

Научная статья

Статья в открытом доступе

УДК.004.42

doi: 10.30987/2658-6436-2024-4-12-20

АВТОМАТИЗАЦИЯ ПРОЕКТИРОВАНИЯ РАСПРЕДЕЛИТЕЛЬНЫХ ПУНКТОВ ГОРОДСКИХ ЭЛЕКТРОСЕТЕЙ

Татьяна Александровна Онуфриева¹, Сергей Михайлович Задоркин²,
Наталья Александровна Борсук³

^{1, 2, 3} Калужский филиал МГТУ им. Н.Э. Баумана, г. Калуга, Россия

¹ onufrievata@mail.ru

² zadorkin0101@mail.ru

³ borsuk65@yandex.ru

Аннотация. Рассмотрен вопрос разработки веб-приложения для проектирования распределительных пунктов электросетей. Данное решение позволит уменьшить затраты на производство объектов за счет их моделирования в виртуальной среде и в итоге ускорения выхода готовых продуктов на рынок. Диагностическое обслуживание объектов позволит своевременно избежать нештатных ситуаций в работе оборудования. Указаны основные функциональные особенности разработанного веб-приложения для проектирования объектов распределительных пунктов электросетей: от получения технического задания, шаблона объекта до преобразования исходных данных в цифровой вид в требуемом заказчиком формате, тестирование и выявление неточностей и ошибок в проектировании, выдачи рекомендаций по исправлению ошибок. Приведены примеры реализации результатов разработки. Предложенное решение отличается простым интуитивно понятным интерфейсом и может быть использовано и как возможность обучения персонала. Одной из дополнительных возможностей является совместное использование приложения вместе с геоинформационной системой для управления сетями электроснабжения, разработанной компанией электросетей г. Калуга.

Ключевые слова: распределительный пункт электросети, PDF-формат JSON-формат, веб-приложение, цифровой город

Для цитирования: Онуфриева Т.А., Задоркин С.М., Борсук Н.А. Автоматизация проектирования распределительных пунктов городских электросетей // Автоматизация и моделирование в проектировании и управлении. 2024. №4 (26). С. 12-20. doi: 10.30987/2658-6436-2024-4-12-20.

Original article

Open Access Article

DESIGN AUTOMATION OF DISTRIBUTION POINTS OF URBAN POWER GRIDS

Tatyana A. Onufrieva¹, Sergey M. Zadorkin², Natalia A. Borsuk³

^{1, 2, 3} Kaluga Branch of Bauman Moscow State Technical University, Kaluga, Russia

¹ onufrievata@mail.ru

² zadorkin0101@mail.ru

³ borsuk65@yandex.ru

Abstract. The article considers the development of a web application for designing power distribution points. This solution will reduce the cost of producing objects by simulating them in a virtual environment and, as a result, speed up the release of finished products to the market. Diagnostic maintenance of objects will allow timely avoidance of abnormal situations in the equipment operation. The main functional features of the developed web application for designing power distribution points are indicated: from receiving technical specifications, an object template to converting the initial data into the digital form in the format required by the customer, testing and identifying inaccuracies and errors in the design, issuing recommendations for correcting errors. Examples of implementing the development results are given. The proposed solution has a simple, intuitive interface and can be applicable as an opportunity to train personnel. One of the additional features is the joint use of the application with the geographic information system for managing power supply networks, developed by the Kaluga power grid company.

Keywords: power distribution point, PDF format, JSON format, web application, digital city

For citation: Onufrieva T.A., Zadorkin S.M., Borsuk N.A. Design Automation of Distribution Points of Urban Power Grids. Automation and modeling in design and management, 2024, no. 4 (26). pp. 12-20. doi: 10.30987/2658-6436-2024-4-12-20.

Введение

В результате активного развития информационных технологий наблюдается возрастание глобального рынка цифровых двойников. Этот тренд охватывает не только мировое сообщество, но также затрагивает и Россию.

Цифровой двойник представляет собой динамическую виртуальную реплику материального объекта, процесса, системы или окружения, обладающую внешними параметрами и характеристиками оригинала. Позволяя захватить данные и имитировать процессы, он обеспечивает возможность прогнозирования реальных выходов продукта и выявления потенциальных проблем [1, 2].

В работе представлена разработка веб-приложения, предназначенного для автоматизации проектирования распределительных пунктов электросетей, реализуемая как часть экосистемы цифрового двойника предприятия электросетей в г. Калуга.

Процесс проектирования объекта электроэнергетики носит длительный характер, исходными данными являются чертежи преимущественно на бумажных носителях. Позже стали появляться графические редакторы, которые были не предназначены или частично предназначены для проектирования схем объектов электроэнергетики [3]. Несмотря на то, что их появление и активное применение облегчило процесс проектирования, позволяя перемещать, удалять и быстро изменять внешний вид компонентов, существовал ряд недостатков, которые не позволяли приложениям быть эталонными.

– самостоятельное проектирование внешнего вида компонентов и комплектующих. Для начала работы, необходимо было настроить среду и самостоятельно создать целую библиотеку специализированных компонентов;

– отсутствие автоматизации ряда действий: автоматизация расчетов, формирование рекомендаций, автоматическое изменение внешнего вида компонента в зависимости от выбранных комплектующих.

Следует отметить отсутствие кроссплатформенности у некоторых приложений, что могло накладывать ограничения на использование ОС. В связи с этим, существует необходимость в реализации специализированного веб-приложения, меняющего подход к проектированию распределительного пункта, имеющего библиотеку готовых компонентов для облегчения проектирования и модуль самопроверки, который будет помогать инженеру с автоматизированными расчётами и выбором комплектующих.

Веб-приложение может быть интегрировано в экосистему компании, став ее модулем и работать вместе с веб-геоинформационной системой для управления сетями электроснабжения. Например, пользователь может по карте найти нужный ему распределительный пункт, нажать на иконку и перейти в модуль для дальнейшей оперативной работы с документацией, связанной с распределительным пунктом (РП).

Таким образом, приложение идеально подходит для электросетевых компаний. В современном мире, где точность и эффективность играют важнейшую роль, использование программного обеспечения, способного автоматически проверять себя, представляет собой значительное преимущество. Этот аспект особенно ценен для молодых специалистов, только вступивших в профессиональную деятельность. Новички, еще только набирающиеся опыта, получают возможность оперировать инструментом, который не только помогает избежать ошибок, но и способствует их дальнейшему профессиональному росту. Программа представляет собой не просто инструмент проектирования объекта, но позволяет выполнять задачи контроля проекта, расчетов.

Проектирование объекта

Распределительный пункт (РП) – электроустановка, предназначенная для распределения электрической энергии внутри распределительной сети, представляющая собой разделенные на секции сборные шины, определенного количества ячеек (присоединений) и коридора управления [4]. Сложность реализации ЦД РП заключается в том, что распределительных пунктов много и они имеют множество различных параметров контроля: уровни напряжения; количество ячеек; номинальный ток; ток динамической стойкости и др.

Ячейки служат для размещения в них: выключателей, трансформаторов тока, линейных, шинных и секционных разъединителей; предохранителей; трансформаторов напряжения; приборов защиты и другого электрооборудования. Каждое электрооборудование тоже имеет множество своих характеристик [5, 6].

Веб-приложение предоставляет удобный функционал, позволяющий с лёгкостью проектировать ячейки (шкафы) распределительного пункта, которые прикрепляются к секциям, что в конечном итоге, позволяет собирать из готовых элементов схему распределительного пункта. Данный функционал в окружении браузера реализуется с помощью технологии *drag-n-drop*. *Drag-n-drop* представляет собой способ управления элементами пользовательского интерфейса с помощью устройства ввода, такого как мышь или сенсорный экран [6]. Перемещение ячеек и добавление их в секции осуществляется с помощью специальных событий. Помимо этого, пользователю предоставляется возможность заполнять и изменять атрибуты каждой ячейки: определить её тип, комплектное распределительное устройство 10(6) кВт и их характеристики. В приложении имеется база данных типовых решений, что значительно сокращает время проектирования, однако использование типовых решений не всегда удовлетворит проектировщика, поэтому в систему включен модуль свободного проектирования, который совместно с электронным архивом комплектующих ведущих мировых производителей позволяет быстро решить поставленную задачу. На рис. 1 приведен пример меню выбора вакуумных выключателей.



ТИП	НАИМЕНОВАНИЕ	ПРОИЗВОДИТЕЛЬ	НОМИНАЛЬНЫЙ ТОК, А	НОМИНАЛЬНЫЙ ТОК О...	НОМИНАЛЬНОЕ НАПРЯЖЕ...
VD4	VD4 12.16.20	ABB	1600	20	12
Evolis	Evolis 31.5/240 12P2 2500	Schneider Electric	2500	31.5	12
Sion	Sion 12кВ, 31,5кА, 2500А	Siemens	2500	31.5	12
VD4	VD4 12.12.25	ABB	1250	25	12
VD4	VD4/P 12.25.25	ABB	2500	25	12
Evolis	Evolis 31.5/185 12P2 1250	Schneider Electric	1250	31.5	12
Evolis	Evolis 25/240 12P1 2500	Schneider Electric	2500	25	12
Evolis	Evolis 31.5/185 12P2 1600	Schneider Electric	1600	31.5	12
HD4	HD4/P 12.25.40	ABB	2500	40	12
VD4	VD4 12.12.20	ABB	1250	20	12
VD4	VD4 12.16.25	ABB	1600	25	12
Sion	Sion 12кВ, 31,5кА, 800А	Siemens	800	31.5	12
HD4	HD4 12.16.40	ABB	1600	40	12

Рис. 1. База данных готовых типовых решений вакуумных выключателей
Fig. 1. Database of ready-made standard solutions for vacuum circuit breakers

База данных готовых типовых решений позволяет пользователю подобрать готовый существующий вариант, кликнув мышью на нужную строку. На рис. 2 представлена демонстрация работы модуля свободного проектирования.

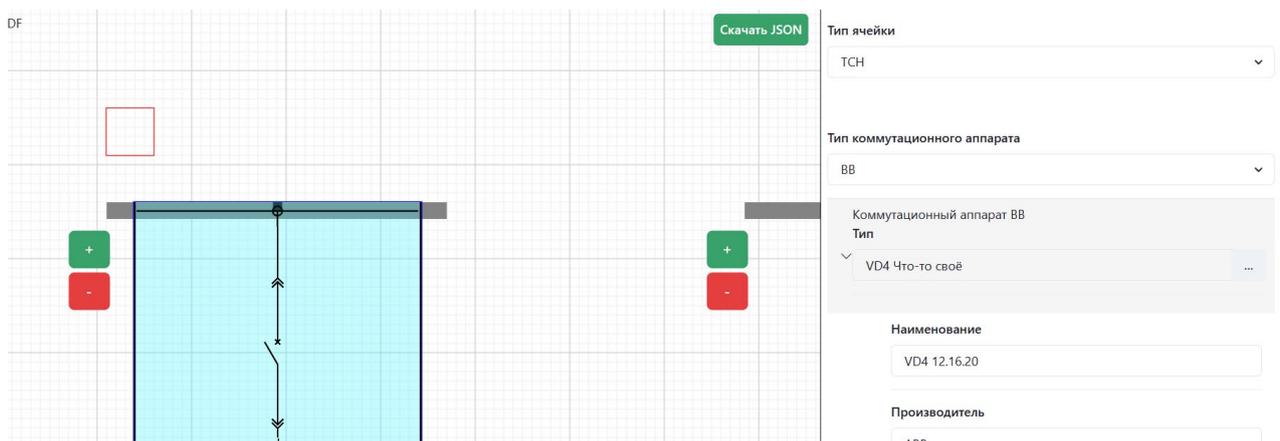


Рис. 2. Демонстрация работы модуля свободного проектирования
Fig. 2. Demonstration of the operation of the free design module

Модуль свободного проектирования позволяет заполнять или изменять уже имеющиеся свойства, если нужного решения не нашлось в базе данных готовых типовых решений.

Также приложение позволяет производить экспорт построенной схемы в *PDF*-формат. Имеется возможность экспорта и импорта файла с настройками в *JSON*-формат. Для более комфортного процесса визуализации РП имеется возможность добавить на рабочую область приложения отсканированный чертеж в формате *jpg*, *png*, который будет использоваться в качестве шаблона. Также приложение позволяет автоматически формировать опросные листы для завода-изготовителя.

Работа с шаблонами

Для работы с шаблонами достаточно импортировать изображение. На рис. 3, 4 представлены этапы добавления шаблона на рабочую область.

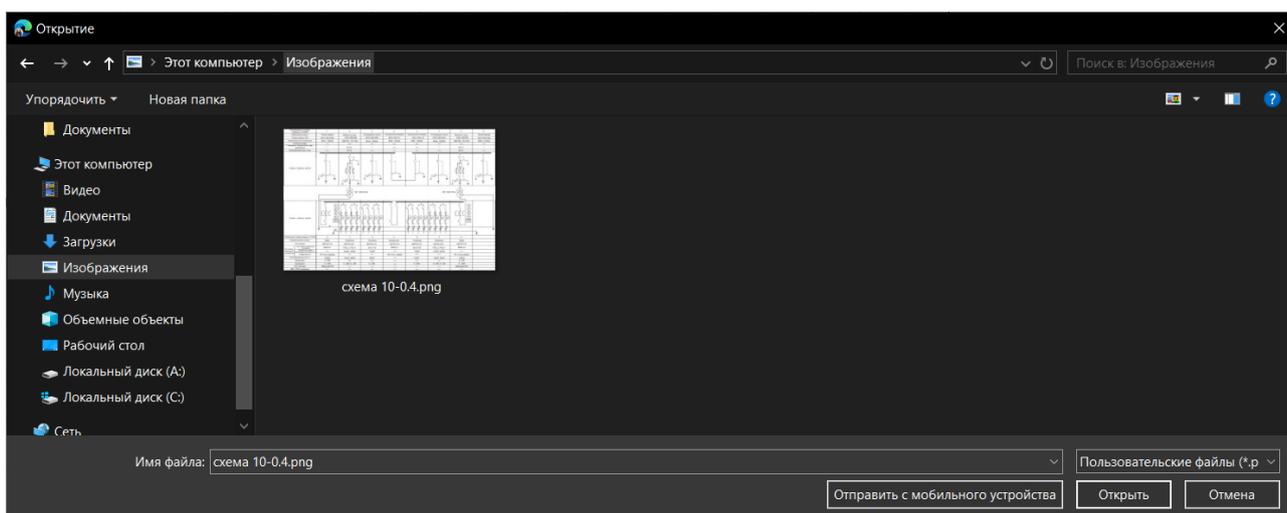


Рис. 3. Выбор шаблона из проводника
Fig. 3. Selecting a template from the Explorer

Можно выбрать только форматы с расширением *jpg* или *png*. Импорт изображений с другими расширениями запрещен. На рис. 4 представлен результат импортирования шаблона.

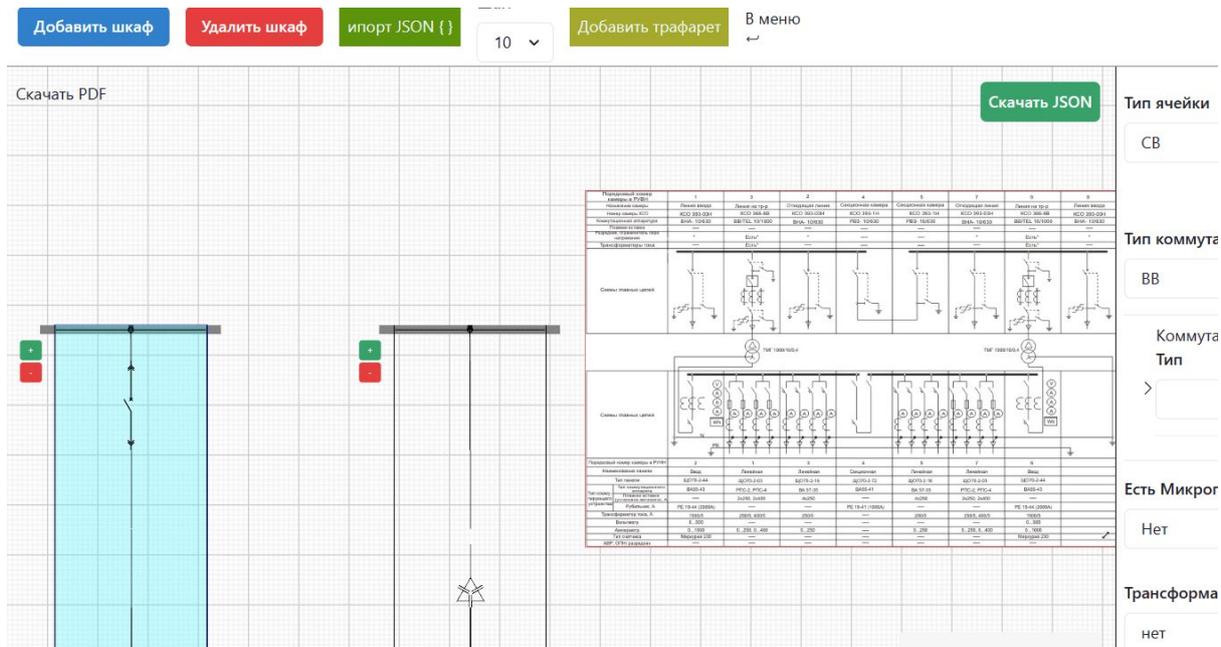


Рис. 4. Импортированный шаблон
Fig. 4. Imported template

Данное изображение можно перемещать с помощью технологии *drag-n-drop*, а также, менять размер. Для более удобной работы может понадобиться возможность вычленения определенного куска шаблона. На рис. 5 представлен результат данной функции.

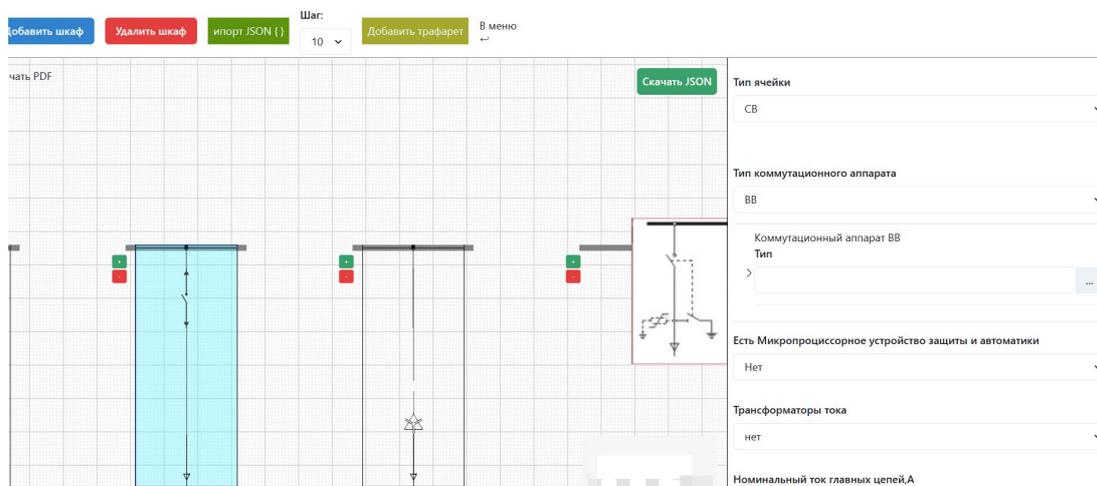


Рис. 5. Результат вычленения части шаблона
Fig. 5. The result of isolating a part of the template

Проверки и расчёты

Для самопроверок и формирования рекомендаций используется несколько формул: формула для расчета первичного тока для выбора измерительного трансформатора тока:

$$I = \frac{P}{U \sqrt{3} \cos \varphi} \quad (1)$$

где P – мощность, кВт; U – напряжение, В; I – ток, кА; $\cos \varphi$ – коэффициент мощности.

На рис. 6, 7 представлена работа самопроверки, связанной с выборами измерительных трансформаторов тока.

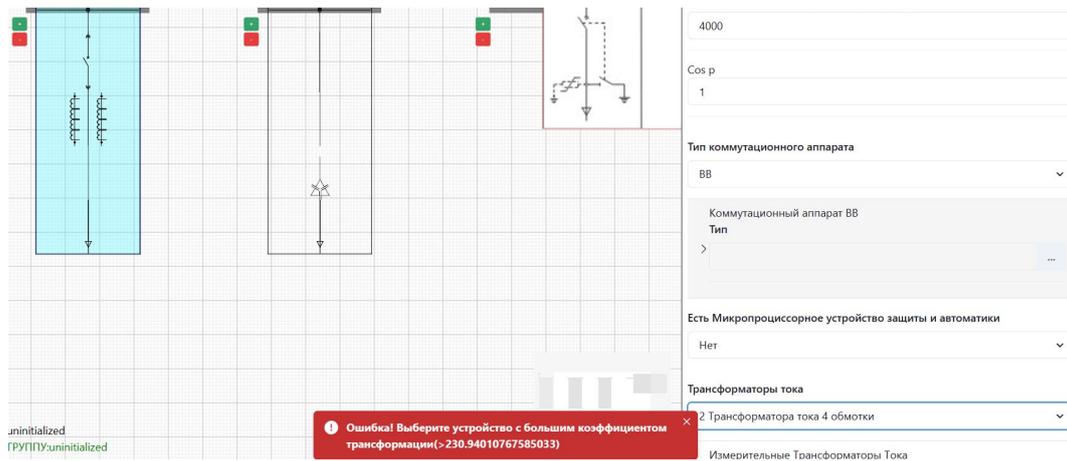


Рис. 6. Уведомление о несоответствии комплектующих с заданными параметрами
Fig. 6. Notification of non-compliance of components with the specified parameters

Оператор ввёл номинальное значение 4000 в поле «суммарная мощность всех электроприборов». Учитывая, что напряжение 10 кВ, коэффициент мощности $\cos \varphi$ примем равным 1. Данное значение является идеальным и обеспечивает наиболее благоприятный режим работы системы [7]. Система самопроверок дала рекомендацию выбрать трансформаторы тока с значением первичного тока больше, чем 230,94. Проверим значения, подставив в формулу (1).

$$I = \frac{P}{U \sqrt{3} \cos \varphi} = \frac{4000}{10 \cdot \sqrt{3} \cdot 1} \approx 230,94, \text{ что верно.}$$

На рис. 7 представлен запрет выбора из базы данных готовых типовых решений.

ТИП	НАИМЕНОВАНИЕ	ПРОИЗВОДИТЕЛЬ	КОЭФФИЦИЕНТ ТР...	КЛАССТОЧНОСТИ	ОДНОСЕКУНДНЫЙ ...	ВИД ОБСЛУЖИВАНИЯ
ТОЛ-10	ТОЛ-10-I-6	Свердловский завод тра...	100/5	0.5S/10P	31.5	Одностороннее
ТОЛ-НТЗ	ТОЛ-НТЗ-10-21А	ООО «Невский трансфо...	3000/5	0.5S/10P	20	Одностороннее
ТОЛ-10	ТОЛ-10-IM-4	Свердловский завод тра...	15/5	0.2S/0.5/10P/10P	1.2	Двустороннее
ТОЛ-НТЗ	ТОЛ-НТЗ-10-11В	ООО «Невский трансфо...	1000/5	0.5/0.5/10P/10P	40	Двустороннее
ТОЛ-НТЗ	ТОЛ-НТЗ-10-11	ООО «Невский трансфо...	30/5	0.5/10P/10P	5	Двустороннее
ТОЛ-10	ТОЛ-10-I-2	Свердловский завод тра...	750/5	0.5/10P	40	Одностороннее
ТОЛ-10	ТОЛ-10	Свердловский завод тра...	1000/5	0.2S/0.5/10P	40	Одностороннее
ТЛО-10	ТЛО-10-M2AC	ООО «Электрощит-К»	1500/5	0.2S/10P	40	Одностороннее
ТОЛ-НТЗ	ТОЛ-НТЗ-10-23В	ООО «Невский трансфо...	4000/5	0.5S/0.5/10P/10P	40	Двустороннее
ТОЛ-10	ТОЛ-10-IM-4	Свердловский завод тра...	500/5	0.2S/0.5/10P/10P	40	Одностороннее
ТОЛ-10	ТОЛ-10-IM-4	Свердловский завод тра...	150/5	0.5S/0.5/10P/10P	12.5	Двустороннее
ТОЛ-НТЗ	ТОЛ-НТЗ-10-22R	ООО «Невский трансфо...	3000/5	0.5S/0.5/10P/10P	31.5	Двустороннее

Рис. 7. Запрет выбора определенных комплектующих из базы данных готовых типовых решений
Fig. 7. Prohibition of the selection of certain components from the database of ready-made standard solutions

Строки, которые не рекомендуются к использованию, визуально выделены (имеют меньшую прозрачность), а также, по клику мыши по таким строкам не будет заполнения свойств.

На рис. 8, 9 представлена реализация формирования рекомендации по выбору типа коммутационного аппарата.

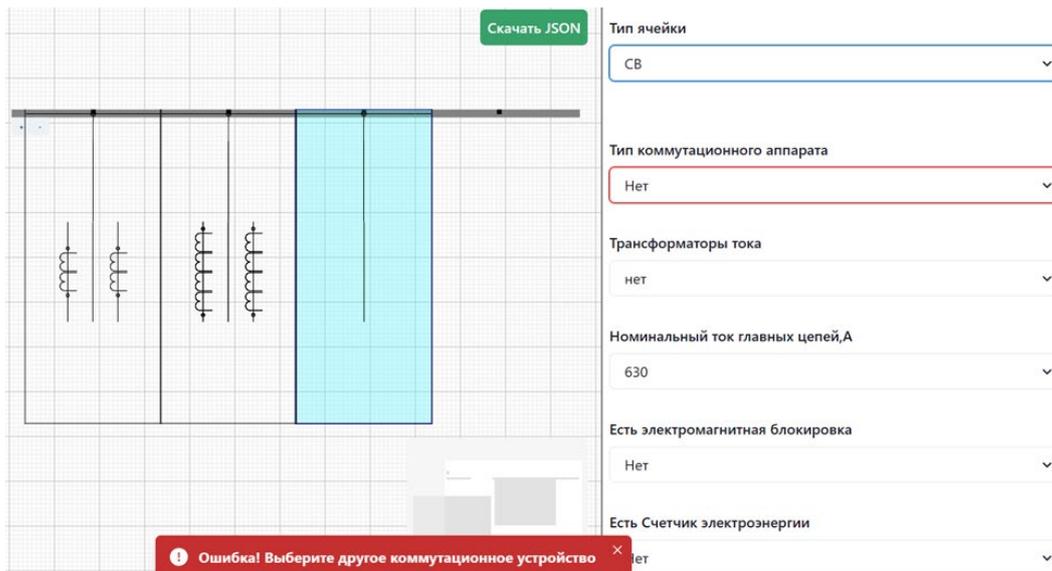


Рис. 8. Ошибка, связанная с выбором типа коммутационного аппарата
Fig. 8. Error related to the choice of the type of switching device

Текущая ячейка имеет тип «СВ», что означает секционный выключатель. Коммутационный аппарат является выключателем, т.е. ячейка с типом СВ просто не может не иметь никакого выключателя. В связи с этим, формируется уведомление и обводка места ошибки красным цветом. На рис. 9 представлены правильные варианты выбора типа коммутационного аппарата.

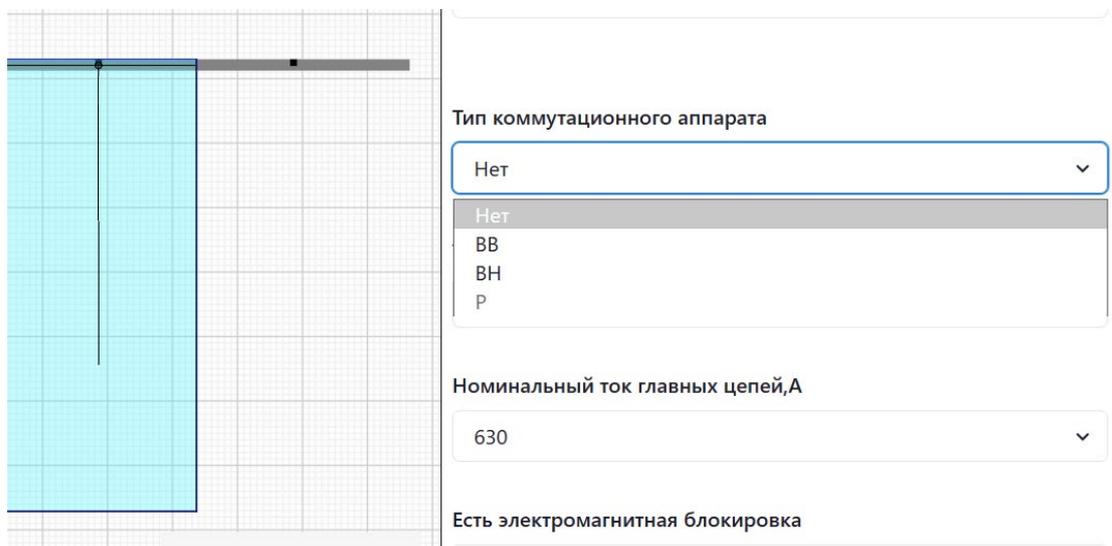


Рис. 9. Правильные варианты выбора типа коммутационного аппарата
Fig. 9. Correct options for choosing the type of switching device

Исходя из рисунка видно, что более чёрным тоном выделены 2 пункта: ВВ (Вакуумный выключатель) и ВН (Выключатель нагрузки). Пункты «нет» и «Р» (Рубильник) не соответствуют типу данной ячейки, поэтому их нельзя выбрать, и они имеют большую прозрачность, что визуалью подчеркивает запрет их использования системой.

Обобщенная структура веб-приложения

Обобщенная структура приложения представлена на рис. 10.

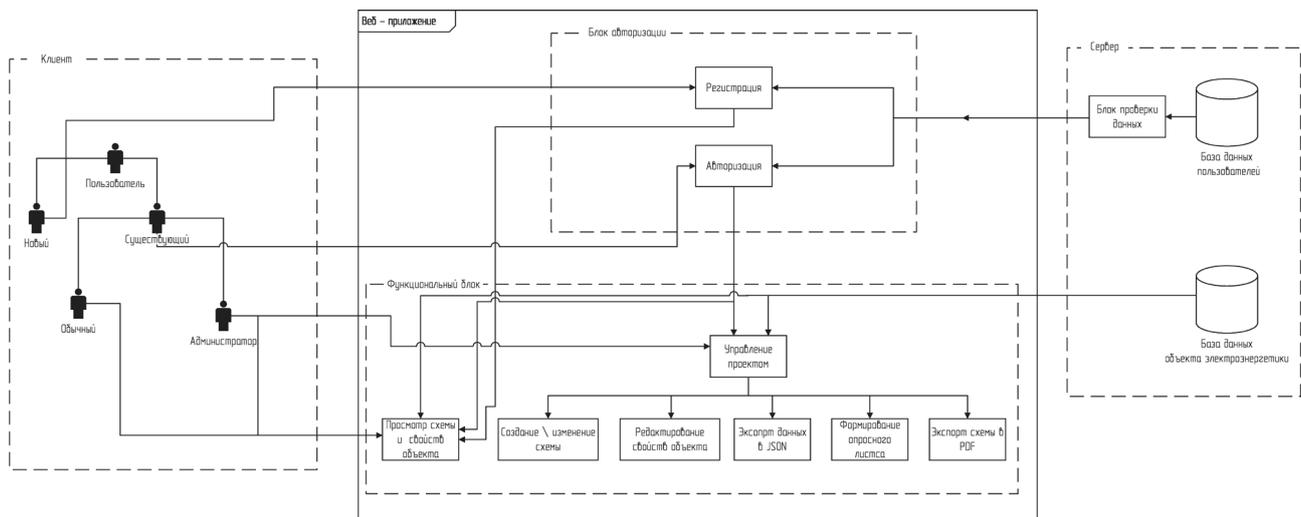


Рис. 10. Структура веб-приложения
Fig. 10. Web application structure

Для ввода в систему необходима авторизация. Сервер проверяет корректность введенных данных, и если все прошло успешно, то пользователь заносится в базу данных. При успешной авторизации от клиента отправляется запрос на загрузку данных, связанных с распределительным пунктом, и пользователю доступен функционал приложения, в зависимости от его роли. Например, обычный пользователь сможет только просматривать схему подстанции, а администратор, помимо просмотра схемы подстанции, сможет изменять параметры объектов, создавать новые схемы или редактировать существующие, экспортировать схему в *PDF*-формат или экспортировать данные в *JSON*, создавать опросные листы в *PDF*-формате.

Для реализации проекта использовался язык программирования *TypeScript*. Его главным преимуществом, помимо совместимости с *JS*, выступает строгая типизация данных [8]. Вместе с ним используется библиотека *React*. Она обеспечивает высокую отзывчивость веб-сайтов и веб-приложений, позволяя обновлять данные на странице без перезагрузки [9]. Это делает ее отличным выбором для создания динамических пользовательских интерфейсов.

Перспективы развития

Так как веб-приложение напрямую зависит от подключения к интернету, следует предусмотреть обеспечение частичной офлайн работы, добавление *PWA*.

Планируется распределение функционала в зависимости от роли пользователя (оператора):

- обычный пользователь (просмотр в безопасном режиме: можно только посмотреть схему и ее характеристики. Ничего изменять и экспортировать нельзя);
- инженер производственно-технического отдела (проектирует ячейки и всю модель, характеристики. Нельзя экспортировать);
- начальник отдела производственно-технического отдела (может проектировать ячейки, может эскортировать схему в *PDF* и делать экспорт опросного листа).

Заключение

Разработанное приложение является оптимальным решением для проектирования распределительных пунктов городских электросетей, т.к. позволяет уменьшить затраты на производство, сократить времена выхода на продукции на рынок, повысить качество подготовки персонала. Еще одним важным преимуществом является возможность диагностирования оборудования, что может заблаговременно решить многие проблемы.

Данное приложение может использоваться любыми компаниями в Российской Федерации, в которых на обслуживании присутствуют объекты соответствующего класса напряжения и функционального назначения, т.е. распределительные пункты 10(6) кВ. Такую возможность обеспечивает наличие базы данных типовых решений, так как все комплектующие соответствуют ГОСТ, либо выполняются по техническим условиям, которые должны быть утверждены заводом и управляющим органом.

Список источников:

1. Кокорев Д.С., Юрин А.А. Цифровые двойники: понятие, типы и преимущества для бизнеса // TECHNICAL SCIENCE. – 2019. – №10. (34).
2. Задоркин С.М., Борсук Н.А.. Преимущества цифровизации при проектировании электросетей // Экономика будущего: тренды, вызовы и возможности. – 2024. – С. 773-777.
3. Назаревич С.А. Автоматизация процессов прогнозирования развития сложных технических систем // Автоматизация и моделирование в проектировании и управлении. – 2019. – №1 (3).
4. Попов Н.М. Измерения в электрических сетях 0,4...10 кВ. – 2-е изд., стер. – Санкт-Петербург: Лань, 2023. – 228 с.
5. Вантеев А.И. Обслуживание электрических подстанций: теория и практика: уч. пособие. – Москва; Вологда: Инфра-Инженерия, 2021. – 368 с.
6. Сазыкин В.Г. Технологическое проектирование систем электроснабжения и объектов электросетевого хозяйства. – Санкт-Петербург: Лань, 2024. – 312 с.
7. Сухов К. HTML5 – путеводитель по технологии. – 2-е изд. – Москва: ДМК Пресс, 2014. – 352 с.
8. Новиков Ю.Н. Основные понятия и законы теории цепей, методы анализа процессов в цепях: учебное пособие. – 3-е изд., испр. и доп. – Санкт-Петербург: Лань, 2022. – 368 с.
9. Розенталс Н. Изучаем Typescript 3; перевод с английского Д.А. Беликова. – Москва: ДМК Пресс, 2019. – 608 с.
10. Леон У. Разработка веб-приложения GraphQL с React, Node.js и Neo4j; перевод с английского А. Н. Киселева. – Москва: ДМК Пресс, 2023. – 262 с.

Информация об авторах:

Онуфриева Татьяна Александровна

кандидат технических наук, доцент, Калужский филиал МГТУ им. Н.Э. Баумана.

Задоркин Сергей Михайлович

студент 4-го курса, Калужский филиал МГТУ им. Н.Э. Баумана.

Борсук Наталья Александровна

кандидат технических наук, доцент, Калужский филиал МГТУ им. Н.Э. Баумана.

References:

1. Kokorev D.S. Yurin A.A. Digital Twins: Concept, Types and Advantages for Business. Technical Science. 2019;10(34).
2. Zadorkin S.M., Borsuk N.A.. Advantages of Digitalization in Design Electrical Networks. In: Proceedings of the International Scientific Conference on the Economy of the Future: Trends, Challenges and Opportunities: 2024. p. 773-777.
3. Nazarevich S.A. Automation of Forecasting Development Processes of Complex Technical Systems. Automation and Modelling in Design and Management. 2019;1(3).
4. Popov N.M. Measurements in Power Grids 0.4 ... 10 kV. 2nd ed. Saint Petersburg: Lan; 2023.
5. Vanteev A.I. Maintenance of Electrical Substations: Theory and Practice. Moscow; Vologda: Infra-Engineering; 2021.
6. Sazykin V.G. Technological Design of Power Supply Systems and Power Grid Facilities. Saint Petersburg: Lan; 2024.
7. Sukhov K. HTML5 – a Guide to Technology. 2nd ed. Moscow: DMK Press; 2014.
8. Novikov Yu.N. Basic Concepts, Laws of Circuit Theory, Methods of Analyzing Processes in Circuits. 3rd ed. Saint Petersburg: Lan; 2022.
9. Rozentals N. Learning Typescript 3; Belikova DA, translator. Moscow: DMK Press; 2019.
10. Leon W. Developing a GraphQL Web Application With React, Node.js, and Neo4j. Kiseleva AN, translator. Moscow: DMK Press; 2023.

Information about the authors:

Onufrieva Tatyana Alexandrovna

Candidate of Technical Sciences, Associate Professor, Kaluga Branch of Bauman Moscow State Technical University.

Zadorkin Sergey Mikhailovich

4th year student, Kaluga Branch of Bauman Moscow State Technical University.

Borsuk Natalia Alexandrovna

Candidate of Technical Sciences, Associate Professor, Kaluga Branch of Bauman Moscow State Technical University.

**Вклад авторов: все авторы сделали эквивалентный вклад в подготовку публикации.
Contribution of the authors: the authors contributed equally to this article.**

**Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.
The authors declare no conflicts of interests.**

Статья поступила в редакцию 24.04.2024; одобрена после рецензирования 27.09.2024; принята к публикации 22.10.2024.

The article was submitted 24.04.2024; approved after reviewing 27.09.2024; accepted for publication 22.10.2024.

Рецензент – Малаханов А.А., кандидат технических наук, доцент, Брянский государственный технический университет.

Reviewer – Malakhanov A.A., Candidate of Technical Sciences, Associate Professor, Bryansk State Technical University.