формат IFC (Industry Foundation Classes), позволяющий обмениваться данными с любыми BIM-приложениями. Также доступна выгрузка в специализированные форматы, используемые в отечественной практике проектирования и строительства: RBIM и CADLib. Это обеспечивает возможность передачи модели смежным специалистам, интеграции в общую BIM-модель здания и использования на последующих этапах – от экспертизы до эксплуатации.

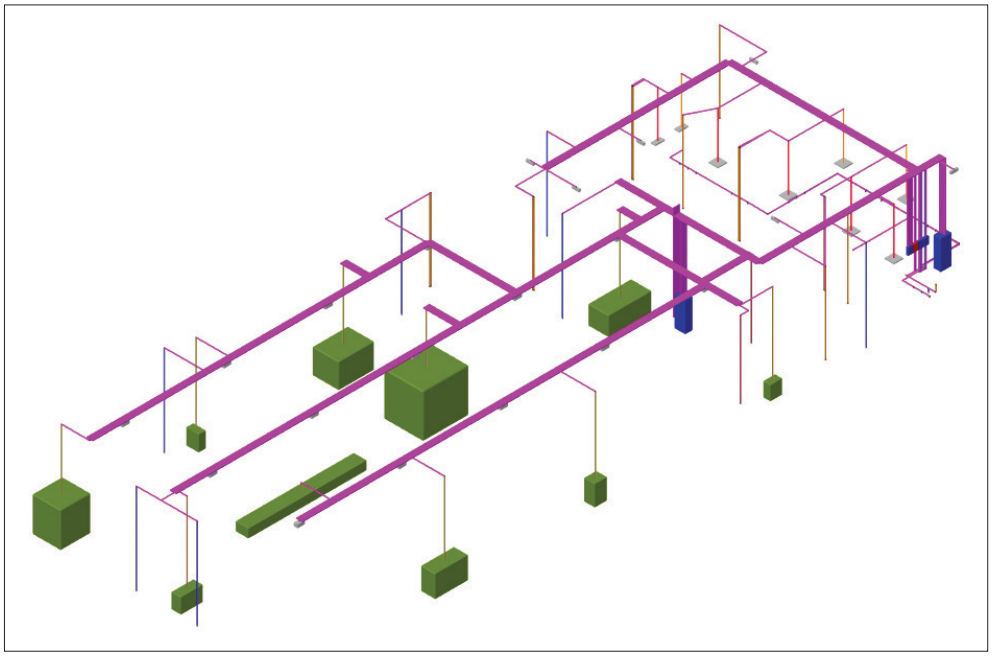


Рис. 7.25. 3D-модель проектируемой системы электроснабжения в nanoCAD BIM Электро

Построенная **информационная модель (ИМ)** (в терминах ГОСТ Р 21.101–2026 – **цифровая информационная модель, ИМОКС**) открывает широкие возможности для проверки и оптимизации проектных решений. В ИМ можно свободно перемещаться, вращать вид, приближать и отдалять объекты, используя стандартные инструменты навигации. Это позволяет детально рассмотреть каждый участок трассы, оценить взаимное расположение оборудования и строительных конструкций [40; 60].

Однако основное назначение информационной модели – не самопроверка проектировщиком, а **передача в среду общих данных (СОД)**, где сводятся все инженерные системы здания (архитектура, конструкции, отопление, вентиляция, водоснабжение, электроснабжение и др.). В СОД выполняются комплексная координация разделов, выявление коллизий и анализ пересечений между элементами разных систем. В nanoCAD BIM Электро предварительные коллизии можно выявлять визуально при навигации по модели, а также с помощью инструментов **Мастера проверок**. Но финальная верификация и устранение междисциплинарных конфликтов осуществляются уже в СОД при участии всех участников проекта.

Типичные коллизии, выявляемые при сведении моделей в СОД:

- пересечение кабельных лотков с воздуховодами;
- наложение кабельных трасс на дверные и оконные проемы;
- размещение оборудования в зоне открывания дверей;
- пересечение кабельных трасс с трубопроводами горячей воды и другими инженерными сетями.

Обнаружение и устранение таких коллизий на этапе проектирования позволяет избежать дорогостоящих переделок на стройплощадке и сократить сроки монтажа.

Для обеспечения единообразия и полезности данных существуют различные требования к информационной модели – со стороны заказчика, экспертизы, а также внутренние стандарты проектных организаций. Эти требования регламентируют:

- наименования параметров объектов;
- перечень (состав) параметров;
- типы данных;
- правила именования элементов и слоев.

Соблюдение стандартов и требований к модели обязательно при передаче в СОД и для прохождения экспертизы.

В информационной модели можно также оценить, насколько удобно будет обслуживать и ремонтировать оборудование, например:

- достаточен ли проход для доступа к распределительным щитам;
- не перекрывают ли кабельные трассы доступ к выключателям и розеткам;
- можно ли снять крышку щита, не упираясь в соседнее оборудование.

Для эффективного использования информационной модели рекомендуется:

1) формировать и актуализировать ИМ на каждом крупном этапе проектирования, своевременно выгружая ее в СОД для совместной координации;
2) использовать слои для управления видимостью, отключая ненужные элементы (подоснову, трассы других систем) для более удобного анализа;
3) применять цветовое кодирование для улучшения читаемости модели;
4) сохранять ИМ в отдельный файл; исходная информационная модель остается в файле проекта. При внесении изменений в проект ИМ необходимо перестраивать заново;
5) использовать информационную модель для презентации заказчику и как основу для последующей эксплуатации здания (цифровой двойник).

Контрольные вопросы к § 7.4

1. Чем отличается работа с проектом в двухмерном (2D) представлении от использования трехмерной (3D) модели в BIM-проектировании?
2. Опишите последовательность действий для построения 3D-модели системы электроснабжения через **Менеджер проекта**.
3. Какие параметры построения 3D-модели можно уточнить в диалоговом окне перед ее генерацией и для чего это нужно?
4. Какие элементы системы электроснабжения отображаются в построенной 3D-модели?
5. В какие форматы можно экспортировать 3D-модель из nanoCAD BIM Электро для обеспечения совместимости с другими BIM-системами?
6. Каким образом 3D-модель помогает оценить удобство обслуживания и ремонта оборудования?

7. Почему рекомендуется строить 3D-модель регулярно, а не только в конце проектирования?
8. Какие преимущества дает использование 3D-модели при презентации проекта заказчику?
9. Что следует помнить о связи 3D-модели с исходной информационной моделью при внесении изменений в проект?
10. Что такое коллизия в 3D-модели и какие типичные коллизии могут быть выявлены при анализе кабельных трасс и оборудования?

§ 7.5. Нормоконтроль проектной документации

После завершения всех проверок и оформления комплекта проектной документации перед передачей документации заказчику или на экспертизу выполняется **нормоконтроль** – комплексная проверка соответствия проектных решений, комплектности проектной документации, а также оформления чертежей, спецификаций и ведомостей требованиям нормативных документов.

Нормоконтроль – это обязательная проверка проектной и рабочей документации на соответствие требованиям нормативно-технических документов (ГОСТ, СП, СанПиН, ПУЭ и др.), а также правильность оформления и комплектности.

Основные цели нормоконтроля:

1) **обеспечение качества документации** – устранение ошибок в оформлении до передачи документации заказчику или на экспертизу;
2) **единообразие** – гарантия того, что все листы проекта выполнены в едином стиле, с соблюдением единых правил обозначений, шрифтов, штампов;
3) **соответствие нормам** – подтверждение того, что проектные решения (в части оформления) не противоречат действующим стандартам;
4) **снижение рисков** – уменьшение вероятности замечаний со стороны экспертизы и возникновения проблем на этапе строительства и монтажа.

В проектной организации нормоконтроль осуществляет специально назначенный и подготовленный специалист – **нормоконтролер**, который **не участвовал в разработке** проверяемых документов, это требование обеспечивает объективность проверки. Нормоконтролер должен обладать глубокими знаниями действующей нормативной базы и стандартов [23, 24].

Процесс нормоконтроля включает следующие этапы:

1) **проверка комплектности** – наличие всех необходимых листов, разделов, спецификаций согласно требованиям нормативно-технических документов и заданию на проектирование;
2) **проверка оформления чертежей** – правильность выбора рамок, заполнения штампов (основных надписей), наличие подписей, соответствие форматов листов;
3) **проверка графического оформления** – соответствие условных графических обозначений (УГО) требованиям ГОСТ (например, ГОСТ 21.210 для электрооборудования), правильность нанесения размеров, выносок и т. п.;

4) **проверка текстовых документов** – правильность оформления пояснительной записки, ведомостей, спецификаций;
5) **проверка соответствия нормативным документам** – соответствие выбранного оборудования, материалов и проектных решений требованиям ПУЭ, СП, ГОСТ и др.

В табл. 7.6 представлены основные нормативные документы, на соответствие которым проверяется проектная документация по электроснабжению.

Таблица 7.6. Основные нормативные документы, проверяемые при нормоконтроле

Система стандартов	Обозначение	Наименование	Что проверяется
ЕСКД	ГОСТ 2.701–2008	«Схемы. Виды и типы. Общие требования к выполнению»	Тип схемы (принципиальная, монтажная и т. д.), правила построения
	ГОСТ 2.710–81	«Обозначения буквенно-цифровые в электрических схемах»	Правильность позиционных обозначений
СПДС	ГОСТ Р 21.1101–2013	«Основные требования к проектной и рабочей документации»	Состав проекта, оформление штампов, нумерация листов
	ГОСТ 21.210–2014	«Условные графические изображения электрооборудования и проводок на планах»	Соответствие УГО на планах
	ГОСТ 21.608–2021	«Правила выполнения рабочей документации внутреннего электрического освещения»	Оформление схем и планов освещения
	ГОСТ 21.613–2014	«Правила выполнения рабочей документации силового электрооборудования»	Оформление схем и планов силового оборудования

В современных версиях nanoCAD BIM Электро контроль соответствия проектной документации нормативным требованиям осуществляется с помощью комплекса встроенных инструментов, интегрированных в единую среду проектирования. При этом автоматизированная проверка расчетов (ЭТМ, **Мастер проверок**) не может полностью заменить нормоконтролера. Программа nanoCAD BIM Электро предоставляет ряд инструментов, которые значительно облегчают выполнение нормоконтроля и помогают выявить типичные ошибки.

Нормоконтролер может:

- проверить, что все объекты (светильники, розетки, кабели) размещены на слоях с именами, соответствующими принятому стандарту организации;
- убедиться, что цвета, толщина и типы линий на слоях соответствуют требованиям;
- отключить ненужные слои, чтобы оценить чертеж полностью.

Основной функционал **Мастера проверок** (см. § 6.2) ориентирован на выявление ошибок в электрических расчетах и целостности модели, но некоторые его сообщения имеют прямое отношение к нормоконтролю:

- **Принадлежность оборудования к помещениям.** Если оборудование не привязано к помещению, это может указывать на неполноту модели или ошибку в размещении;
- **Отсутствует кабель для фидера.** Эта ошибка не только электрическая, но и оформительская, поскольку отсутствие выбранного кабеля делает спецификацию и кабельный журнал неполными;
- **Наличие привязки к базе данных.** Если объект не привязан к базе данных, он не имеет корректных технических характеристик и условного обозначения, что недопустимо для рабочей документации.

После успешного прохождения нормоконтроля и устранения всех выявленных замечаний проект считается готовым к выпуску [13, 14, 15, 16].

Контрольные вопросы к § 7.5

1. Что такое нормоконтроль и чем он отличается от автоматической проверки расчетов в **Мастере проверок**?
2. Каковы основные цели и задачи нормоконтроля в процессе проектирования?
3. Кто имеет право проводить нормоконтроль в проектной организации и почему важно, чтобы нормоконтролер не участвовал в разработке проекта?
4. Какие системы стандартов (ЕСКД, СПДС) регламентируют оформление электротехнической документации?
5. Какие инструменты nanoCAD BIM Электро могут быть использованы для автоматизации нормоконтроля?
6. Как проверить в программе, что все установленные на плане розетки имеют корректное условное графическое обозначение (УГО) по ГОСТ?
7. Что должен проверить нормоконтролер в спецификации оборудования и кабельном журнале перед передачей проекта заказчику?

Для закрепления материала по данной главе пройдите тест, который находится на странице с дополнительными материалами (см. на стр. 7).

Практическое задание № 6

Тема: «Формирование комплекта рабочей документации в nanoCAD BIM Электро».

Цель задания: сформировать полный комплект рабочей документации по ГОСТ, включающий:

- трехмерную модель системы электроснабжения;
- планы расположения электрооборудования и прокладки сетей;

- однолинейные схемы распределительных устройств;
- спецификацию оборудования, кабельный журнал, экспликацию помещений и другие табличные документы в составе рабочих чертежей.

Задание

Задание выполняется на основе результатов **Практических заданий № 1, № 2, № 3, № 4, № 5**. В проекте **Участок по ремонту электрооборудования подвижного состава (ЭПС)** должны быть полностью завершены:

- создание помещений, размещение оборудования (светильники, выключатели, розетки, электроприемники);
- технологическое задание, расчет нагрузок, настройка источника питания (трансформатора);
- электрические связи и подключения через ЭТМ (щиты, фидеры, подключения);
- кабельные трассы и выбор КНС;
- выбор аппаратов защиты, УЗО и кабелей для всех фидеров;
- выбор и прокладка кабелей;
- проверка и устранение ошибок.

Если какие-либо из перечисленных этапов не выполнены, необходимо вернуться к соответствующим заданиям и завершить их.

1. **Построение 3D-модели проектируемой системы электроснабжения.**

Откройте проект → убедитесь, что все элементы имеют корректные геометрические параметры (высоты установки, размеры). Откройте окно **Менеджер проекта** → в левой части выберите в иерархии проекта раздел **3D Модель** → откройте контекстное меню и выберите **Построить 3D модель объекта** (рис. 7.25) → в диалоговом окне укажите параметры построения по умолчанию.

После завершения построения выполните навигацию по 3D-модели → убедитесь, что все элементы системы отображаются корректно:

- распределительные щиты (проверьте их высоту и габариты);
- кабельные трассы (лотки, трубы);
- светильники, розетки, выключатели;
- технологическое оборудование.

Экспортируйте 3D-модель в формат IFC, например для передачи смежным специалистам. В окне **Менеджер проекта** выберите раздел **3D Модель** → контекстное меню → **Экспортировать модель в IFC** → сохраните файл в папку проекта.

2. **Подготовка и оформление чертежей по ГОСТ в nanoCAD BIM Электро.**

Ниже приведен перечень чертежей, которые должны быть оформлены обучающимся в рамках выполнения задания. Для каждого чертежа необходимо установить рамку с основной надписью (штамп) и заполнить ее в соответствии с ГОСТ Р 21.101–2026.

1. План помещений и расположения технологического электрооборудования.

Нормативная основа: ГОСТ 21.210 (условные графические изображения), ГОСТ 21.613 (правила выполнения).

Состав чертежа:

- архитектурно-строительная подоснова этажа (здания);
- все технологическое оборудование (станки из технологического задания (ТЗ));
- позиционные обозначения оборудования (указывается на выносках);
- перечень силового технологического оборудования в таблице;
- экспликация помещений в таблице (размещается на том же листе).

Порядок выполнения: создайте новый лист или используйте существующий план этажа → установите рамку чертежа → панель **Электрика** → **Оформление** → **Установить рамку чертежа** → формат А4×3 → основная надпись **Форма 3 по ГОСТ Р 21.101–2026** → заполните штамп по примеру рис. 7.26, а затем разместите **Экспликацию помещений** на том же листе (в пределах рамки).

<table>
<tr><td colspan="6"></td><td colspan="4">ЭМ 01.01.01-26</td></tr>
<tr><td colspan="6"></td><td colspan="4" rowspan="2">ОАО "Завод по ремонту подвижного состава</td></tr>
<tr><td colspan="6"></td></tr>
<tr><td>Изм.</td><td>Кол.уч.</td><td>Лист</td><td>N док.</td><td>Подпись</td><td>Дата</td><td colspan="4"></td></tr>
<tr><td>Разработал</td><td colspan="2">Иванов</td><td></td><td>07.04.26</td><td rowspan="3">Участок по ремонту ЭПС</td><td>Стадия</td><td>Лист</td><td>Листов</td></tr>
<tr><td>Проверил</td><td colspan="2">Петров</td><td></td><td>08.04.26</td><td>ПД</td><td>1</td><td>1</td></tr>
<tr><td>Т.контр.</td><td colspan="2">Сидоров</td><td></td><td>09.04.26</td><td colspan="3"></td></tr>
<tr><td colspan="6"></td><td rowspan="2">План здания и расположение электрооборудования</td><td colspan="3" rowspan="2">ООО "ТехноЭнергоПроект"</td></tr>
<tr><td>Н. контролер</td><td colspan="2">Васечкин</td><td></td><td>09.04.26</td></tr>
<tr><td colspan="6"></td><td colspan="4"></td></tr>
</table>

Рис. 7.26. Пример заполнения штампа к чертежу **План помещений и расположения технологического электрооборудования**

Для этого активируйте функцию редактирования таблицы (правой кнопкой манипулятора) → откорректируйте размеры таблицы, высоту строк, ширину столбцов, параметры шрифта и иные настройки таким образом, чтобы линии таблицы не пересекались с элементами плана (стенами, оборудованием, трассами) → затем с помощью **Диспетчера слоев** отключите видимость всех слоев, кроме тех, на которых отображены помещения и технологическое оборудование, чтобы на чертеже остались только эти объекты → после этого для каждого электроприемника из перечня технологического оборудования установите выноски типа **Потребители: Маркировка / Установленная мощность** → увеличьте размер шрифта выноски, если это необходимо, стандартными средствами в окне настройки выноски (двойное нажатие на выноску левой клавишей манипулятора) (рис. 7.27).

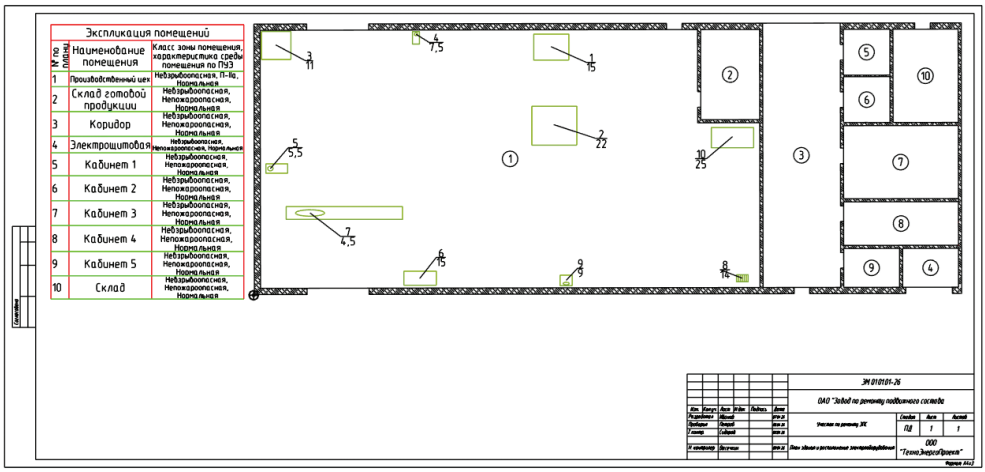


Рис. 7.27. Пример выполнения задания **План помещений и расположения технологического электрооборудования** → размещение таблицы **Экспликация помещений**

Для размещения на чертеже перечня силового технологического оборудования в виде таблицы необходимо воспользоваться инструментом **Данные** на вкладке **Электрика**, а именно командой **Технологическое задание (ТЗ)** → откройте окно **Список технологического оборудования (ТО)** → активируйте функцию экспорта списка электроприемников → программа автоматически предложит сохранить файл в формате Microsoft Excel в папку проекта → назовите файл **Перечень ТО** (Перечень технологического оборудования) → сохраните в папку проекта (рис. 7.28).

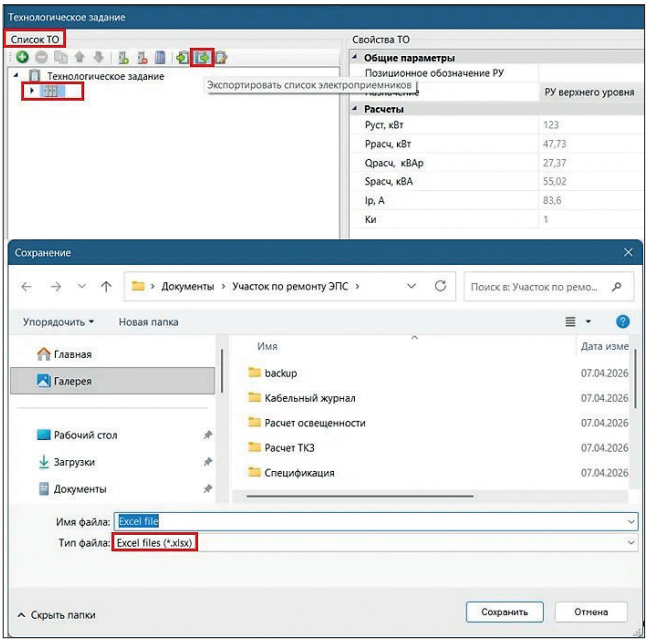


Рис. 7.28. Экспорт списка электроприемников в таблицу Microsoft Excel

После сохранения полученный файл будет использован для формирования таблицы на чертеже с помощью инструмента **Таблицы** (вкладка **Оформление** → **Таблица nanoCAD**), что позволяет оперативно включить перечень оборудования в состав рабочей документации.

На вкладке **Оформление** воспользуйтесь инструментом **Таблицы**, выбрав команду **Таблица nanoCAD** (рис. 7.29) → программа предложит создать таблицу на основе внешнего файла → укажите путь к папке проекта, где был сохранен файл с данными о технологическом оборудовании, и выберите его (рис. 7.30) → программа сформирует таблицу, после чего предложит разместить ее на чертеже (рис. 7.31).

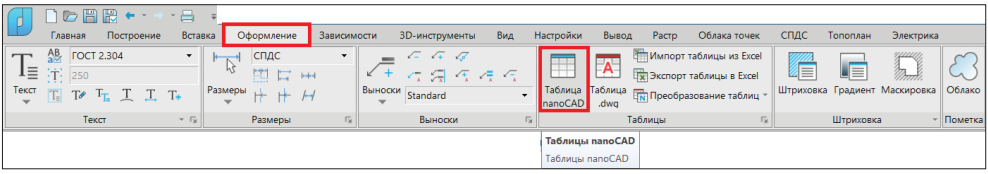


Рис. 7.29. Вкладка **Оформление** → инструмент **Таблица nanoCAD**

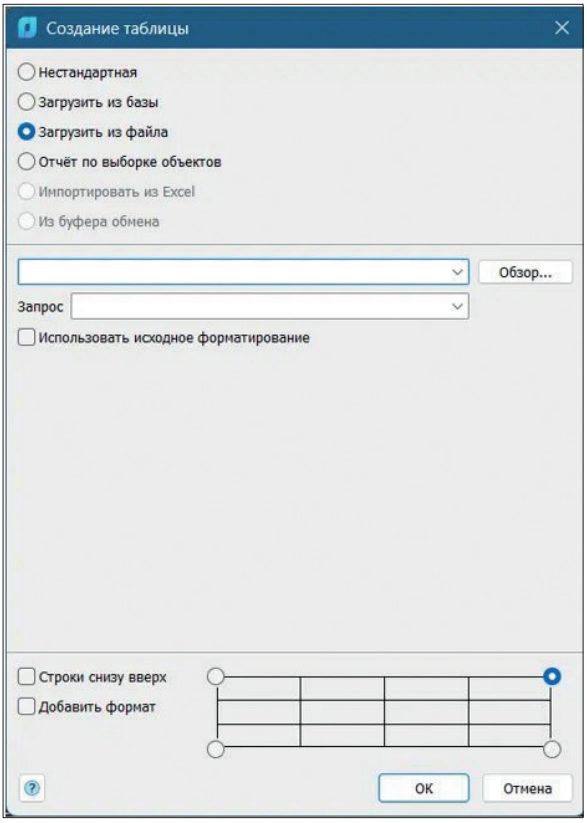


Рис. 7.30. Окно **Создание таблицы** nanoCAD для размещения на чертеже

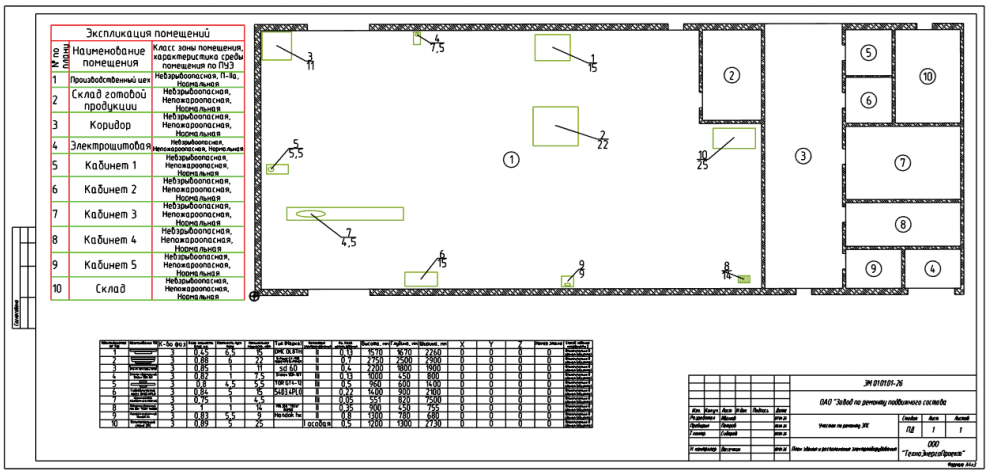


Рис. 7.31. Пример выполнения задания **План помещений и расположения технологического электрооборудования** → размещение таблицы с перечнем ТО

Пользователь самостоятельно может изменить внешний вид таблицы: добавить или удалить столбцы, отредактировать содержимое, изменить форматирование – все эти операции выполняются стандартными средствами nanoCAD. Аналогичным образом на чертежи можно добавлять любые табличные данные (спецификации, ведомости, журналы и др.), что обеспечивает высокую степень автоматизации оформления проектной документации.

2. План расположения розеточной сети.

Нормативная основа: ГОСТ 21.613, ГОСТ 21.210.

Состав чертежа:

- ♦ архитектурно-строительная подоснова;
- ♦ распределительные щиты, относящиеся к силовому оборудованию и розеточной сети (ВРУ, ЩС, ЩРС, ШК);
- ♦ розетки (офисные и промышленные);
- ♦ таблицы групповых щитков розеточной сети (ШС, ЩРС, ЩК);
- ♦ кабельные трассы.

Порядок выполнения:

Создайте новый лист или используйте существующий план этажа → установите рамку чертежа → панель **Электрика** → **Оформление** → **Установить рамку чертежа** → формат А4×3 → основная надпись **Форма 3 по ГОСТ Р 21.101–2026** → заполните штамп по примеру на рис. 7.32.

						ЭПС-ЭОМ.П2-2026		
						ОАО "Завод по ремонту подвижного состава"		
Изм.	Кол.уч.	Лист	N док.	Подпись	Дата			
Разработал		Иванов			07.04.26	Участок по ремонту ЭПС	Стадия	Лист	Листов
Проверил		Петров			08.04.26		П	1	1
Т.контр.		Сидоров			09.04.26				
Н. контролер		Васечкин			10.04.26	План расположения розеточной сети	ООО "ТехноЭнергоПроект"		

Рис. 7.32. Пример заполнения штампа к чертежу **План расположения розеточной сети**

С помощью **Диспетчера слоев** отключите видимость всех слоев, кроме тех, на которых отображены помещения, розетки, кабельные трассы и щиты ВРУ, ШС, ЩРС, ЩК, чтобы на чертеже остались только эти объекты → после этого для каждой розетки установите выноски типа **Оборудование: Маркировка / Высота установки** → увеличьте размер шрифта выноски, если это необходимо, стандартными средствами в окне настройки выноски → аналогично установите выноски для щитов типа **Оборудование: Маркировка** (рис. 7.33).

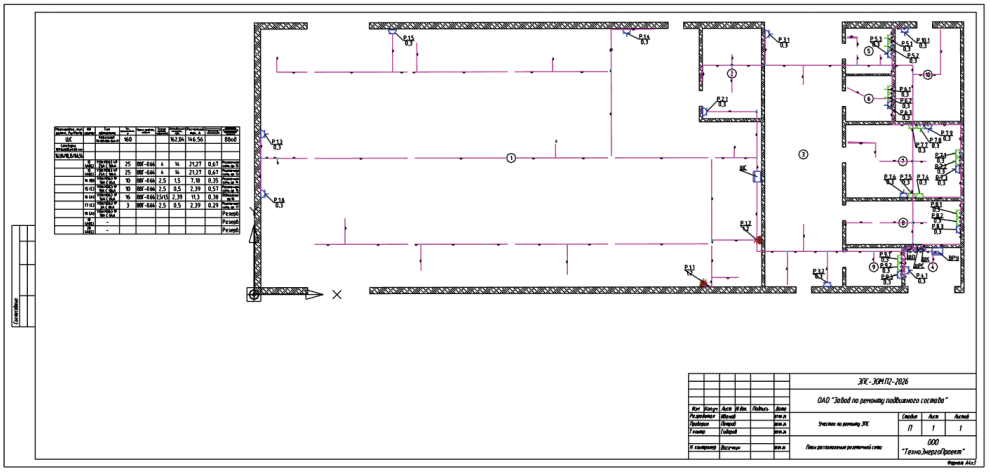


Рис. 7.33. Пример маркировки выносками розеток и щитов на чертеже

Для размещения на чертеже таблиц групповых щитков розеточной сети ВРУ, ШС, ЩРС и ЩК в виде таблицы необходимо воспользоваться инструментом **ЭТМ** на вкладке **Электрика** → откройте окно **ЭТМ** → выберите нужный щит → откройте контекстное меню (правой кнопкой манипулятора) → выберите команду **Таблица групповых щитков** → на экране отобразится таблица для выбранного щитка → активируйте функцию экспорта таблицы в Microsoft Excel (рис. 7.34) → программа автоматически предложит сохранить файл в формате Microsoft Excel в папку проекта → назовите файл **Таблица групповых щитков (название щита)** → сохраните в папку проекта.

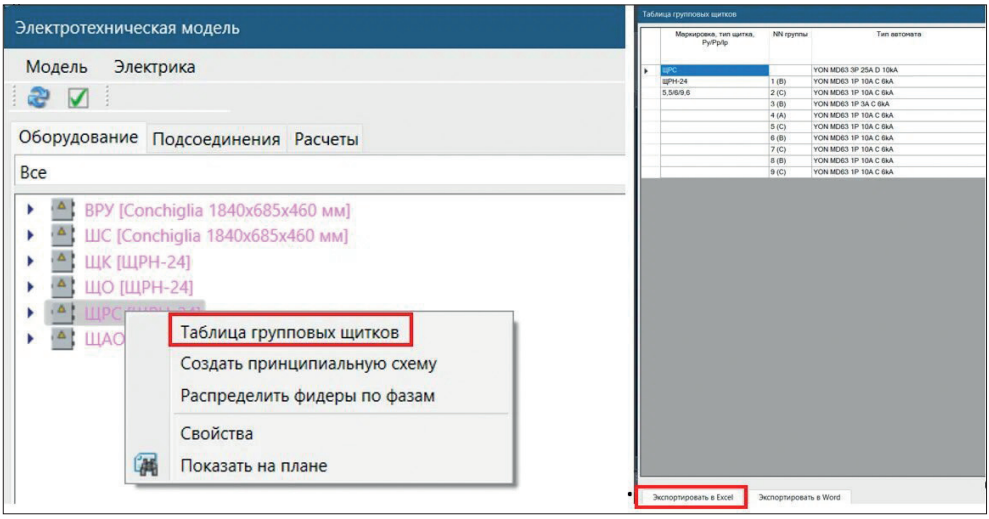


Рис. 7.34. Окно **ЭТМ** → **Таблица групповых щитков** → **Экспортировать в Excel**

После сохранения полученный файл используйте для формирования таблицы на чертеже с помощью инструмента **Таблицы** (вкладка **Оформление** → **Таблица nanoCAD**), как было описано ранее.

Измените содержание таблиц так, чтобы в них осталась информация только о розеточной сети, удалите ненужные столбцы и строки, разместите так, чтобы линии таблиц не пересекались с планом на чертеже (рис. 7.35).

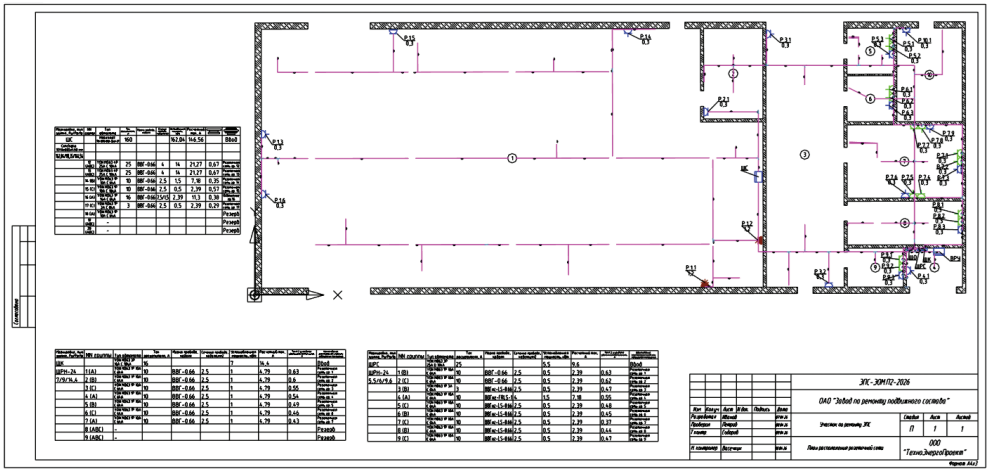


Рис. 7.35. Пример выполнения задания **План расположения розеточной сети** → размещение таблиц групповых щитков

3. План системы внутреннего электрического освещения.

Нормативная основа: ГОСТ 21.608 «Правила выполнения рабочей документации внутреннего электрического освещения», ГОСТ 21.210.

Состав чертежа:

- архитектурно-строительная подоснова;
- щит рабочего освещения (ЩО) и щит аварийного освещения (ЩАО);
- светильники рабочего и аварийного освещения;
- выключатели;
- кабельные трассы;
- результаты светотехнических расчетов.

Порядок выполнения:

Создайте новый лист или используйте существующий план этажа → установите рамку чертежа → панель **Электрика → Оформление → Установить рамку чертежа** → формат А4×3 → основная надпись **Форма 3 по ГОСТ Р 21.101–2026** → заполните штамп по примеру рис. 7.36.

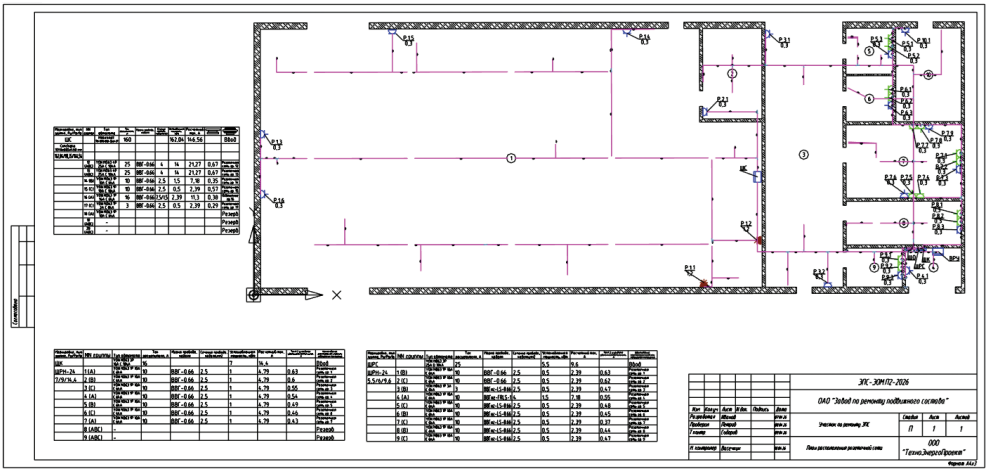


Рис. 7.36. Пример заполнения штампа к чертежу **План системы внутреннего электрического освещения**

С помощью диспетчера слоев отключите видимость всех слоев, кроме тех, на которых отображены помещения, светильники, выключатели, кабельные трассы и щиты ЩО и ЩАО, чтобы на чертеже остались только эти объекты → после этого для каждого элемента системы освещения установите выноски, для светильников и выключателей – **Оборудование: Маркировка / Высота установки**, для щитов ЩО и ЩАО – **Оборудование: Маркировка / Группы (аппараты) / Высота установки** → увеличьте размер шрифта выноски, если это необходимо, стандартными средствами в окне настройки выноски (рис. 7.37).

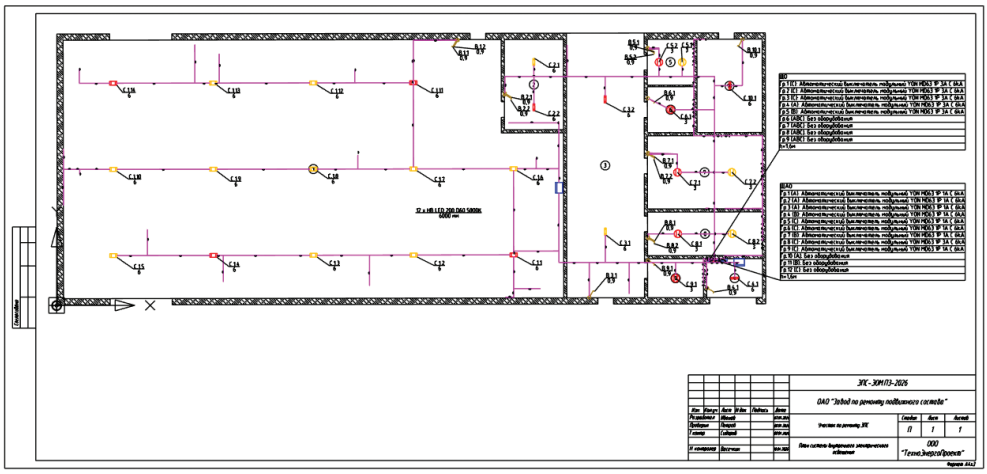


Рис. 7.37. Пример маркировки элементов системы освещения

Для размещения на чертеже результатов светотехнических расчетов в виде таблицы необходимо в **Менеджере проекта** выбрать **Результаты расчетов → Результаты светотехнических расчетов** → выбрать в контекстном меню **Выгрузить документ в Excel** и сохранить в папку проекта. После сохранения полученный файл используйте для формирования таблицы на чертеже с помощью инструмента **Таблицы** (вкладка **Оформление → Таблица nanoCAD**), как было описано ранее (рис. 7.38).

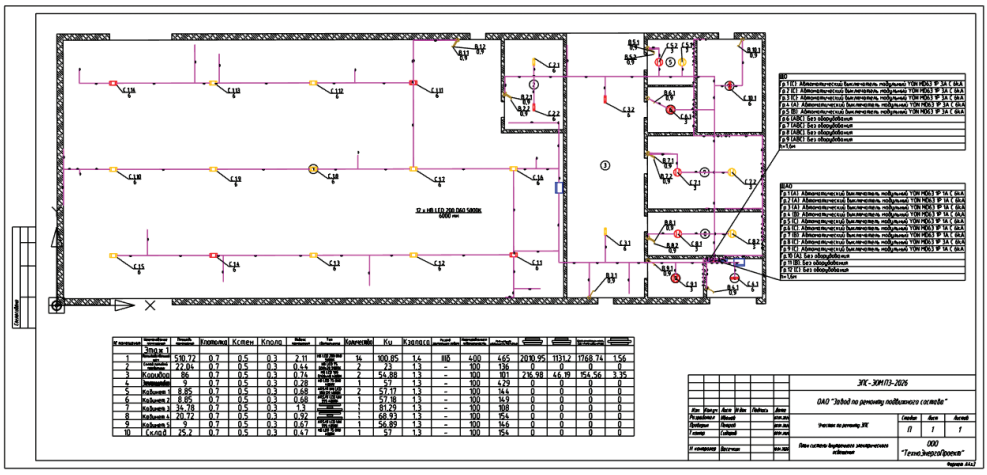


Рис. 7.38. Пример выполнения задания **План системы внутреннего электрического освещения**

4. **Формирование однолинейных схем щитов.**

В nanoCAD BIM Электро однолинейные схемы создаются автоматически на основе данных электротехнической модели.

Порядок выполнения: откройте окно **ЭТМ** (панель **Электрика → ЭТМ**) → для каждого распределительного устройства (щита) выполните следующие действия:

- выделите щит в дереве проекта;
- вызовите контекстное меню → **Создать принципиальную схему**;
- выберите шаблон схемы **Распределительная и групповая сеть. Вариант 1**;
- программа автоматически сформирует однолинейную схему;
- если полученная схема не умещается в предложенной программой рамке чертежа, ее необходимо удалить и, используя инструмент **Оформление → Установить рамку чертежа**, выбрать рамку под размер полученной схемы;
- заполните штамп по примеру (рис. 7.39);
- разместите на чертеже результаты электротехнических расчетов из **Менеджера проекта → Результаты расчетов → Результаты электротехнических расчетов**.

						ЭПС-ЭОМ.С2-2026			
						ОАО "Завод по ремонту подвижного состава"			
Изм.	Кол.уч.	Лист	N док.	Подпись	Дата				
Разработал		Иванов			07.04.2026	Участок по ремонту ЭПС	Стадия	Лист	Листов
Проверил		Петров			08.04.2026		П	1	1
Т. контр.		Сидоров			09.04.2026				
Н. контролер		Васечкин			10.04.2026	Схема электрическая однолинейная ШС	ООО "ТехноЭнергоПроект"		

Рис. 7.39. Пример заполнения штампа к чертежу **Схема электрическая однолинейная**

Сформируйте однолинейные схемы для всех щитов, а именно:

- **ВРУ** (Вводно-распределительное устройство);
- **ШС** (Шкаф силовой);
- **ЩО** (Щит рабочего освещения);
- **ЩАО** (Щит аварийного освещения);
- **ЩРС** (Щит розеточных сетей);
- **ЩК** (Щит компьютерный).

При необходимости отредактируйте схему стандартными командами (перемещение элементов, добавление поясняющих надписей). Сохраните каждую схему как отдельный чертеж в папке проекта (рис. 7.40).

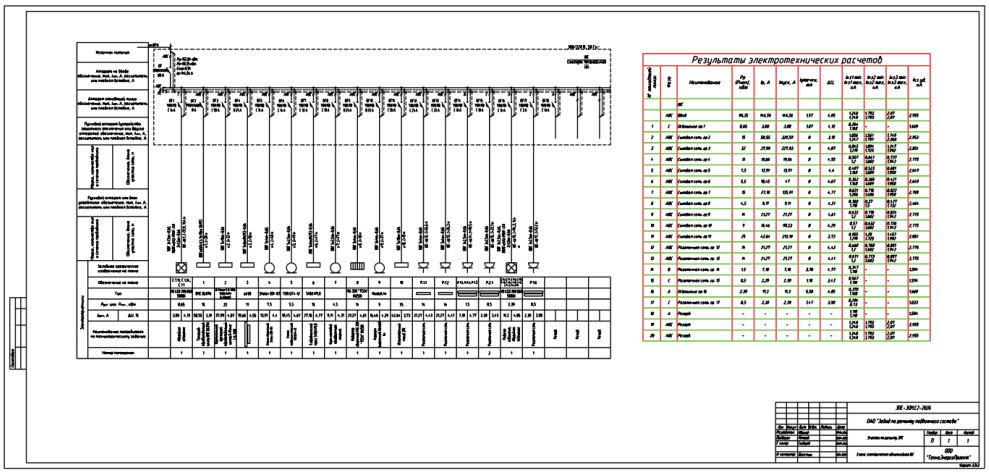


Рис. 7.40. Пример выполнения задания **Формирование однолинейных схем щитов**

5. **Формирование табличных документов.**

Согласно ГОСТ Р 21.101–2026 и соответствующим стандартам СПДС, к основному комплекту рабочих чертежей прилагаются табличные документы. В nanoCAD BIM Электро эти документы формируются автоматически и могут быть размещены непосредственно на чертеже или экспортированы во внешние форматы.

1. Спецификация оборудования, изделий и материалов.

Нормативная основа: ГОСТ 21.110 «Спецификация оборудования, изделий и материалов».

Порядок выполнения: в **Менеджере проекта** выберите **Документация** → **Спецификация оборудования, изделий и материалов** → вызовите контекстное меню **Обновить спецификацию** → экспортируйте спецификацию:

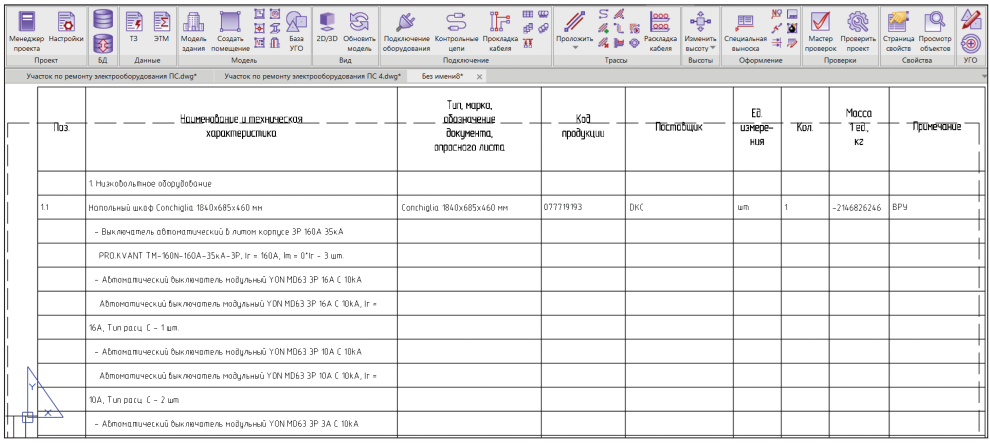
- для включения в текстовую часть – **Выгрузить документ в Word/Excel**;
- для размещения на чертеже – **Создать спецификацию в CAD** (рис. 7.41).

2. Кабельный журнал.

Нормативная основа: ГОСТ 21.608, п. 6.3 «Кабельный журнал» (форма 8).

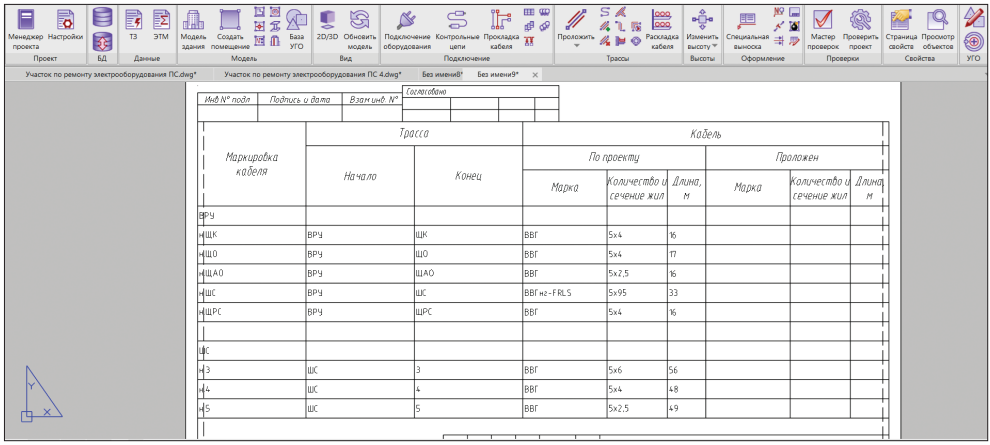
Порядок выполнения: в **Менеджере проекта** выберите **Документация** → **Кабельный журнал** → вызовите контекстное меню **Обновить кабельный журнал** → экспортируйте кабельный журнал:

- **Создать кабельный журнал в CAD** (рис. 7.42);
- в Excel/Word – для последующего оформления.



Поз.	Наименование и техническая характеристика	Тип, марка, обозначение документа, опросного листа	Код продукции	Поставщик	Ед. измерения	Кол.	Масса 1 ед., кг	Примечание
	1 Низковольтное оборудование							
1.1	Напольный шкаф Conchiglia 1840x685x460 мм	Conchiglia 1840x685x460 мм	077719193	DKC	шт	1	~2146826246	ВРУ
	- Выключатель автоматический 6 литом корпусе 3Р 160А 35кА							
	PROKVANT TM-160N-160A-35kA-3P, Ir = 160A, Im = 0*Ir - 3 шт.							
	- Автоматический выключатель модульный YON MD63 3P 16A C 10kA							
	Автоматический выключатель модульный YON MD63 3P 16A C 10kA, Ir =							
	16A, Тип расц. C - 1 шт.							
	- Автоматический выключатель модульный YON MD63 3P 10A C 10kA							
	Автоматический выключатель модульный YON MD63 3P 10A C 10kA, Ir =							
	10A, Тип расц. C - 2 шт.							
	- Автоматический выключатель модульный YON MD63 3P 3A C 10kA							

Рис. 7.41. Пример создания спецификации в CAD



Маркировка кабеля	Трасса		Кабель					
	Начало	Конец	По проекту			Проложен		
			Марка	Количество и сечение жил	Длина, м	Марка	Количество и сечение жил	Длина, м
ВРУ								
=ЩК	ВРУ	ЩК	ВВГ	5х4	16			
=ЩО	ВРУ	ЩО	ВВГ	5х4	17			
=ЩАО	ВРУ	ЩАО	ВВГ	5х2,5	16			
=ЩС	ВРУ	ЩС	ВВГнг-FRLS	5х95	33			
=ЩРС	ВРУ	ЩРС	ВВГ	5х4	16			
ЩС								
=3	ЩС	3	ВВГ	5х6	56			
=4	ЩС	4	ВВГ	5х4	48			
=5	ЩС	5	ВВГ	5х2,5	49			

Рис. 7.42. Пример создания кабельного журнала в CAD

5. Пояснительная записка.

Нормативная основа: постановление Правительства РФ № 87 от 16.02.2008 (п. 16, подраздел «Система электроснабжения»), ГОСТ Р 21.101–2026.

Пояснительная записка является текстовой частью проектной документации и входит в состав подраздела ЭС (Система электроснабжения) раздела 5 «Сведения об инженерном оборудовании, о сетях инженерно-технического обеспечения, перечень инженерно-технических мероприятий, содержание технологических решений».

Создайте файл пояснительной записки в формате MS Word (или другом текстовом редакторе) → оформите титульный лист в соответствии с ГОСТ Р 21.101–2026.

Вставьте в соответствующие разделы данные, полученные из nanoCAD BIM Электро:

- из **Менеджера проекта** → **Результаты расчетов** → экспортируйте и скопируйте расчет электрических нагрузок, светотехнический расчет, расчет токов КЗ и т. п.;
- из **Спецификации оборудования** и **Кабельного журнала** – выборочно, для обоснования выбора кабелей и аппаратов. Для каждого раздела приведите краткое описание принятых решений и ссылки на выполненные расчеты.

Подключите файл пояснительной записки к проекту в nanoCAD BIM Электро **Менеджер проекта** → контекстное меню **Подключить существующий документ** → выберите созданный файл.

6. **Состав комплекта рабочей документации.**

По завершении всех этапов сформируйте папку проекта со следующей структурой:

- Пояснительная записка должна иметь разделы и содержание согласно табл. 7.7.

Таблица 7.7. Структура пояснительной записки к проекту

№ раздела	Наименование раздела	Содержание раздела
1	Общая часть	• Перечень нормативных документов (ПУЭ, СП 256.1325800.2016, ГОСТ Р 21.101–2026, постановление № 87). • Краткая характеристика объекта. • Категория надежности электроснабжения
2	Характеристика источников электроснабжения	• Источники питания (ТП, РУ). • Напряжение питающей сети. • Мощность трансформаторов. • Ток короткого замыкания на высокой стороне
3	Схема электроснабжения	• Описание системы распределения электроэнергии (ВРУ, силовые и осветительные щиты)
5	Силовое электрооборудование	• Перечень электроприемников. • Способы управления и защиты (автоматические выключатели, УЗО). • Пусковые токи и их учет при выборе аппаратов
4	Электрические нагрузки	• Анализ электроприемников и электрических нагрузок
6	Электрическое освещение	• Нормируемая освещенность помещений. • Типы выбранных светильников. • Результаты светотехнического расчета. • Аварийное освещение
7	Розеточная сеть	• Типы и количество розеток (офисные, промышленные, компьютерные). • Принципы группировки и защиты

Окончание табл. 7.7

№ раздела	Наименование раздела	Содержание раздела
8	Кабельные линии и кабеленесущие системы	• Выбранные марки кабелей. • Сечения кабелей и их обоснование (по длительно допустимому току, потере напряжения, термической стойкости). • Типы кабеленесущих систем (лотки, короба, трубы). • Способ прокладки (высота, по стенам/потолку)
9	Мероприятия по заземлению и молниезащите	• Система заземления (TN-C-S, TN-S и др.)
13	Заключение	• Выводы о соответствии проектных решений нормативным требованиям. • Перечень переданной документации
14	Список использованной литературы и нормативных документов	• Все нормативные документы, на которые даны ссылки в тексте (ПУЭ, ГОСТы, СП, постановление № 87)

♦ Графическая часть (папка «Чертежи») согласно табл. 7.8.

Таблица 7.8. Структура графической части к проекту

№ листа	Шифр	Наименование
1	ЭПС-ЭОМ.П1-2026	План помещений и расположения технологического электрооборудования
2	ЭПС-ЭОМ.П2-2026	План расположения розеточной сети
3	ЭПС-ЭОМ.П3-2026	План системы внутреннего электрического освещения
4	ЭПС-ЭОМ.С1-2026	Однолинейная схема ВРУ
5	ЭПС-ЭОМ.С2-2026	Однолинейная схема ШС
6	ЭПС-ЭОМ.С2-2026	Однолинейная схема ЩО
7	ЭПС-ЭОМ.С3-2026	Однолинейная схема ЩАО
8	ЭПС-ЭОМ.С4-2026	Однолинейная схема ЩРС
9	ЭПС-ЭОМ.С5-2026	Однолинейная схема ЩК
10	ЭПС-ЭОМ.Т1-2026	Спецификация оборудования, изделий и материалов
11	ЭПС-ЭОМ.Т2-2026	Кабельный журнал

Критерии правильного выполнения задания

1. **3D-модель** построена и экспортирована в формат IFC.
2. **Чертежи по ГОСТ**:
   - все перечисленные чертежи оформлены;
   - на каждом листе установлена рамка с корректно заполненным штампом;
   - условные графические обозначения соответствуют ГОСТ 21.210;
   - экспликация помещений размещена на плане.

3. **Однолинейные схемы** сформированы для всех указанных щитов, содержат корректные данные.
4. **Табличные документы** (спецификация, кабельный журнал) экспортированы и размещены на соответствующих листах.
5. **Пояснительная записка**:
   - оформлена в соответствии с требованиями постановления № 87 и ГОСТ Р 21.101–2026;
   - содержит все указанные разделы;
   - включает экспортированные из nanoCAD BIM Электро результаты расчетов;
   - по каждому проектному решению и результатам расчетов дано текстовое описание и обоснование;
   - подключена к проекту.
6. **Проект сохранен**, все файлы находятся в папке проекта.

Задание считается **выполненным**, если обучающийся:

- построил 3D-модель и экспортировал ее в IFC;
- оформил полный комплект чертежей в соответствии с заданием и требованиями ГОСТ;
- сформировал однолинейные схемы всех распределительных щитов;
- разместил спецификацию, кабельный журнал и экспликацию на чертежах;
- составил и подключил к проекту пояснительную записку по установленной структуре.

Отсутствие 3D-модели, незаполненный штамп, отсутствие однолинейных схем, отсутствие спецификации или кабельного журнала на чертежах, отсутствие пояснительной записки являются основанием для доработки.

К учебному пособию прилагаются практические материалы в виде готового проекта **Участок по ремонту электрооборудования подвижного состава** в nanoCAD BIM Электро. Скачать материалы можно по ссылке (см. на стр. 7).

Глоссарий

	Стр.
АВДТ (автоматический выключатель дифференциального тока) – устройство, объединяющее в одном корпусе функции автоматического выключателя (защита от перегрузок и коротких замыканий) и УЗО (защита от токов утечки). Также называется дифференциальным автоматом или дифавтоматом.	164
Архитектурная подоснова – базовый комплексный чертеж, фиксирующий ключевые архитектурно-планировочные и объемно-пространственные решения объекта (контуры здания, оси, стены, проемы, отметки уровней), служащий основой для разработки всех последующих разделов проекта.	37
База данных (БД) САПР (проектно-независимая БД, банк данных) – централизованное хранилище условно-постоянной, многократно используемой информации, необходимой для функционирования системы. Включает нормативно-справочную информацию (НСИ): библиотеки стандартных элементов и оборудования, типовые проектные решения, настройки системы, пользовательские стили оформления, а также справочные данные из ГОСТ, СП и каталогов производителей.	48
База данных оборудования – структурированный каталог, содержащий информацию о реальных изделиях различных производителей (электрические параметры, габариты, каталожные номера, стоимость), используемый для выбора оборудования и автоматизации расчетов.	52
База данных проекта (проектно-зависимая БД, рабочая БД) – выделенная часть общей информационной системы (или отдельный файл), содержащая уникальную, динамически изменяемую информацию о конкретном проектируемом объекте. В ней хранятся все данные, созданные в процессе работы: геометрия трехмерной модели и планов, атрибутивные параметры объектов (тип, мощность, производитель), созданные чертежи, спецификации, кабельные журналы и отчеты. Эта информация претерпевает частые изменения на протяжении всего жизненного цикла проекта и не используется в других проектах.	50
База УГО (условно-графических обозначений) – библиотека графических символов (блоков DWG), соответствующих требованиям ГОСТ, используемых для отображения элементов электротехнической системы на планах и схемах.	89
BIM (Building Information Modeling) – технология информационного моделирования зданий и сооружений, представляющая собой управление жизненным циклом объекта на основе единой информационной модели, содержащей геометрические и атрибутивные данные о всех элементах.	9
Времятоковая характеристика автоматического выключателя – зависимость времени срабатывания защитного аппарата от величины протекающего через него тока, определяющая тип защиты (B, C, D, K, Z) и область применения выключателя.	161
ВРУ (вводно-распределительное устройство) – электротехническое устройство, устанавливаемое на вводе в здание или сооружение, предназначенное для приема, распределения, учета и защиты электрической энергии.	106
Выноска – специальное текстовое или графическое обозначение на чертеже, связывающее элемент с его характеристиками (маркой, номером, мощностью) и выносимое за пределы основного изображения для улучшения читаемости.	274

	Стр.
Главная распределительная надпись (штамп) – стандартизированная таблица в правом нижнем углу чертежа, содержащая информацию о проектной организации, объекте, стадии проектирования, обозначении чертежа, подписях и датах.	271
Групповая характеристика – набор коэффициентов (спроса, одновременности, мощности), применяемый при автоматическом расчете нагрузок групп электроприемников в соответствии с выбранной методикой (СП 256 или РТМ 36.18.32.4-92).	32
DIN-рейка – стандартный металлический профиль шириной 35 мм, предназначенный для быстрой установки модульных аппаратов (автоматических выключателей, УЗО, реле, счетчиков) без использования инструмента.	105
ЕСКД (Единая система конструкторской документации) – комплекс государственных стандартов (ГОСТ), устанавливающих единые правила разработки, оформления и обращения конструкторской документации для всех отраслей промышленности.	15
Интеллектуальный объект (в BIM) – цифровой элемент модели, обладающий не только геометрической формой, но и набором атрибутов (свойств): тип, модель, производитель, электрические параметры, стоимость, ссылки на документацию.	9
Кабельная трасса – топологический маршрут (направление) прокладки одного или нескольких кабелей в пространстве объекта, характеризуемый начальной и конечной точкой, длиной, поворотами, подъемами и условиями окружающей среды.	197
Кабеленесущая система (КНС) – совокупность инженерных элементов (лотков, коробов, труб, профилей, кабельных каналов, эстакад и аксессуаров), обеспечивающих физическую прокладку, крепление и защиту кабелей вдоль заданной трассы.	197
Кабельный журнал – табличный документ, содержащий для каждой кабельной линии: номер, марку и сечение кабеля, длину, точки начала и конца, способ прокладки и примечания.	277
Категория надежности электроснабжения – классификация электроприемников по допустимому перерыву электроснабжения (I, II, III категории), определяющая требования к числу источников питания и наличию резервирования.	86
Коллизия – пересечение или наложение элементов разных инженерных систем (электрики, вентиляции, водоснабжения) или с конструкциями здания, выявляемое в 3D-модели.	10
Коммутационный аппарат – устройство, предназначенное для включения и отключения электрических цепей в нормальных и аварийных режимах (автоматические выключатели, рубильники, выключатели нагрузки, контакторы).	158
Коэффициент загрузки трансформатора (β) – отношение фактической нагрузки трансформатора к его номинальной мощности, определяющее степень использования установленной мощности.	152
Коэффициент использования ($K_и$) – отношение средней активной мощности, потребляемой электроприемником за наиболее загруженную смену, к его номинальной мощности.	140
Коэффициент мощности ($\cos \varphi$) – отношение активной мощности к полной мощности в цепи переменного тока, характеризующее эффективность использования электроэнергии.	33
Коэффициент спроса (K_c) – эмпирический коэффициент, учитывающий неодновременность работы, неполную загрузку и неравномерность включения электроприемников, определяемый как отношение расчетной мощности к суммарной номинальной.	33
Ленточный интерфейс – тип пользовательского интерфейса, в котором инструменты сгруппированы на вкладках по функциональному признаку (лента), что обеспечивает быстрый доступ к командам.	25

	Стр.
Мастер подключения оборудования – специализированный инструмент nanoCAD BIM Электро для создания электрических связей между элементами системы в интерактивном режиме.	193
Мастер проверок – диалоговое окно в nanoCAD BIM Электро, в котором собраны все выявленные в проекте несоответствия, сгруппированные по категориям, с возможностью навигации к проблемным элементам.	246
Мастер раскладки кабеля – инструмент для распределения кабелей по доступным объемам (лоткам, коробам, трубам) в кабеленесущей системе с контролем заполняемости и возможностью копирования параметров на другие участки.	256
Менеджер проекта – окно в nanoCAD BIM Электро, обеспечивающее единую точку для создания, открытия, сохранения проектов, управления документацией, формирования спецификаций и экспорта данных.	26
Метод коэффициента использования ($K_и$) – метод расчета общего равномерного освещения, основанный на определении коэффициента использования светового потока в зависимости от индекса помещения, коэффициентов отражения и типа светильника.	66
Метод коэффициента расчетной мощности – основной метод расчета электрических нагрузок для внутрицеховых сетей до 1 кВ, регламентированный РТМ 36.18.32.4-92, учитывающий эффективное число электроприемников, групповой коэффициент использования и постоянную времени нагрева сети.	139
Монтажная панель – сплошной металлический лист с прорезями или резьбовыми отверстиями, предназначенный для установки силовых аппаратов (рубильников, предохранителей, контакторов) на большие токи.	105
Нормоконтроль – обязательная проверка проектной и рабочей документации на соответствие требованиям нормативно-технических документов (ЕСКД, СПДС, ПУЭ, ГОСТ), правильность оформления и комплектности.	22
Нормативно-справочная информация (НСИ) – эталонные, условно-постоянные данные, используемые при проектировании: классификаторы, справочники, типовые решения, каталоги оборудования.	50
Объектное моделирование – подход в BIM-системах, при котором элементами модели являются не геометрические примитивы, а объекты, соответствующие реальным компонентам проекта и обладающие свойствами (атрибутами) и поведением.	9
Однолинейная схема – графическое отображение структуры электрической сети, на котором трехфазная цепь показывается одной линией, с указанием аппаратов защиты, сечений кабелей и расчетных параметров.	103
ПБВ (переключение без возбуждения) – устройство регулирования напряжения трансформатора, позволяющее изменять коэффициент трансформации только при отключенном трансформаторе (обычно ±2×2,5 %).	150
Позиционное обозначение – уникальный буквенно-цифровой код элемента на схеме или плане (например, *QF1*, *KM2*, ЩО-1), соответствующий ГОСТ 2.710.	22
Потеря напряжения (ΔU) – разность между напряжением в начале и в конце линии, вызванная сопротивлением проводников; нормируемый параметр качества электроэнергии (не более 5 % для силовых сетей, 2,5 % для осветительных).	150
Проектная документация (ПД) – комплект текстовых и графических материалов, разрабатываемый для строительства, реконструкции или капитального ремонта объектов капитального строительства, подлежащий экспертизе и служащий основанием для получения разрешения на строительство.	264

	Стр.
Прототип помещения – шаблон с предустановленными значениями параметров (нормируемая освещенность, коэффициенты отражения, разряд зрительных работ), составленный в соответствии с нормативными документами и используемый для автоматизации светотехнического расчета.	69
ПУЭ (Правила устройства электроустановок) – основной нормативный документ, регламентирующий требования к устройству и монтажу электроустановок всех напряжений, включая выбор проводников, аппаратов защиты, способов прокладки, заземления и защитных мероприятий.	16
Рабочая документация (РД) – детальный комплект чертежей и спецификаций, разрабатываемый на основе утвержденной проектной документации для непосредственного выполнения строительно-монтажных работ.	265
Расчетная нагрузка – условное неизменное значение мощности, эквивалентное реальной, изменяющейся во времени нагрузке по наибольшему возможному тепловому воздействию на элемент системы электроснабжения.	138
РПН (регулирование под нагрузкой) – устройство регулирования напряжения трансформатора, позволяющее изменять коэффициент трансформации без отключения нагрузки (широкий диапазон, ±16 %).	150
РТМ 36.18.32.4-92 – отраслевой руководящий технический материал «Указания по расчету электрических нагрузок» (разработан ВНИПИ Тяжпромэлектропроект), регламентирующий метод коэффициента расчетной мощности для промышленных объектов.	139
Селективность (избирательность) защиты – свойство системы защиты, при котором при аварии отключается только поврежденный участок, а остальная электроустановка продолжает работать.	165
Сечение – графическое изображение поперечного разреза кабельной трассы, показывающее расположение кабелей внутри лотка, короба или трубы с указанием марок, сечений и зазоров.	274
Слой (Layer) – инструмент организации чертежа, позволяющий группировать объекты по функциональному назначению, управлять их видимостью, цветом, типом и толщиной линий.	34
СПДС (Система проектной документации для строительства) – комплекс государственных стандартов, устанавливающих правила разработки, оформления, учета и обращения проектной и рабочей документации для строительства.	16
Спецификация оборудования – табличный документ, содержащий перечень всех элементов системы с указанием их количества, марок, технических характеристик и каталожных номеров.	277
Техническое задание (ТЗ) – исходный документ на проектирование, разрабатываемый заказчиком, определяющий цели, задачи, технико-экономические параметры, стадийность и состав проектной документации.	18
Технологическое задание (инструмент nanoCAD) – средство для формирования и редактирования перечня электроприемников (технологического оборудования) с заданием их электрических параметров, режимов работы и категорий надежности.	82
Точечный метод – метод расчета освещенности, основанный на геометрическом суммировании освещенностей от каждого светильника в заданной точке, позволяющий учитывать реальное светораспределение, затенения и рассчитывать горизонтальную освещенность.	67

	Стр.
УЗО (устройство защитного отключения) – электромеханический прибор, предназначенный для защиты человека от поражения электрическим током и предотвращения возгораний при возникновении токов утечки путем сравнения токов в фазном и нулевом проводниках.	163
Условное графическое обозначение (УГО) – стандартизированный графический символ, используемый на чертежах и схемах для обозначения элементов электротехнических систем в соответствии с ГОСТ.	16
Фидер – питающая линия (присоединение) в распределительном устройстве, выполняющая функцию вводного, отходящего, секционного или ввода присоединений.	112
Цифровой двойник (*Digital Twin*) – информационная модель объекта, полностью соответствующая физическому объекту и используемая на этапе эксплуатации для управления, мониторинга и планирования ремонтов.	11
Электроприемник (ЭП) – устройство, аппарат, механизм или установка, предназначенные для преобразования электрической энергии в другой вид энергии (механическую, тепловую, световую) для выполнения полезной работы.	79
Электротехническая модель (ЭТМ) – структурированная база данных в nanoCAD BIM Электро, содержащая полную информацию об электрических связях проекта, параметрах фидеров, характеристиках оборудования и результатах расчетов, позволяющая управлять подключениями, выбирать оборудование и контролировать проверки.	187

Список использованной литературы

1. *Агеев В. А.* Методические указания к выполнению курсового проекта по дисциплине «Электроснабжение предприятий» / В. А. Агеев, В. О. Дронов, С. Н. Автаев, С. Н. Додонов. – 2-е изд., перераб. и доп. – Саранск: МГУ им. Н. П. Огарева, 2014. – 69 с.
2. Алюминиевые и медные провода: что выбрать, чтобы обеспечить пожарную безопасность? [Электронный ресурс] // Портал пожарной и промышленной безопасности. – 2025. – URL: https://portal.edufire37.ru/articles/828 (дата обращения: 24.02.2026).
3. *Амангельдиева У. Г.* Основные и вспомогательные методы учета электрических нагрузок в энергосистеме / У. Г. Амангельдиева, Д. С. Сейитмырадов, Г. М. Гаипова, Д. Ю. Юсупбаев // Вестник науки. – 2024. – Т. 3. – № 11 (80). – С. 101–108.
4. *Анчарова Т. В.* Проблемы проектирования силовой и осветительной сетей / Т. В. Анчарова, О. А. Ионцева, М. В. Скородумова // Промышленная энергетика. – 2016. – № 10. – С. 42–48.
5. Вебинар «Базовые принципы работы в nanoCAD BIM Электро и разбор устранения ошибок в проекте. Часть 2» [Электронный ресурс] // old.nanocad.ru. – 2022. – URL: https://www.old.nanocad.ru/press/news/vebinar-bazovye-printsipy-raboty-v-nanocad-bim-elektro-i-razbor-ustraneniya-oshibok-v-proekte-chast-/ (дата обращения: 24.03.2026).
6. Вебинар «Практические приемы работы в nanoCAD BIM Электро» [Электронный ресурс] // old.nanocad.ru. – 2022. – URL: https://www.old.nanocad.ru/press/news/vebinar-podklyuchenie-obektov-v-nanocad-bim-elektro/ (дата обращения: 04.03.2026).
7. Вебинар «Создание и настройка в nanoCAD BIM Электро многоярусной системы кабельных лотков с разными конфигурациями по ярусам» [Электронный ресурс] // nanoCAD. – 2022. – URL: https://old.nanocad.ru/press/news/vebinar-sozdanie-i-nastroyka-v-nanocad-bim-elektro-mnogoyarusnoy-sistemy-kabelnykh-lotkov-s-raznymi-/ (дата обращения: 01.03.2026).
8. Виды изоляции силовых кабелей [Электронный ресурс] // СтройТехСнабжение. – 2025. – URL: https://sts-kabel.ru/news/vidy_izolyatsii_silovykh_kabeley_/ (дата обращения: 24.02.2026).
9. Виды силовых кабелей [Электронный ресурс] // Glavnayatema. – 2023. – URL: https://glavnayatema.com/?p=118423 (дата обращения: 24.02.2026).
10. Времятоковые характеристики автоматических выключателей. Характеристики автоматов [Электронный ресурс] // Szemp. – URL: https://szemp.ru/raznoe/harakteristiki-avtomatov.html (дата обращения: 24.02.2026).

11. *Горелов В. П.* Электроснабжение транспортных объектов: учеб. пособие: в 2 кн. Кн. 2: Электротранспорт и промышленные предприятия / В. П. Горелов, Г. А. Данилов, Е. Ю. Кислицин [и др.]; под ред. В. П. Горелова. – 2-е изд., стер. – М.; Берлин: Директ Медиа, 2016. – 379 с.
12. *Горелов С. В.* Системы электроснабжения водного транспорта и предприятий: учебник / С. В. Горелов, В. П. Горелов, Е. В. Иванова; под ред. В. П. Горелова. – 2-е изд., стер. – М.; Берлин: Директ Медиа, 2015. – 515 с.
13. ГОСТ 2.305–2008 «Единая система конструкторской документации (ЕСКД). Изображения – виды, разрезы, сечения». – Введ. 2009-07-01. – М.: Стандартинформ, 2009. – 40 с.
14. ГОСТ 2.701–2008 «Единая система конструкторской документации (ЕСКД). Схемы. Виды и типы. Общие требования к выполнению». – Введ. 2010-07-01. – М.: Стандартинформ, 2009. – 25 с.
15. ГОСТ 2.702–2011 «Единая система конструкторской документации (ЕСКД). Правила выполнения электрических схем». – Введ. 2012-01-01. – М.: Стандартинформ, 2011. – 30 с.
16. ГОСТ 2.710–81 «Единая система конструкторской документации (ЕСКД). Обозначения буквенно-цифровые в электрических схемах». – Введ. 1982-07-01. – М.: Издательство стандартов, 1981.
17. ГОСТ 21.210–2014 «Система проектной документации для строительства (СПДС). Условные графические изображения электрооборудования и проводок на планах». – Введ. 2015-07-01. – М.: Стандартинформ, 2015. – 15 с.
18. ГОСТ 21.608–2021 «Система проектной документации для строительства (СПДС). Правила выполнения рабочей документации внутреннего электрического освещения». – Введ. 2022-06-01. – М.: Российский институт стандартизации, 2021. – 35 с.
19. ГОСТ 21.613–2014 «Система проектной документации для строительства (СПДС). Правила выполнения рабочей документации силового электрооборудования». – Введ. 2015-07-01. – М.: Стандартинформ, 2015. – 28 с.
20. ГОСТ 28249–93 (МЭК 909 88) «Короткие замыкания в электроустановках. Методы расчета в электроустановках переменного тока напряжением до 1 кВ». – Введ. 1995-01-01. – М.: Изд-во стандартов, 1994.
21. ГОСТ 29322–2014 (IEC 60038:2009) «Напряжения стандартные». – Введ. 2015-11-01. – М.: Стандартинформ, 2015.
22. ГОСТ 32144–2013 «Электрическая энергия. Совместимость технических средств электромагнитная. Нормы качества электрической энергии в системах электроснабжения общего назначения». – Введ. 2014-07-01. – М.: Стандартинформ, 2014. – 20 с.
23. ГОСТ Р 21.101–2026 «Система проектной документации для строительства (СПДС). Основные требования к проектной и рабочей документации». – Введ. 2026-04-01. – М.: Стандартинформ, 2026. – 70 с.
24. ГОСТ Р 21.1101–2013 «Система проектной документации для строительства (СПДС). Основные требования к проектной и рабочей документации». – Введ. 2014-06-01. – М.: Стандартинформ, 2014. – 70 с.

25. ГОСТ Р 21.622–2023 «Система проектной документации для строительства (СПДС). Правила выполнения проектной документации по системам внутренних электроустановок, сетям электроснабжения и наружного электроосвещения». – Введ. 2024-01-01. – М.: Российский институт стандартизации, 2023. – 35 с.
26. ГОСТ Р 50571.5.52–2011 «Электроустановки низковольтные. Часть 5-52. Выбор и монтаж электрооборудования. Электропроводки». – Введ. 2012-01-01. – М.: Стандартинформ, 2012. – 60 с.
27. ГОСТ Р 50571.5.53–2013 / МЭК 60364 5 53:2001 «Электроустановки низковольтные. Часть 5-53. Выбор и монтаж электрооборудования». – Введ. 2014-07-01. – М.: Стандартинформ, 2014.
28. ГОСТ Р 52735–2007 «Короткие замыкания в электроустановках. Методы расчета в электроустановках переменного тока напряжением до 1 кВ». – Введ. 2008-07-01. – М.: Стандартинформ, 2007. – 28 с.
29. ГОСТ Р 57306 2016 / ISO 29481 1:2010 «Моделирование информационное зданий. Руководство по обмену данными. Часть 1: Методология и формат». – Введ. 2017-07-01. – М.: Стандартинформ, 2016.
30. Градостроительный кодекс Российской Федерации от 29.12.2004 № 190 ФЗ (ред. от 25.12.2025). – М., 2004. – Ст. 48 «Архитектурно-строительное проектирование» (п. 2).
31. Исследование методов расчета электрических нагрузок цеховых систем промышленного электроснабжения [Электронный ресурс] // ЭЛЕКТРОЭНЕРГИЯ. Передача и распределение. – 2018. – URL: https://infourok.ru (дата обращения: 22.02.2026).
32. Как рассчитать мощность трансформатора по нагрузке [Электронный ресурс] // ЭТК Электронмаш трансформаторы UNITRAFO®. – 2024. – URL: https://elektron-mash.ru/kak-rasschitat-moshhnost-transformatora-po-nagruzke/ (дата обращения: 22.02.2026).
33. Кабеленесущие системы – что это такое, виды, назначение и советы по выбору [Электронный ресурс] // Elec.ru. – 2025. – URL: https://www.elec.ru/publications/promyshlennoe-oborudovanie/9523/ (дата обращения: 01.03.2026).
34. *Карпасов А. С.* BIM-технологии в проектировании и строительстве инфраструктурных объектов энергетики / А. С. Карпасов, Д. В. Петров // Электроэнергетика глазами молодежи: сб. тр. междунар. науч.-техн. конф. – 2022. – С. 45–49.
35. *Куприенко В. В.* Аппроксимация упорядоченных диаграмм в методе расчета электрических нагрузок / В. В. Куприенко // Электротехнические системы и комплексы. – 2018. – № 1 (38). – С. 46–51.
36. *Курков О.* Лайфхаки nanoCAD. Часть 3: BIM Электро [Электронный ресурс] / О. Курков // ГК «Инфарс». – 2022. – URL: https://infars.ru/blog/layfkhaki-nanocad_-chast-3_-bim-elektro/ (дата обращения: 04.03.2026).
37. Курский электроаппаратный завод. Дифференциальный автомат: принцип работы, как выбрать, устройство, назначение [Электронный ресурс] // КЭАЗ. – 2025. – URL: https://keaz.ru/company/press-center/blog/2025/2904-

differencialniy-avtomat-princip-raboti-kak-vibrat-ustroystvo-naznachenie (дата обращения: 24.02.2026).

38. Курский электроаппаратный завод. Селективность автоматических выключателей: теория и практика [Электронный ресурс] // КЭАЗ. – 2016. – URL: https://keaz.ru/company/press-center/blog/2016/1079-selektivnost-avtomaticheskih-vikluchateley-teoriya-i-praktika (дата обращения: 24.02.2026).
39. Методические рекомендации по применению технологий информационного моделирования в сфере проектирования и строительства (утв. приказом Минстроя России от 29.12.2021 № 1024/пр) [Электронный ресурс]. – URL: http://www.minstroyrf.ru (дата обращения: 17.12.2025).
40. nanoCAD BIM Электро. Руководство пользователя [Электронный ресурс] // ООО «Нанософт разработка». – URL: https://nanocad.ru/support/ (дата обращения: 21.04.2026).
41. nanoCAD СПДС. Руководство пользователя [Электронный ресурс] // ООО «Нанософт разработка». – URL: https://nanocad.ru/support/ (дата обращения: 29.03.2026).
42. nanoCAD Электро: прокладка кабеля в существующих трассах [Электронный ресурс] // Компания БилдСофт. – URL: https://buildsoft.ru/articles/nanoCAD/nanocad-elektro-prokladka-kabelya-v-sushchestvuyushchikh-trassakh-/ (дата обращения: 01.03.2026).
43. *Норенков И. П.* Введение в системы автоматизированного проектирования: учеб. пособие / И. П. Норенков, П. К. Кузьмин, В. В. Маничев. – М.: Изд-во МГТУ им. Н. Э. Баумана, 2020. – 320 с.
44. *Норенков И. П.* Основы автоматизированного проектирования: учеб. для вузов / И. П. Норенков. – 4 е изд., перераб. и доп. – М.: Изд-во МГТУ им. Н. Э. Баумана, 2017. – 430 с.
45. Особенности выбора и монтаж кабельных трасс [Электронный ресурс] // Старооскольский Завод Электромонтажных Изделий. – URL: https://soemi.ru/info/articles/osobennosti-vybora-i-montazh-kabelnykh-trass/ (дата обращения: 01.03.2026).
46. Официальный портал компании «Нанософт разработка»: документация по nanoCAD и nanoCAD BIM Электро [Электронный ресурс]. – URL: https://nanocad.ru/support/ (дата обращения: 21.04.2026).
47. *Петров Д. А.* Сравнительный анализ возможностей современных САПР для проектирования систем электроснабжения / Д. А. Петров // Научно-технический вестник информационных технологий, механики и оптики. – 2021. – Т. 21. – № 3. – С. 456–463.
48. Постановление Правительства РФ от 16.02.2008 № 87 (ред. от 21.10.2025) «О составе разделов проектной документации и требованиях к их содержанию». – М., 2008. – 45 с.
49. Правила устройства электроустановок (ПУЭ). – 7-е изд. – М.: Издательство НЦ ЭНАС, 2016. – 704 с. (Актуализированная редакция).
50. Приказ Министерства энергетики РФ от 12.08.2022 № 811 «Об утверждении Правил технической эксплуатации электроустановок потребителей

электрической энергии». – Зарегистрировано в Минюсте РФ 07.10.2022 № 70433. – М., 2022.

51. Рекомендации по содержанию и объему проектной документации электротехнического раздела на стадии Проект / ВНИПИ Тяжпромэлектропроект им. Ф. Б. Якубовского. – М., 1994. – 50 с.
52. РТМ 36.18.32.4-92 «Указания по расчету электрических нагрузок». – М.: ВНИПИ Тяжпромэлектропроект, 1992.
53. *Сибикин Ю. Д.* Монтаж, эксплуатация и ремонт электрооборудования промышленных предприятий и установок: учебник / Ю. Д. Сибикин, М. Ю. Сибикин. – 4 е изд., перераб. и доп. – М.: Академия, 2020. – 592 с.
54. *Сивков А. А.* Основы электроснабжения: учеб. пособие для вузов / А. А. Сивков, А. С. Сайгаш, Д. Ю. Герасимов. – 2-е изд., испр. и доп. – М.: Юрайт, 2024. – 173 с.
55. СП 12.13130.2009 «Определение категорий помещений, зданий и наружных установок по взрывопожарной и пожарной опасности (с изменением № 1)». – Введ. 2009-05-01. – М.: МЧС России, 2009.
56. СП 52.13330.2016 «Естественное и искусственное освещение. Актуализированная редакция СНиП 23-05-95*». – Введ. 2017-05-08. – М.: Стандартинформ, 2017. – 98 с.
57. СП 256.1325800.2016 «Электроустановки жилых и общественных зданий. Правила проектирования и монтажа». – Введ. 2017-05-21. – М.: Минстрой России, 2016. – 84 с.
58. СП 333.1325800.2019 «Информационное моделирование в строительстве. Правила формирования информационной модели объектов на различных стадиях жизненного цикла». – Введ. 2020-06-01. – М.: Минстрой России, 2019. – 35 с.
59. Systeme Electric. Селективность защит: как обеспечить надежность электроснабжения без лишних затрат [Электронный ресурс] // Systeme Electric. – 2025. – URL: https://systeme.ru/news/selektivnost-zashchit-kak-obespechit-nadezhnost-elektrosnabzheniya-bez-lishnikh-zatrat (дата обращения: 24.02.2026).
60. *Талапов В. В.* Основы BIM: введение в информационное моделирование зданий / В. В. Талапов. – М.: ДМК Пресс, 2021. – 404 с.
61. Федеральный закон от 22.07.2008 № 123 ФЗ «Технический регламент о требованиях пожарной безопасности». – [Электронный ресурс]. – URL: http://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_78699/ (дата обращения: 29.03.2026).
62. Характеристики автоматических выключателей: A, B, C, D, K и Z: их отличия и условия применения [Электронный ресурс] // Elec.ru. – 2024. – URL: https://www.elec.ru/publications/promyshlennoe-oborudovanie/8267/ (дата обращения: 24.02.2026).
63. Циркуляр № Ц 02 98(Э) «Расчет кабелей на невозгорание». – М.: Минтопэнерго РФ, 1998.

64. Что представляют из себя кабеленесущие системы? [Электронный ресурс] // DKC. – 2023. – URL: https://www.dkc.ru/ru/about/publications/1624223/ (дата обращения: 01.03.2026).

65. EKF. Выбор коммутационных аппаратов [Электронный ресурс] // EKF. – 2024. – URL: https://ekfgroup.com/ru/blog/vybor-kommutacionnyh-apparatov (дата обращения: 24.02.2026).

66. Eastman C. BIM Handbook: A Guide to Building Information Modeling for Owners, Designers, Engineers, Contractors, and Facility Managers / C. Eastman, P. Teicholz, R. Sacks, K. Liston. – 3rd ed. – Hoboken: John Wiley & Sons, 2018. – 688 p.

67. Papaika Yu. A. Methodology for selecting the rated parameters of power transformers in the town's electrical distribution networks in settlements / Yu. A. Papaika, I. M. Lutsenko, Ie. V. Koshelenko, P. S. Tsyhan // Electrical Engineering and Power Engineering. – 2021. – № 2. – P. 33–43.

68. Sokolov V. Digital Transformation in Power System Design: From CAD to BIM and Digital Twin / V. Sokolov, A. Ivanov // IEEE Transactions on Power Systems. – 2023. – Vol. 38.– No. 1. – P. 789–800.

Заключение

В результате разработки учебного пособия создан структурированный, методически обоснованный материал, соответствующий требованиям, предъявляемым к учебным изданиям для высших учебных заведений.

Пособие охватывает полный цикл проектирования системы электроснабжения транспортного предприятия (депо, автотранспортного предприятия, ремонтной мастерской) с использованием современных BIM-технологий в среде отечественной САПР nanoCAD BIM Электро 25.0. Материал изложен в логической последовательности, отражающей реальный процесс проектирования: от создания и настройки проекта, подключения архитектурной подосновы, моделирования помещений и этажей до выбора оборудования, выполнения электротехнических расчетов, проверки модели, устранения ошибок и выпуска документации в соответствии с ГОСТ.

В ходе разработки пособия решены следующие задачи:

1. Систематизированы теоретические основы автоматизированного проектирования, классификации САПР и нормативной базы (ЕСКД, СПДС, ПУЭ, РТМ 36.18.32.4-92, СП 256.1325800.2016, ГОСТ Р 21.101–2026 и др.), что позволяет обучающимся понимать место и роль BIM-технологий в современной проектной практике.
2. Детально рассмотрены практические приемы работы в nanoCAD BIM Электро: интерфейс, менеджер проекта, настройка параметров, работа со слоями, создание планов, подключение архитектурной подосновы, формирование этажей и помещений, настройка баз данных оборудования.
3. Представлены методики расчетов, включая расчет освещения, электрических нагрузок, токов короткого замыкания, потерь напряжения, токов утечки, а также проверку чувствительности и селективности защиты.
4. Описаны процессы моделирования всех элементов системы электроснабжения: светильников, выключателей, розеток, силового технологического оборудования, распределительных щитов, кабельных трасс и кабеленесущих систем.
5. Предложен порядок выбора оборудования (трансформаторов, автоматических выключателей, УЗО, АВДТ, кабелей) с учетом особенностей эксплуатации транспортных предприятий.
6. Рассмотрены инструменты верификации проекта, приведены конкретные примеры типичных ошибок, возникающих при проектировании, и способы их исправления в nanoCAD BIM Электро.
7. Описаны приемы оформления проектной документации.
8. Сформулированы контрольные вопросы к каждому параграфу, что обеспечивает возможность самопроверки и контроля усвоения материала.

9. Разработаны сквозные практические задания (№ 1–6), охватывающие все этапы проектирования – от создания проекта до выпуска комплекта рабочей документации, с четкими критериями выполнения.

Учебное пособие ориентировано на студентов высших учебных заведений, а также на инженеров-проектировщиков, повышающих квалификацию в области BIM-проектирования систем электроснабжения.

Материал пособия может быть использован для аудиторных занятий под руководством преподавателя, для самостоятельной работы студентов, а также при выполнении курсовых и выпускных квалификационных работ. Все рекомендации основаны на актуальных нормативных документах и проверены в среде nanoCAD BIM Электро.

В результате изучения пособия обучающийся сможет самостоятельно разработать рабочий проект внутреннего электроснабжения промышленного или транспортного предприятия, выполнить необходимые расчеты, проверить модель на соответствие нормативным требованиям и оформить документацию в соответствии с ГОСТ. Полученные компетенции соответствуют современным требованиям рынка труда и способствуют повышению качества и надежности проектируемых систем электроснабжения.

Автор выражает уверенность, что данное пособие станет надежным инструментом для подготовки квалифицированных инженерных кадров и внесет вклад в развитие BIM-технологий в отечественной практике проектирования систем электроснабжения транспортных предприятий.

Просим уделить пару минут вашего времени и оставить отзыв об учебнике.

https://clck.ru/3UatVP



Олег Николаевич Козменков

Проектирование и расчет систем электроснабжения 0,4 кВ предприятий транспорта в nanoCAD BIM Электро

Учебное пособие из серии
«Академическая библиотека Нанософт»

Главный редактор *Яценков В. С.*
dmkpress@gmail.com
Технический консультант *Шкляревский Н. В.*
Корректор *Синяева Г. И.*
Верстка *Луценко С. В.*

Формат 70×100 1/16.
Гарнитура PT Serif. Печать офсетная.
Усл. печ. л. 26,33. Тираж 500 экз.

Веб-сайт издательства: www.dmkpress.com

Олег Николаевич Козменков

Кандидат технических наук, преподаватель в Приволжском государственном университете путей сообщения. Автор 78 научных публикаций, из них 1 учебно-методического пособия, 9 учебных практикумов, 44 научных статьей и тезисов докладов, 5 свидетельств на регистрацию программных продуктов, 5 патентов на полезную модель, 1 патента на изобретение и иных объектов интеллектуальной собственности, используемых в образовательном процессе, в том числе 1 статьи Scopus.

Проектирование и расчет систем электроснабжения 0,4 кВ предприятий транспорта. nanoCAD BIM Электро

В пособии анализируются особенности проектирования систем электроснабжения 0,4 кВ для предприятий транспорта. Основное внимание уделено практическому освоению BIM-технологий на примере отечественной САПР nanoCAD BIM Электро 25.0. В нем последовательно от общих принципов до конкретных приемов работы рассмотрены все этапы создания информационной модели системы электроснабжения промышленного и транспортного объекта: от настройки проекта и подключения архитектурной подосновы до выбора оборудования, прокладки кабельных трасс, выполнения проверочных расчетов и выпуска проектной документации по ГОСТ.

Учебное пособие рекомендовано для использования в образовательном процессе при реализации программ, связанных с проектированием и эксплуатацией систем электроснабжения объектов транспортной инфраструктуры.

Учебники по работе в nanoCAD в электронном формате

ДМК ПРЕСС издательство

nanoCAD ИНЖЕНЕРНАЯ ПЛАТФОРМА

ISBN 978-5-93700-487-1

9 785937 004871