




ЭНЕРГЕТИКА, АВТОМАТИЗАЦИЯ И ЭНЕРГОЭФФЕКТИВНОСТЬ

Научная статья

<https://doi.org/10.17073/2500-0632-2025-09-461>

УДК 622:621.311

**Интеграция цифровых технологий в процесс проектирования систем электроснабжения горнопромышленных предприятий**В.Л. Петров¹  , Е.К. Бурматова², А.В. Пичуев¹   ¹ Университет науки и технологий МИСИС, г. Москва, Российская Федерация² ООО «Промстрой Инжиниринг», г. Москва, Российская Федерация allexstone@mail.ru**Аннотация**

Исследование направлено на разработку интегрированного программного решения для автоматизации проектирования систем электроснабжения (СЭС) промышленных предприятий. Актуальность работы обусловлена наличием системных проблем в существующих программных комплексах, таких как: фрагментированность процессов проектирования, необходимость многократного ручного переноса данных между различными платформами, зависимость от оборудования конкретных производителей и отсутствие универсальных решений для подбора компонентов. В ходе исследования выполнен комплексный анализ современных подходов к проектированию СЭС, разработаны новые методики автоматизации, созданы алгоритмы расчета электрических нагрузок и подбора оборудования. Методологическую основу составили положения нормативных документов и принципы модульной архитектуры, реализованные на языке C# с обеспечением интеграции с BIM-платформами (*nanoCAD*) и табличными процессорами (*Excel*). Ключевым результатом стало создание цифрового программного обеспечения, автоматизирующего сбор исходных данных из BIM-моделей, расчет электрических нагрузок, токов короткого замыкания и подбор элементов СЭС. Практическая апробация на проекте электроснабжения золотоизвлекающей фабрики «Кумроч» продемонстрировала сокращение ручных операций до 80 %, повышение точности расчетов и обеспечение независимости от производителей оборудования. Разработанное программное решение эффективно устраняет основные недостатки существующих аналогов, обеспечивая сквозной автоматизированный процесс проектирования, что позволяет существенно повысить производительность, качество и гибкость проектных работ в контексте реализации стратегии цифровизации энергетики.

Ключевые слова


горнопромышленные предприятия, цифровые технологии, электротехнические системы, системы электроснабжения, проектирование, цифровизация, программное обеспечение, цифровая трансформация, автоматизация проектирования

Для цитирования

Petrov V. L., Burmatova E. K., Pichuev A. V. Integration of digital technologies into the design process of power supply systems for mining enterprises. *Mining Science and Technology (Russia)*. 2025;10(4):393–403. <https://doi.org/10.17073/2500-0632-2025-09-461>

POWER ENGINEERING, AUTOMATION, AND ENERGY PERFORMANCE

Research paper

Integration of digital technologies into the design process of power supply systems for mining enterprisesV. L. Petrov¹  , E. K. Burmatova², A. V. Pichuev¹   ¹ University of Science and Technology MISIS, Moscow Russian Federation² Promstroy Engineering LLC, Moscow, Russian Federation allexstone@mail.ru**Abstract**

The study focuses on the development of an integrated software solution for the automation of power supply system (PSS) design for industrial enterprises. The relevance of this work arises from systemic issues observed in existing software packages, such as fragmented design processes, the need for repeated manual data transfer between different platforms, dependence on specific manufacturers' equipment, and the



lack of universal component selection tools. The research included a comprehensive analysis of current approaches to PSS design, the development of new automation methods, and the creation of algorithms for calculating electrical loads and selecting equipment. The methodological framework was based on regulatory standards and the principles of modular architecture, implemented in C# with integration into BIM platforms (*nanoCAD*) and spreadsheet processors (*Excel*). The key result is the creation of digital software that automates data collection from BIM models, calculation of electrical loads and short-circuit currents, and selection of PSS components. Practical testing on the power supply project of the Kumroch gold processing plant demonstrated an 80% reduction in manual operations, improved calculation accuracy, and independence from specific equipment manufacturers. The developed software solution effectively eliminates the main shortcomings of existing analogues by providing an end-to-end automated design process, which significantly enhances the efficiency, accuracy, and flexibility of design activities in the context of power sector digitalization.

Keywords

mining enterprises, digital technologies, electrical systems, power supply systems, design, digitalization, software, digital transformation, design automation

For citation

Petrov V. L., Burmatova E. K., Pichuev A. V. Integration of digital technologies into the design process of power supply systems for mining enterprises. *Mining Science and Technology (Russia)*. 2025;10(4):393–403. <https://doi.org/10.17073/2500-0632-2025-09-461>

Введение

Электротехнические комплексы горнопромышленных предприятий должны отвечать особым требованиям, которые обусловлены не только необходимостью обеспечения эффективности и безопасности, но и сложностью технологических процессов добычи и переработки минерального сырья [1]. К числу таких ключевых требований относятся надежность, устойчивость, безопасность, качество электроэнергии, экономичность, удобство эксплуатации и гибкость с возможностью модернизации. Однако разработка систем электроснабжения (СЭС), удовлетворяющих этим критериям, сопряжена с решением комплекса уникальных задач, не имеющих универсальных решений. Это связано с совокупностью факторов, включающих многообразие геотехнологий, вариативность технологических цепочек, а также геологическую и географическую уникальность месторождений, что в целом исключает возможность создания инвариантных подходов [2–4]. Поэтому формализация новых методик проектирования, адаптирующихся к специфике конкретного объекта и интегрирующих современные цифровые инструменты, представляется актуальной научно-практической задачей.

Современные цифровые технологии проектирования систем электроснабжения объектов промышленности представляют собой комплекс специализированных программ (СП) в составе программного обеспечения (ПО), которые используют компьютерные методы для создания, изменения, анализа и оптимизации проектных решений. Тем самым обеспечивается разработка более точных моделей СЭС, улучшается взаимодействие между участниками процесса проектирования и реализуется возможность визуализации проектов.

Для цифровых технологий проектирования используют специализированные программы: *BIM*-системы (*Revit*, *nanoCAD BIM*, *ArchiCAD*); системы автоматизированного проектирования (*AutoCAD*,

nanoCAD, *SketchUp*); инструменты визуализации (*Lumion*, *V-Ray*) и т.д.¹.

В целях выявления ключевых особенностей процесса ведения проектирования электроснабжения промышленных предприятий, его сильных и слабых сторон, обоснования актуальности данной темы и определения степени ее проработки был проведен анализ современных исследований [5–7], отражающих основные подходы к автоматизации инженерных расчетов в области проектирования электроснабжения [7–9]:

- релевантность тематики проекта (расчет нагрузок, подбор оборудования, САПР) [7];
- практическая направленность (используемые инструменты, архитектура, языки программирования) [8–10];
- нормативная база (соответствие ГОСТ, ПУЭ и СП);
- ориентация на актуальные технологии (*BIM*, интеграция с *Excel*, *nanoCAD*) [11–13].

Проанализированные материалы охватывают широкий спектр решений – от узкоспециализированных расчетных программ для сетей напряжением 6–10 кВ до *BIM*-интегрированных платформ общего проектирования. Большинство из них направлены на повышение точности и скорости инженерных расчетов за счет автоматизации и формализации методик, регламентированных нормативными документами [14–16].

Основные направления развития в области цифровизации, совершенствования и практической реализации ПО на основе интеграции цифровых технологий в процесс проектирования электротехнических систем промышленных предприятий включают в себя следующие позиции [17–19]:

1. Автоматизация расчетов электрических нагрузок и токов короткого замыкания. Это базовый функ-

¹ Проект электрики: цифровые технологии и их роль в современном строительстве. Energy-systems; Российские BIM-технологии: проектирование систем электроснабжения в Model Studio CS. Хабр. URL: <https://habr.com/ru/companies/nanosoft/articles/581434/>



ционал почти всех рассматриваемых систем. Во многих случаях реализован в средах, поддерживающих простую интеграцию с *Excel* или другими табличными форматами² [18, 19].

2. Подбор оборудования (кабелей, автоматов, трансформаторов). Подходы варьируются: от ручного подбора по табличным данным до полуавтоматических модулей, завязанных на продукцию конкретных производителей. Универсальных и независимых решений – крайне мало.

3. Разработка интерфейсов и обеспечение совместимости. Значительное внимание уделяется взаимодействию с альтернативными средами, в особенности – с *nanoCAD*. Некоторые проекты реализуют интеграцию через *Excel* (как универсальный формат), другие – через *API BIM*-платформы. Простота и доступность интерфейса – важнейшие факторы практического применения.

4. Способность представления систем в модульной архитектуре и возможность их масштабируемости. Наиболее продвинутые решения строятся по принципу расширяемых модулей, что позволяет поэтапно внедрять новые функции и адаптироваться под задачи заказчика.

5. Разработка нового программного обеспечения с учетом развития языков программирования. Встречаются как устаревшие среды (например, C++ в связке с *Access*), так и современные подходы на C#. Налицо разрыв между академическими разработками и рыночными решениями: первые часто тяжеловесны и неудобны для внедрения, вторые – закрытые и монобрендовые.

Исследования демонстрируют устойчивый интерес к автоматизации процессов проектирования, однако в большинстве решений прослеживается ряд ограничений:

- зависимость от производителя. Многие разработки ориентированы на использование оборудования конкретных брендов (*Schneider*, *SIEMENS*, *ABB* и др.), что ограничивает их применение в проектных организациях, где применяются компоненты от разных поставщиков;

- сложность или избыточность интерфейса. Некоторые продукты, такие как *Eplan*, обладают чрезмерно сложной архитектурой, требующей обучения, в то время как основная потребность – быстрое выполнение типовых расчётов без глубокой адаптации;

- отсутствие независимого модуля подбора оборудования. Во многих случаях подбор кабелей и аппаратов осуществляется вручную или полуавтоматически с применением ограниченных баз данных. В проекте, разрабатываемом в рамках стартапа, планируется реализовать автоматизированный подбор по обобщённым характеристикам, что повышает гибкость и точность расчётов;

- слабая адаптация под *BIM*-среду. Несмотря на актуальность различных софтов для *BIM*-моделирова-

ния в инженерной практике лишь малая часть решений поддерживает интеграцию с этими платформами напрямую. Проект, в рамках которого проводится НИР, предлагает экспорт данных в *Excel*, полученных из *nanoCAD*, что существенно упрощает связку расчётов с моделями;

- ограниченное распространение открытых решений. Академические разработки часто не доводятся до рабочего прототипа, не сопровождаются документацией и не масштабируются.

На данный момент в существующем комплексе проектирования СЭС промышленных и горнопромышленных предприятий несмотря на современный уровень развития технологий остаются процессы, требующие продолжительной, монотонной работы человека. В основном причина этой проблемы – необходимость вручную переносить одни и те же данные между различными ПО, а зачастую не по одному разу, т.к. проектирование неразрывно связано с внесением множества изменений, созданием нескольких итераций и т.д. Такие этапы в процессе проектирования не только усложняют работу человека, требуют высоких трудозатрат и большого количества времени, но и ввиду своей монотонности и часто больших объемов приводят к огромному числу ошибок при многократном переносе данных.

Большая часть существующих ПО выпущена производителями электротехнического оборудования, что лишает расчеты объективности и привязывает пользователя к бренду. При этом, как правило, компании-заказчики имеют свои бренд-листы и требуют использования в проектах оборудования и материалов определенных производителей.

Программы-аналоги часто имеют сложную структуру, непонятный интуитивно интерфейс, требуют неоправданного вложения сил и времени для ознакомления с ними.

Цифровизация открывает широкий спектр в реализации инновационных решений и оптимизации непосредственно процесса проектирования, что позволяет добиться более точных расчётов, уменьшить количество ошибок и улучшить эффективность проектов. Это особенно важно в условиях, когда скорость строительства и экономия ресурсов играют ключевую роль.

Цифровые технологии в проектировании СЭС не только улучшают качество работ, но и существенно влияют на общие бюджеты проектов. Применение автоматизированных систем и программ сокращает временные издержки на разработку проекта до 30 %.

Кроме того, снижение количества ошибок и переделок благодаря более точным расчётам и моделированию снижает риск дополнительных затрат. Это оставляет гораздо больше простора для манёвра в пределах установленного бюджета и может использоваться для внедрения ещё более эффективных технологических решений.

Перспективным направлением в области внедрения цифровых технологий в процесс проектирования СЭС промышленных предприятий является сочетание искусственного интеллекта и больших данных, кото-

² Руководящий технический материал «Указания по расчету электрических нагрузок» от 30.07.1992 № РТМ 36.18.32.4–92. ВНИПИ ТЯЖПРОМЭЛЕКТРОПРОЕКТ; 1992.

Областью применения продукта являются горно-промышленные компании на этапе разработки или технического перевооружения. Потенциальные потребители – проектные организации, занимающиеся проектированием СЭС предприятий горнопромышленного комплекса.

На этапе 1 технические характеристики используются для расчета нагрузок. Расчет осуществляется на базе *Microsoft Excel* по методу коэффициента максимума и использования номинальной мощности. Хотя использование ПО позволяет автоматизировать расчет, все же необходимо участие человека: вручную производится, во-первых, распределение потребителей по распределительным щитам; во-вторых, подбор коэффициента расчетной нагрузки (коэффициента максимума) по коэффициенту использования и эффективному числу электроприемников из таблицы.

3. Реализация на языке С# интегрированного программного комплекса, обеспечивающего автоматизацию расчетов, подбор оборудования и двусторон-

На этапе 2 с использованием исходных данных потребители вручную добавляются в трехмерную модель производственного комплекса на базе *BIM*-платформы. Затем в модели вручную для каждого электроприемника назначается источник. Траектории кабельных трасс создаются также автоматически, поэтому в некоторых случаях требуют корректировки человеком.

На этапе 3 подготавливаются планы расположения электрооборудования. Это происходит полуавтоматически: человек настраивает текущие диапазоны для отображения каждой части производственного комплекса на отдельном плане.

На этапе 4 исходные данные используются для создания полной принципиальной однолинейной схемы электроснабжения. Схема вручную составляется из отдельных блоков (электроприемников, кабельных линий, секций шин, коммутационных аппаратов и т.д.), записываются технические характеристики приемников, а также длины кабелей, рассчитанные на этапе 2, а коэффициенты подбираются таким образом, чтобы привести расчетные значения в соответствие с расчетом нагрузок, выполненным на этапе 1.

На этапе 5 собираются однолинейные принципиальные схемы для каждого распределительного щита. Длины кабелей от щита до приемника вставляются в схемы автоматически на основе расположения электрооборудования в модели. Также программа осуществляет подбор сечения кабеля и номинального тока автоматических выключателей. К сожалению, многие ПО не отображают для пользователя расчет токов КЗ, из-за чего приходится прибегать либо к иным программам для подбора кабеля и коммутационной аппаратуры, либо выполнять его вручную. В рассматриваемой схеме это происходит на этапе 4. В схемах в ручном режиме прописываются корректные параметры аппаратов, сечения кабелей; для щита добавляются параметры, рассчитанные на этапе 1: значения расчетных активной, реактивной, полной мощностей, расчетного тока, коэффициента мощности, коэффициента использования.

На этапе 6 с помощью встроенных функций *BIM*-платформы подготавливается спецификация изделий и материалов.

На этапе 7 составляется кабельный журнал с помощью *BIM*-платформы.

Таким образом, существующая схема проектирования требует многократного повторения одинаковых монотонных действий по переносу информации из одного ПО в другое и приведению ее в соответствие между ними. Это не только усложняет труд, но и приводит к многочисленным ошибкам, допущенным вследствие неизбежного влияния человеческого фактора.

Очевидно, что организация процесса требует оптимизации. По результатам проведенного анализа можно сделать вывод, что одним из наиболее целесообразных вариантов упрощения процесса будет совмещение этапов 1 и 4 с помощью сторонней программы. Структурная схема процесса проектирования в таком случае примет вид, показанный на рис. 2.

Ключевые изменения:

- исключены этапы 1 и 4 исходной схемы за счет их автоматизации;
- данные передаются между *Excel* и ПО *BIM*-моделирования без ручного вмешательства;
- расчет токов КЗ и подбор оборудования интегрированы в единый алгоритм.

Такое преобразование значительно сократит объем работ, требующих участия человека, упростит процесс проектирования, снизит вероятность появления ошибки при передаче больших объемов данных.

Рассмотрим подробнее технологический процесс, осуществляемый в ПО (рис. 3).

Блок-схема отражает структуру программы для автоматизации расчета электрических нагрузок и подбора оборудования в соответствии с нормативными требованиями. Она объединяет этапы ввода данных, расчета параметров, выбора аппаратуры и формирования отчетности, что соответствует целям НИР: минимизация ручного труда, повышение точности и интеграция с существующими инструментами.

Вводные данные для программы – таблица в формате *Excel*-файла, содержащая данные об электрических параметрах потребителей, источнике питания, длине питающего кабеля, которая автоматически собирается по данным, занесенным в ПО *BIM*-моделирования.

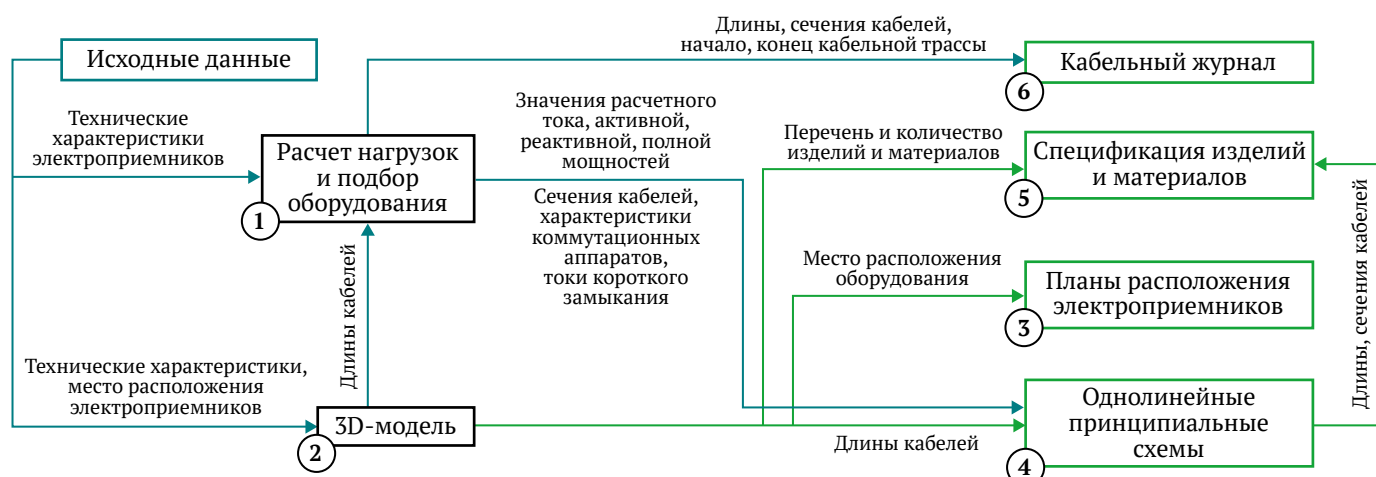


Рис. 2. Структурная схема оптимизированного комплекса проектирования электротехнической части



Далее активируется модуль расчета электрических нагрузок. В нем выполняется расчет по методике, соответствующей нормативу РТМ 36.18.32.4-92, с учетом классификации потребителей (группы электроприемников, РУНН и щиты), расчетных коэффициентов, типов мощностей (активной, реактивной, полной) и токов. На этом же этапе осуществляются расчет мощности компенсирующих устройств и выбор мощности трансформаторов.

Следующий модуль системы отвечает за подбор коммутационной аппаратуры. На основе расчетных данных и токов короткого замыкания (КЗ) программа определяет сечения кабелей по таблицам ПУЭ и производит выбор номинальных параметров защитных устройств. Все расчеты проходят встроенную проверку на соответствие заданным параметрам, после чего формируются выходные данные.

Выходные данные в формате *Excel*-файла: расчет электрических нагрузок по форме Ф636-92; кабельный журнал по ГОСТ 21.613-2014; потребность

кабелей и проводов по ГОСТ 21.613-2014; перечень необходимого электротехнического оборудования с подобранными характеристиками.

Выбор языка программирования C# обусловлен его широкими возможностями для реализации инженерного ПО: развитой поддержкой работы с табличными данными (в частности, *Excel*), удобными средствами построения пользовательских интерфейсов и интеграцией с платформой Windows, являющейся стандартом в инженерной среде. C# обеспечивает надёжность расчётов за счёт строгой типизации и контроля ошибок на этапе компиляции, а также позволяет создавать масштабируемую архитектуру с модульной структурой, необходимую для дальнейшего расширения функционала. Это делает его оптимальным инструментом для разработки цифрового программного обеспечения (ЦПО), предназначенного для автоматизации расчётов и подбора оборудования в проектировании систем электроснабжения.

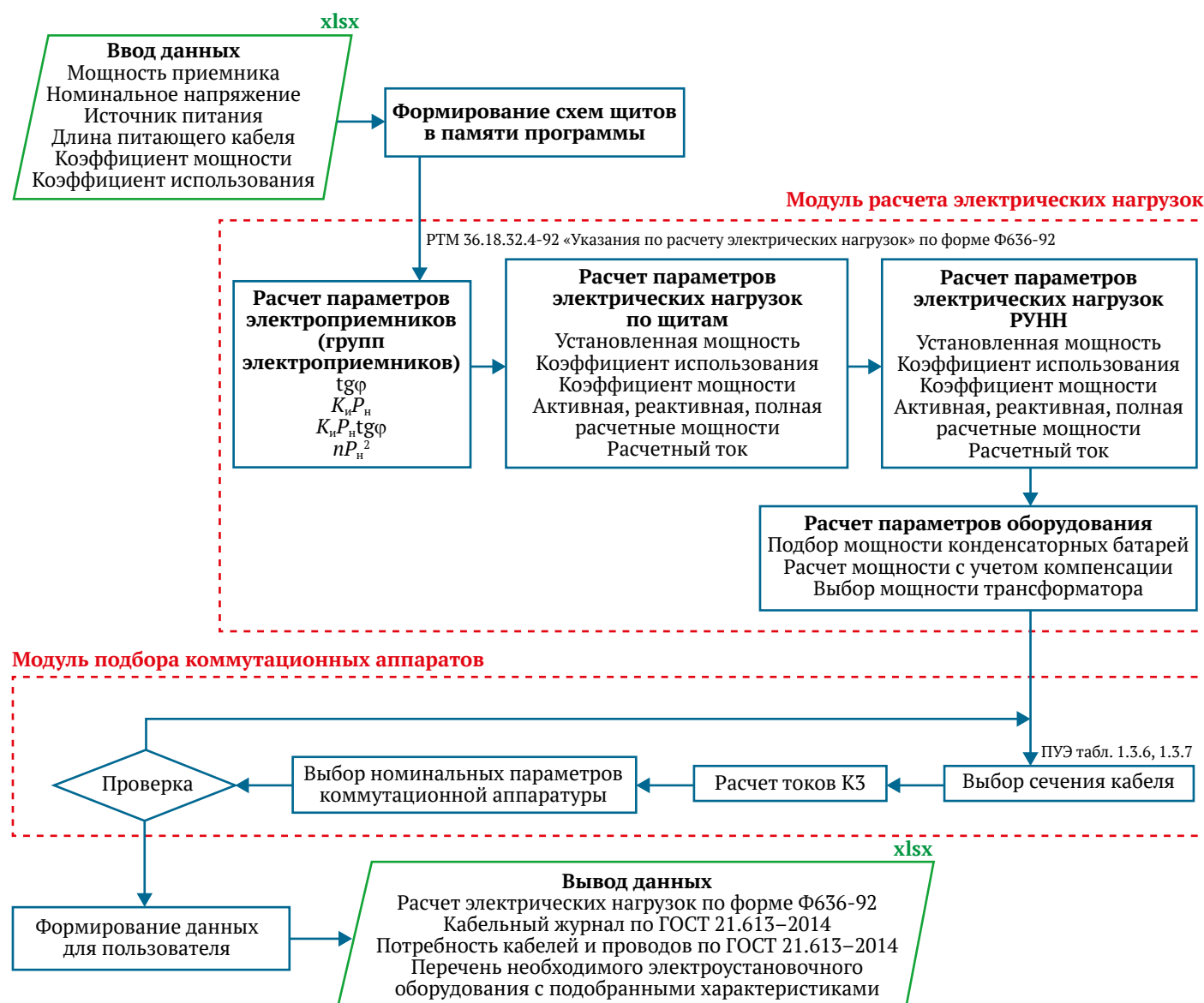


Рис. 3. Обобщённая блок-схема алгоритма расчетной программы



Использование *Excel* и *nanoCAD* в рамках данного проекта обусловлено как технологическими, так и практическими соображениями, связанными с требованиями инженерной среды проектирования и стандартами современной САПР-инфраструктуры. *Excel* выбран в качестве основного инструмента для ввода, хранения и структурирования исходных данных, так как он представляет собой универсальный,

гибкий и общепринятый формат табличной информации, легко адаптируемый к различным этапам проектирования. Благодаря встроенным функциям обработки данных *Excel* позволяет реализовать двустороннюю связь между расчетным модулем и инженерной моделью, исключая необходимость ручного переноса информации и тем самым снижая вероятность ошибок.

Исходные данные								Расчетные величины			Эффек- тивное число ЭП	К _{эф} , расчетной нагрузки, К _р	Расчетная мощность			Расчет- ный ток, А	
по заданию технологов					по справочным данным			К _н P _н	К _н P _н tgφ	n P _н ²	n ₃ = (Σ P _н) ² / Σ n P _н ²		активная, кВт	реактив- ная, квар**	полная, кВА		
Наименование ЭП	Обозначение ЭП	Колич. ЭП, шт.* л	Номинальная (установленная) мощность, кВт*		Коэфф. исп.-я, К _н	Коэфф. реактивной мощности							P _p = K _р Σ K _н P _н	Q _p = 1,1 Σ K _н P _н tgφ при n ₃ ≤ 10; Q _p = Σ K _н P _н tgφ при n ₃ > 10	S _p = √ P _p ² + Q _p ²		I _p = S _p / (√3 U _н)
1	2	3	4	5		6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17
ТП-1, площадка ЗИФ																	
Участок рудоподготовки ККД																	
Оборудование мобиль- ного комплекса с щеко- вой дробилкой																	
Установка с щековой дробилкой на гусеничном ходу СМС96:	1110-TJC-001																
Колосниковый питатель	1110-GFS-001	1	15	15,00	0,6	0,82	0,70	9,000	6,282	225			9,00	6,28	10,98		
Дробилка щековая	1110-CRJ-001	1	90	90,00	0,6	0,87	0,57	54,000	30,603	8100			54,00	30,60	62,07		
Главный конвейер	1110-CVR-001	1	11	11,00	0,6	0,84	0,65	6,600	4,263	121			6,60	4,26	7,86		
Вытяжной вентилятор	B1	1	0,07	0,07	0,7	0,8	0,75	0,049	0,037	0,0049			0,05	0,04	0,06		
Обогреватель электрический	O1	3	0,80	2,40	0,6	0,95	0,33	1,440	0,473	1,92			1,44	0,47	1,52		
Рабочее место оператора	APM	1	0,75	0,75	1	0,8	0,75	0,750	0,563	0,5625			0,75	0,56	0,94		
Охранный шкаф ККД-ШОС (ШПС-12 исп.12)	ККД-ШОС	1	0,7	0,70	1	1	0,00	0,700	0,000	0,49			0,70	0,00	0,70		
Шкаф серверный ККД ТШ-СС	ККД ТШ-СС	1	3,5	3,50	1	1	0,00	3,500	0,000	12,25			3,50	0,00	3,50		
Участок рудоподготовки СКДР (Оборудование узла загрузки дроблёной руды с подземным тоннелем дробления)																	
Питатель пластинчатый	1120-FDA-001+002	2	15	30,00	0,6	0,82	0,70	18,000	12,564	450			18,00	12,56	21,95		
Железоотделитель	1120-MGT-001	1	4	4,00	0,6	0,82	0,70	2,400	1,675	16			2,40	1,68	2,93		
Металлодетектор	1120-MGT-002	1	0,2	0,20	0,6	0,85	0,62	0,120	0,074	0,04			0,12	0,07	0,14		
Вибропитатель	1120-FDA-003	1	5	5,00	0,1	0,85	0,62	0,500	0,310	25			0,50	0,31	0,59		
Аварийный душ		6	6,5	39,00	0,4	0,9	0,48	15,600	7,555	253,5			15,60	7,56	17,33		
...																	
Участок приготовления известкового молока																	
Емкость приготовления 10%-ного раствора известкового молока	1840-TNK-002 1840-AGI-002	1	22	22,00	0,75	0,83	0,67	16,500	11,088	484			16,50	11,09	19,88		
Насос химический	1840-PUM-004	1	15	15,00	0,75	0,82	0,70	11,250	7,853	225			11,25	7,85	13,72		
Емкость расходная раствора известкового молока	1840-TNK-003 1840-AGI-003	1	32	32,00	0,75	0,85	0,62	24,000	14,874	1024			24,00	14,87	28,24		
Емкость аварийная V=50 м³	1840-TNK-001 1840-AGI-001	1	22	22,00	0,75	0,83	0,67	16,500	11,088	484			16,50	11,09	19,88		
Итого по ТП-1		755	2677	3137	0,68	0,91	0,46	2128	982	280790	35	0,85	1808,85	981,70	2058,08	2970,58	
Итого (с учетом потерь в трансформаторах)																2160,98	3119,10
Коэффициент загрузки трансформатора Кз 1Т1,1Т2 2х2500 кВА																Кз=	0,43
Нагрузки, не учитываемые в расчете																	
Таль электрическая г/п 2 т	1210-HST-002	1	8	8,00	0,3	0,5	1,73	2,400	4,157	64			2,40	4,16	4,80		
Таль электрическая г/п 2 т	1120-HST-001+002	2	5	10,00	0,1	0,85	0,62	1,000	0,620	50			1,00	0,62	1,18		
Насос скруббера	1210-PUM-006	1	30	30,00	0,75	0,85	0,62	22,500	13,944	900			22,50	13,94	26,47		
...																	
Воздушный компрессор	8000-CMP-006	1	315	315,00	0,7	0,95	0,33	220,500	72,475	99225			220,50	72,47	232,11		
Насос питания грохота	1210-PUM-002	1	22	22,00	0,7	0,75	0,88	15,400	13,582	484			15,40	13,58	20,53		
Итого по ТП-1 нагрузки, не учитываемые в расчете																1502,8	
Итого по ТП-1 установленная мощность																4639,6	

Примечания:

* Резервные ЭП, а также ЭП, работающие кратковременно, в расчете не учитываются.

Указания не распространяются на определение электрических нагрузок электроприемников с резкопеременным графиком нагрузки (электроприводов прокатных станов, дуговых электропечей, контактной электросварки и т. п.), промышленного электрического транспорта, жилых и общественных зданий, а также электроприемников, с известным графиком нагрузки.

Рис. 4. Фрагмент расчета электрических нагрузок ТП-1



Программное обеспечение *napoCAD* используется в качестве среды ВМ-моделирования, что соответствует требованиям современных проектных организаций и позволяет поддерживать сквозную информационную модель здания или производственного объекта. Выбор *софта* обоснован его возможностью хранения геометрической и параметрической информации об оборудовании, пространственном расположении кабельных трасс и точках подключения, что делает его незаменимым при комплексном проектировании электрических сетей в рамках общей строительной модели. Кроме того, наличие открытого *API* дает возможность интеграции с внешними расчетными алгоритмами и позволяет автоматизировать процессы, связанные с трассировкой кабелей, генерацией спецификаций и формированием схем. Таким образом, связка *Excel* и *napoCAD* обеспечивает эффективное сопряжение между расчетной и графической частью проекта, позволяет сократить количество рутинных операций, повысить точность инженерных решений и обеспечить соответствие требованиям нормативной документации.

Таким образом, представленное ЦПО демонстрирует целостный алгоритм проектирования, охватывающий все ключевые этапы от ввода данных до получения расчетных и технических характеристик

оборудования. Оно обеспечивает автоматизацию рутинных операций, снижает влияние человеческого фактора и обеспечивает соответствие требованиям нормативных документов. Внедрение данной схемы в программный комплекс существенно упрощает процесс проектирования электрических сетей, повышая его точность, надежность и скорость.

Практическая реализация на примере проекта электроснабжения золотоизвлекающей фабрики

Рассмотрим практическую реализацию проекта на примере проекта электроснабжения золотоизвлекающей фабрики (ЗИФ) «Кумроч». Основным источником электроснабжения для объектов ЗИФ является автономная дизельная теплоэлектростанция (АТЭС) контейнерно-модульного исполнения напряжением 6,3 кВ с системами утилизации, рекуперации тепла.

ЦПО получает данные о сформированных цепях из 3D-модели и формирует таблицы расчета нагрузок для каждого распределительного пункта на каждом из уровней. Фрагмент таблицы расчета электрических нагрузок для одной из трансформаторных подстанций приведен на рис. 4.

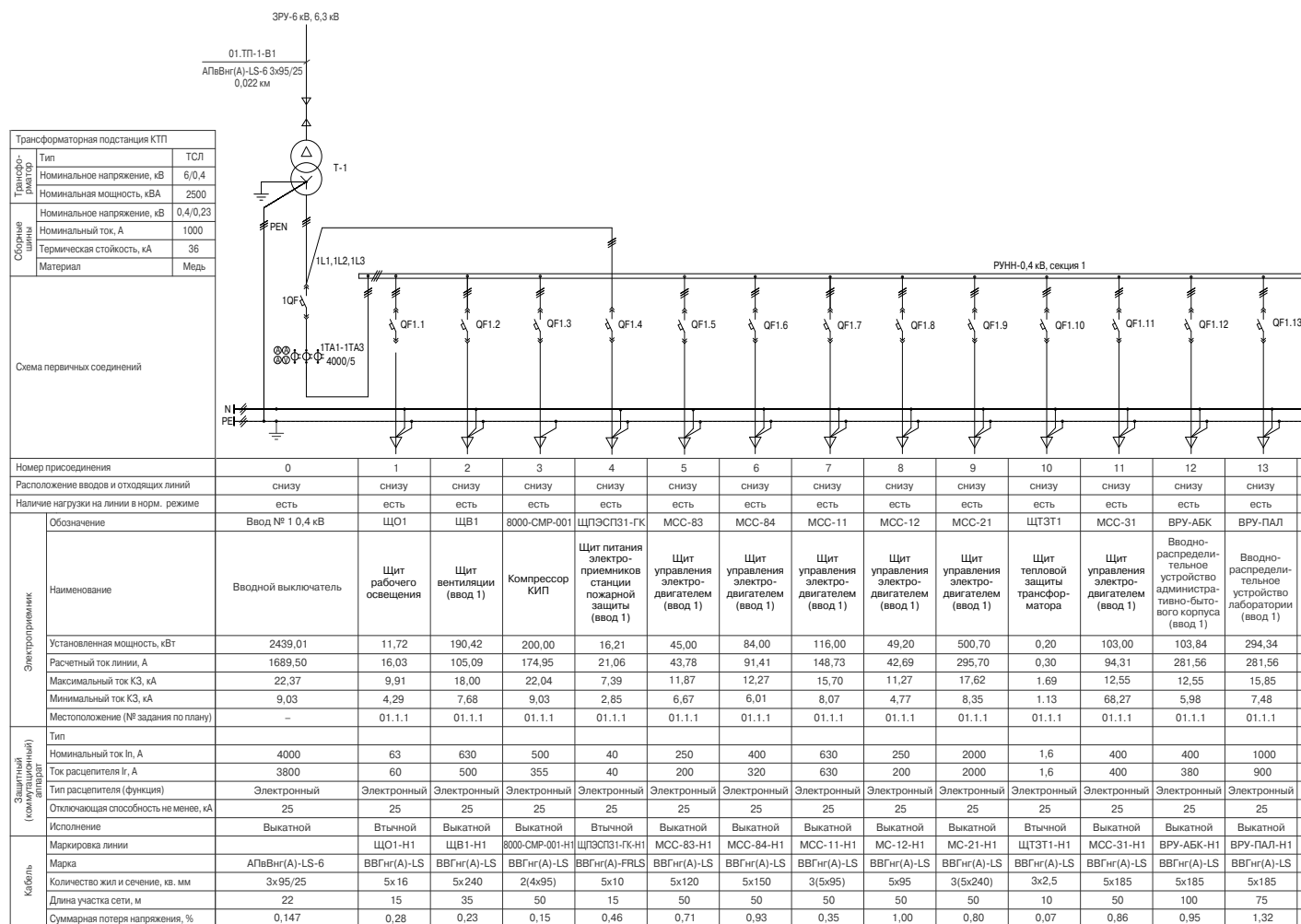


Рис. 5. Фрагмент электрической принципиальной однолинейной схемы ТП-1



Расчет ведется согласно руководящему техническому материалу «Указания по расчету электрических нагрузок» РТМ 36.18.32.4-92 [18], а его результаты оформляются по установленной форме Ф636-92³.

После формирования расчета нагрузок ЦПО одновременно ведет расчет токов коротких замыканий на всех уровнях системы электроснабжения и подбирает параметры кабельных линий и коммутационной аппаратуры с учетом селективности. Такой метод обеспечивает точность и высокую скорость вычислений. Результаты вычислений ЦПО сводятся в таблицу, удобную для дальнейшей работы проектировщика. Используя рассчитанные с помощью ЦПО параметры, пользователь может легко подобрать оборудование выбранного производителя. Фрагмент результатов подбора оборудования приведен на принципиальной схеме (рис. 5).

Поскольку расчет в программе происходит автоматически и практически не требует дополнительных действий от проектировщика, при необходимости возможно с минимальными трудозатратами многократно обновлять его результаты в случае корректировки исходных данных. Это повышает гибкость процесса проектирования и адаптирует ЦПО к условиям постоянных изменений компонентов системы в течение проработки решений по электроснабжению.

Основываясь на результатах расчета системы электроснабжения ЗИФ «Кумроч», в работе [20] авторы привели оценку эффективности возможного применения альтернативных источников питания в системах автономного электроснабжения [21].

Выводы

Цифровое программное обеспечение позволяет в значительной степени сократить количество этапов ручного переноса данных (до 80 %), не привязывает пользователя к необходимости выбора оборудования

из ограниченных каталогов (библиотек), требует минимального вмешательства в процесс со стороны человека, для работы в программе пользователь практически не нуждается в отдельном обучении.

ЦПО автоматизирует процесс проектирования систем электроснабжения (упрощает и ускоряет процесс работы), сводит к минимуму вероятность ошибки ввиду человеческого фактора, повышает точность расчетов. Это – необходимые условия для компании (проектного института), которая хочет сохранять востребованность у клиентов, поддерживать конкурентоспособность и соответствовать уровню развития технологий.

Данное ЦПО имеет преимущество перед существующими программными комплексами, поскольку за счет удобного формата вводных и выводных данных в виде таблиц в формате *Excel* минимизирует необходимость переноса данных вручную. Это, в свою очередь, упрощает, ускоряет работу и повышает точность выполняемых расчетов.

В отличие от похожих программ считывание данных автоматизировано, ЦПО подразумевает минимальное вмешательство со стороны человека, что избавляет от необходимости дополнительного обучения по работе с программой, а также активного технического обслуживания и консультаций.

Также в сравнении с аналогами разрабатываемое ЦПО не привязано к производителю электрооборудования, поэтому предоставляет пользователю данные для подбора оборудования, оставляя право выбора бренда за проектировщиком или заказчиком.

Решение обладает значительным потенциалом для внедрения в проектных организациях, так как соответствует стратегии цифровизации энергетики и отвечает потребностям рынка в гибких, независимых и масштабируемых инструментах проектирования.

Перспективы развития связаны с интеграцией искусственного интеллекта для автоматической корректировки проектов в реальном времени и возможностью подключения расчетов для альтернативных источников энергии.

³ Табл. 4. Руководящий технический материал «Указания по расчету электрических нагрузок» от 30.07.1992 № РТМ 36.18.32.4-92. ВНИПИ ТЯЖПРОМЭЛЕКТРОПРОЕКТ; 1992.

Список литературы / References

1. Пичуев А.В., Петуров В.И., Суворов И.Ф. Влияние нестационарных режимов на электробезопасность при эксплуатации электрооборудования горных предприятий. Монография. М.: Горная книга; 2011. 326 с.
Pichuev A. V., Peturov V. I., Suvorov I. F. *Impact of non-stationary modes on electrical safety during the operation of mining enterprises' electrical equipment*. Monograph. Moscow: Gornaya Kniga; 2011. 326 p. (In Russ.)
2. Ключев Р.В. Разработки методики расчета качаний в электрической системе. *Устойчивое развитие горных территорий*. 2024;16(3):1205–1213. <https://doi.org/10.21177/1998-4502-2024-16-3-1205-1213>
Klyuev R. V. Development of a methodology for calculating swings in an electrical system. *Sustainable Development of Mountain Territories*. 2024;16(3):1205–1213. <https://doi.org/10.21177/1998-4502-2024-16-3-1205-1213>
3. Петров В.Л., Пичуев А.В. Оценка эффективности средств повышения качества электроэнергии в системе частотно-регулируемого электропривода скребковых конвейеров. *Горные науки и технологии*. 2024;9(1):60–69. <https://doi.org/10.17073/2500-0632-2024-01-198>
Petrov V. L., Pichuev A. V. Assessing the efficiency of measures to enhance electric power quality in variable-frequency drive for scraper conveyors. *Mining Science and Technology (Russia)*. 2024;9(1):60–69. <https://doi.org/10.17073/2500-0632-2024-01-198>



4. Ключев Р.В. Обоснование решений по совершенствованию вентиляторных установок и подъемных машин на основе оценки энергоэффективности их работы в условиях реконструкции рудника «Молибден». *Горные науки и технологии*. 2025;10(1):84–94. <https://doi.org/10.17073/2500-0632-2024-10-362>
Klyuev R.V. Assessment of energy efficiency improvement strategies for ventilation and hoisting systems during the reconstruction of the Molibden mine. *Mining Science and Technology (Russia)*. 2025;10(1):84–94. <https://doi.org/10.17073/2500-0632-2024-10-362>
5. Шеметов А.Н., Ильина Е.А., Кондрашова Ю.Н. Обработка информации в системе автоматизированного проектирования электроснабжения жилого микрорайона для определения электрических нагрузок. *Математическое и программное обеспечение систем в промышленной и социальной сферах*. 2021;9(2):29–37. <https://doi.org/10.18503/2306-2053-2021-9-2-29-38>
Shemetov A.N., Ilina E.A., Kondrashova Yu.N. Information processing in the automated power supply system of a residential microdistrict for determining electric loads. *Software of Systems in the Industrial and Social Fields*. 2021;9(2):29–37. (In Russ.) <https://doi.org/10.18503/2306-2053-2021-9-2-29-38>
6. Степанов В.М., Косырихин В.С. Применение программно-методического комплекса для расчёта и проектирования электроснабжения. *Известия Тульского государственного университета. Технические науки*. 2018;(12):180–186.
Stepanov V.M., Kosyrikhin V.S. Application of the program-methodical complex for calculation and design of electrical supply. *Izvestiya Tula State University. Technical Sciences*. 2018;(12):180–186. (In Russ.)
7. Ляшан И.К., Парфенов Я.А., Голованова К.А. Проектирование схемы внутреннего электроснабжения. *Вестник науки*. 2024;3(3):614–622.
Lyashan I.K., Parfenov Ya.A., Golovanova K.A. Design of internal power supply scheme. *Vestnik Nauki*. 2024;3(3):614–622. (In Russ.)
8. Дмитриев А.А., Герасимов В.Е., Плосков А.Н. Применение современных программных возможностей в процессе проектирования систем электроснабжения. *Электротехнические и информационные комплексы и системы*. 2019;15(1):20–25. <https://doi.org/10.17122/1999-5458-2019-15-1-20-25>
Dmitriev A.A., Gerasimov V.E., Ploskov A.N. Application of modern software capabilities in the design of power supply systems. *Electrical and Data Processing Facilities and Systems*. 2019;15(1):20–25. (In Russ.) <https://doi.org/10.17122/1999-5458-2019-15-1-20-25>
9. Ключкова Н.Н., Обухова А.В. Автоматизация проектирования систем электроснабжения 6–10 кВ промышленных объектов. *Научный альманах*. 2024;(7–2):49–51.
Klochkova N.N., Obukhova A.V. Automation of design of 6–10 kV power supply systems for industrial facilities. *Nauchnyi Almanakh*. 2024;(7–2):49–51. (In Russ.)
10. Баширов М.Г., Юсупова И.Г., Биткулов Р.Д. Способ разработки программно-вычислительных комплексов для проектирования систем электроснабжения. *Вестник Казанского государственного энергетического университета*. 2021;13(1):37–51.
Bashirov M., Yusupova I., Bitkulov R. Comparative analysis of software and computing systems for the design of power supply systems. *Vestnik of Kazan State Power Engineering University*. 2021;13(1):37–51. (In Russ.)
11. Трунов С.С., Крупнов А.В. Оптимальное проектирование систем электроснабжения на ЭВМ с учетом критериев надежности и экономичности. *Вестник Тверского государственного технического университета. Серия: Строительство. Электротехника и химические технологии*. 2024;(1):57–74. <https://doi.org/10.46573/2658-7459-2024-1-57-74>
Trunov S.S., Krupnov A.V. CAD with independent design of power supply systems, taking into account the criteria of reliability and efficiency. *Vestnik of Tver State Technical University. Series "Building. Electrical Engineering and Chemical Technology"*. 2024;(1):57–74. (In Russ.) <https://doi.org/10.46573/2658-7459-2024-1-57-74>
12. Анищенко В.А., Кирспу А.Ю. Учет неопределенности исходной информации при проектировании систем электроснабжения. *Вестник Гомельского государственного технического университета им. П.О. Сухого*. 2005;(3):25–29.
Anishchenko V.A., Kirspu A.Yu. Accounting for the uncertainty of initial information in the design of power supply systems. *Vestnik Gomel'skogo Gosudarstvennogo Tekhnicheskogo Universiteta imeni P. O. Sukhogo*. 2005;(3):25–29. (In Russ.)
13. Федоса Д.В. Оптимальное проектирование систем электроснабжения. *Электротехника и электроэнергетика*. 2012;(1):57–61.
Fedosha D.V. Optimal design of power system. *Elektrotehnika i Elektroenergetika*. 2012;(1):57–61. (In Russ.)
14. Степанов В.М., Косырихин В.С. Методология расчёта и проектирования электрических сетей системы промышленного электроснабжения. *Известия Тульского государственного университета. Технические науки*. 2014;(8):215–222.
Stepanov V.M., Kosyrikhin V.S. Methodology of calculation and design of electric networks of system of industrial power supply. *Izvestiya Tula State University. Technical Sciences*. 2014;(8):215–222. (In Russ.)
15. Romanova V.V. The program for determining the optimal location for installation of symmetry facilities in 0.4 kV power supply systems with a motor-drive load. *Journal of Siberian Federal University. Engineering and Technologies*. 2020;13(5):643–651. <https://doi.org/10.17516/1999-494X-0253>



16. Яковкина Т.Н., Стародубцев А.А., Чеховский С.Н. Проектирование системы электроснабжения отдела разложения сульфатного мыла филиала АО «Группа «ИЛИМ» в г. Братске. *Труды Братского государственного университета. Серия: Естественные и инженерные науки*. 2018;2:68–72.
Yakovkina T.N., Starodubtsev A.A., Chekhovskiy S.N. Designing the power supply system for the sulfate soap decomposition department of the “ILIM” Group Branch in Bratsk. *Proceedings of Bratsk State University. Series: Natural and Engineering Sciences*. 2018;2:68–72. (In Russ.)
17. Добродей А.О., Воронович А.А. Автоматизация расчетов при проектировании систем электроснабжения жилых домов. *Агротехника и энергообеспечение*. 2018;(1):35–46.
Dobrodey A.O., Voronovich A.A. Automation of calculations in the designing of power supply systems of residential buildings. *Agrotekhnika i Energoobespechenie*. 2018;(1):35–46. (In Russ.)
18. Савчук И.В., Смолин Н.И., Серов А.И. Автоматизация расчетов токов короткого замыкания и потерь напряжения в системах электроснабжения и интеграция в CAD систему. *АгроЭкоИнфо*. 2023;(5). <https://doi.org/10.51419/202135539>
Savchuk I.V., Smolin N.I., Serov A.I. Automation of short-circuit current and voltage loss calculations in power supply systems and integration into a CAD system. *AgroEkoInfo*. 2023;(5). (In Russ.) <https://doi.org/10.51419/202135539>
19. Волков Н.А. Внедрение БИМ-технологий в процесс проектирования сетей электроснабжения. *Научно-техническое и экономическое сотрудничество стран АТР в XXI веке*. 2024;2:19–23.
Volkov N.A. The introduction of BIM technologies in the process of designing power supply networks. *Scientific and Technical and Economical Cooperation in Asia-Pacific Countries in the 21st Century*. 2024;2:19–23. (In Russ.)
20. Пичуев А.В., Грибкова О.С., Бурматова Е.К. Оценка энергоэффективности применения альтернативных источников питания в системах автономного электроснабжения горно-обогатительных комбинатов. *Энергобезопасность и энергоснабжение*. 2024;(4):43–49.
Pichuev A.V., Gribkova O.S., Burmatova E.K. Assessment of energy efficiency of alternative power sources in independent power supply systems of mining and processing plants. *Energy Safety and Energy Economy*. 2024;(4):43–49. (In Russ.)
21. Софронов М.А., Петров В.Л. Перспективы применения солнечных электростанций в системах электроснабжения горных предприятий. *Горный информационно-аналитический бюллетень*. 2024;(10):152–165. https://doi.org/10.25018/0236_1493_2024_10_0_152
Sofronov M.A., Petrov V.L. Prospects for solar power plants in electricity supply systems in mines. *Mining Informational and Analytical Bulletin*. 2024;(10):152–165. (In Russ.) https://doi.org/10.25018/0236_1493_2024_10_0_152

Информация об авторах

Вадим Леонидович Петров – доктор технических наук, проректор, профессор кафедры энергетики и энергоэффективности горной промышленности, Университет науки и технологий МИСИС, г. Москва, Российская Федерация; ORCID [0000-0002-6474-5349](https://orcid.org/0000-0002-6474-5349), Scopus ID [8919065900](https://scopus.com/authorid/8919065900), ResearcherID [P-9984-2015](https://orcid.org/P-9984-2015); e-mail petrovv@misis.ru

Елизавета Константиновна Бурматова – инженер-проектировщик электротехнического отдела, ООО «Промстрой Инжиниринг», г. Москва, Российская Федерация; e-mail burmatova.elz@gmail.com

Александр Вадимович Пичуев – доктор технических наук, профессор кафедры энергетики и энергоэффективности горной промышленности, Университет науки и технологий МИСИС, г. Москва, Российская Федерация; ORCID [0000-0001-7457-5702](https://orcid.org/0000-0001-7457-5702), Scopus ID [57209798580](https://scopus.com/authorid/57209798580); e-mail allexstone@mail.ru

Information about the authors

Vadim L. Petrov – Dr. Sci. (Eng.), Vice-Rector, Professor of the Department of Energy and Energy Efficiency of the Mining Industry, University of Science and Technology MISIS, Moscow, Russian Federation; ORCID [0000-0002-6474-5349](https://orcid.org/0000-0002-6474-5349), Scopus ID [8919065900](https://scopus.com/authorid/8919065900), ResearcherID [P-9984-2015](https://orcid.org/P-9984-2015); e-mail petrovv@misis.ru

Elizaveta K. Burmatova – Design Engineer of the Electrical Engineering Department, Promstroy Engineering LLC, Moscow, Russian Federation; e-mail: burmatova.elz@gmail.com

Alexander V. Pichuev – Dr. Sci. (Eng.), Professor of the Department of Energy and Energy Efficiency of the Mining Industry, University of Science and Technology MISIS, Moscow, Russian Federation; ORCID [0000-0001-7457-5702](https://orcid.org/0000-0001-7457-5702), Scopus ID [57209798580](https://scopus.com/authorid/57209798580); e-mail allexstone@mail.ru

Поступила в редакцию

02.09.2025

Received

02.09.2025

Поступила после рецензирования

11.10.2025

Revised

11.10.2025

Принята к публикации

17.10.2025

Accepted

17.10.2025