

ТЕХНИЧЕСКИЕ НАУКИ



УДК 621.316.721

Разработка программного комплекса для автоматического выбора электротехнического оборудования

М.А. Антонов, А.Э. Богачев

Донской государственный технический университет, г. Ростов-на-Дону, Российская Федерация

Аннотация

Описывается разработанный программный комплекс, предназначенный для автоматизированного выбора электротехнического оборудования для электрических станций и подстанций. Одной из ключевых особенностей этой разработки является возможность учета всех необходимых характеристик и условий эксплуатации при выборе оборудования. Практическая значимость работы заключается в значительном сокращении времени, затрачиваемого на выбор оборудования в процессе проектирования электрических станций и подстанций.

Ключевые слова: электрооборудование, выключатель, разъединитель, трансформатор тока, трансформатор напряжения

Для цитирования. Антонов М.А., Богачев А.Э. Разработка программного комплекса для автоматического выбора электротехнического оборудования. *Молодой исследователь Дона*. 2025;10(4):33–38.

Development of a Software Package for Computerised Selection of Electrotechnical Equipment

Mikhail A. Antonov, Aleksandr E. Bogachev

Don State Technical University, Rostov-on-Don, Russian Federation

Abstract

The article presents a developed software package intended for computerised selection of the electrotechnical equipment for the electric power plants and substations. One of the key features of this development is the possibility to select equipment taking into account all the necessary parameters and operation conditions. The practical significance of the work lies in the considerable reduction of the time spent on selecting equipment when designing the electric power plants and substations.

Keywords: electrical equipment, switch, disconnector, current transformer, voltage transformer

For Citation. Antonov MA, Bogachev AE. Development of a Software Package for Computerised Selection of Electrotechnical Equipment. *Young Researcher of Don*. 2025;10(4):33–38.

Введение. В современных условиях развития электроэнергетики [1] остро стоит проблема эффективного управления техническим оснащением энергетических предприятий. Существующая энергосистема характеризуется высоким уровнем износа оборудования, который достигает 80 % в некоторых регионах. Это приводит к значительным потерям электроэнергии в сетях среднего и низкого напряжения. Традиционные методы подбора электротехнического оборудования, основанные на ручном расчете параметров и выборе оборудования из каталогов, становятся недостаточно эффективными в условиях растущего ассортимента продукции и усложнения технических требований. Возникает необходимость в создании автоматизированной системы, которая сможет оптимизировать процесс выбора оборудования с учетом множества параметров и условий эксплуатации.

Разработка программного комплекса для автоматического выбора электротехнического оборудования представляет собой актуальное решение данной проблемы. Эта система позволит не только автоматизировать процесс подбора оборудования, но и существенно снизить нагрузку на человека при решении вопросов выбора оборудования, будь то специалист промышленно-энергетического комплекса или обучающийся в университете. Внедрение подобного программного комплекса обеспечит получение достоверных данных для управления техническими активами на основе любой агрегированной информации, независимо от её типа и вида. Это позволит оптимизировать финансовые затраты при модернизации оборудования и повысить гибкость компаний в формировании тарифов.

Основная часть. Программный комплекс для выбора электрооборудования разработан на языке программирования VisualBasic.NET [2]. Этот язык обладает облегчённым и универсальным интерфейсом, что делает его более удобным в сравнении с аналогичными. Разработка позволяет осуществлять выбор основного электротехнического оборудования электрической станции, а именно: высоковольтного выключателя, разъединителя, трансформатора тока и трансформатора напряжения. На рис. 1 представлено главное окно программы, содержащее блоки с вариантами выбора оборудования, а также окно «Справочник энергетика», где представлена вспомогательная литература по теме выбора оборудования в электроэнергетике [3, 4].



Рис. 1. Главное окно программного комплекса выбора оборудования

Первый шаг включает в себя задание характеристик оборудования и результатов расчета токов короткого замыкания. Второй шаг — это просмотр выбранного в результате проверки типа оборудования и итогов проведенных проверок. Результаты выбора и проверок можно сохранить в файл с помощью соответствующей кнопки. Файл сохраняется в формате .txt. В случае, если результаты проверок окажутся неудовлетворительными, предусмотрена возможность возврата к первому шагу. Каждый блок программы содержит 20 типов оборудования.

Теперь рассмотрим каждый блок отдельно, начнем с блока «Выбор трансформатора тока». Этот блок предназначен для выбора необходимого трансформатора тока в зависимости от его места установки, а именно:

- трансформатор тока (ТТ) в цепи трансформатора (автотрансформатора);
- трансформатор тока в цепи линии с напряжением 110 кВ и выше;
- трансформатор тока в цепи линии с напряжением до 35 кВ.

Стоит отметить, что для каждого места установки предусмотрен определённый перечень подключаемых приборов. Функционал программы не позволяет пользователю задавать собственный список приборов, однако, поскольку будем использоваться в большинстве случаев похожие устройства, в программе уже установлены основные приборы.

Основными условиями для выбора трансформатора тока являются следующие параметры: номинальное напряжение сети в киловольтах (кВ), максимальный ток нормального режима в амперах (А), периодическая составляющая тока короткого замыкания в начальный момент времени в килоамперах (кА), ударный ток короткого замыкания также в килоамперах, а также расчётная длина проводов в метрах (м). Кроме того, имеется возможность ввода времени срабатывания резервной релейной защиты и временной постоянной цепи в условиях короткого замыкания; оба значения в секундах.

Рассмотрим наглядно пример работы блока «Выбор трансформатора тока» на основе данных, представленных на рис. 2.

Рис. 2. Окно «Выбор трансформатора тока (шаг 1)»

После задания всех нужных характеристик можно перейти к шагу 2 при помощи соответствующей кнопки. Перейдя к шагу 2, необходимо нажать на кнопку «Показать выбранный в результате проверки тип оборудования и результаты проверок». Данная кнопка аналогична в каждом из блоков разработанного программного комплекса. После на экране появляются результаты проверок и сам тип выбранного оборудования (рис. 3).

Условие выбора трансформатора тока	Неравенство	Результаты расчета	Каталожные данные	Выполнение условия
1. Выбор по номинальному напряжению, кВ	$U_c \leq U_{ном}$	110	110	соблюдено
2. Выбор по номинальному току, кА	$I_{ном.расч.} \leq I_{ном}$	290	300	соблюдено
3. Проверка на термическую стойкость, (кА) ² ·с за время действия резервной релейной защиты	$B_{кр.рез} \leq I_T^2 t_T$	181,5	432	соблюдено
4. Проверка на электродинамическую стойкость, кА	$i_{уд} \leq i_{дин}$	60	62	соблюдено
5. Проверка по вторичной нагрузке, Ом	$Z_2 \leq Z_{2ном}$	1,11837	1,2	соблюдено

Дополнительные сведения из проверок трансформатора тока			
Расчетное сечение провода, мм ²	4,5465	Стандартное сечение провода, мм	5
Сопrotивление провода, Ом	0,81837	Сопrotивление приборов, Ом	0,2
Мощность приборов, ВА	5	Расчетная длина провода, м	135
		Контактное сопротивление, Ом	0,1

Рис. 3. Окно «Выбор трансформатора тока (шаг 2)»

Исходя из данных, представленных на рис. 3, можно заключить, что выбранный трансформатор тока типа ТФЗМ-110Б-I-U1 300 полностью соответствует всем исходным данным, которые были заданы ранее. Теперь перейдем к блоку «Выбор трансформатора напряжения».

Трансформатор напряжения имеет только один ключевой параметр для выбора, а именно — номинальное напряжение сети, выраженное в киловольтах (кВ). Для каждого типа напряжения предусмотрен собственный перечень подключаемых приборов. Аналогично блоку «Выбор трансформатора тока», изменить этот перечень невозможно. Окно с шагом 1 проиллюстрировано на рис. 4.

Рис. 4. Выбор трансформатора напряжения (шаг 1)

Для примера выберем трансформатор напряжения классом напряжения 110 кВ. Результаты выбора представлены на рис. 5.

Условие выбора выключателя	Неравенство	Результаты расчета	Каталожные данные	Выполнение условия
1. Выбор по номинальному напряжению, кВ	$U_c \leq U_{ном}$	110	110	соблюдено
2. Проверка по классу точности, ВА	$S_{2T} \leq 3 \cdot S_{2H}$	159,3	1200	соблюдено

Рис. 5. Выбор трансформатора напряжения (шаг 2)

Исходя из рис. 5, можно увидеть, что выбранный трансформатор напряжения типа НКФ-110-83ХЛ1 проходит проверку по номинальному напряжению и по классу точности.

Далее перейдем к блоку «Выбор разъединителя». Этот блок предназначен для выбора разъединителя в зависимости от типа его установки — внутренней или наружной. Основными характеристиками, на которые следует обратить внимание при выборе разъединителя, являются следующие: номинальное напряжение сети, выраженное в кВ, максимальный ток в нормальном режиме, измеряемый в А, периодическая составляющая тока короткого замыкания в начальный момент времени, обозначаемая в кА, а также ударный ток короткого замыкания, также в кА. Кроме того, существует возможность задать значения времени срабатывания резервной релейной защиты и постоянной времени цепи с коротким замыканием, оба из которых указываются в секундах. Рассмотрим работу блока на примере заданных характеристик, представленных на рис. 6.

Рис. 6. Выбор разъединителя (шаг 1)

На рис. 7 представлено окно блока «Выбор разъединителя» (шаг 2).

Условие выбора разъединителя	Неравенство	Результаты расчета	Каталожные данные	Выполнение условия
1. Выбор по номинальному напряжению, кВ	$U_c \leq U_{ном}$	110	330	соблюдено
2. Выбор по номинальному току, А	$I_{норм.расч.} \leq I_{ном}$	3150	3200	соблюдено
3. Проверка на термическую стойкость, (кА) ² с за время действия резервной релейной защиты	$B_{к.р.з.} \leq I_T^2 t_T$	365,04	7938	соблюдено
4. Проверка на электродинамическую стойкость, кА	$I_{пт} \leq I_{дин}$ $i_{уд} \leq i_{дин}$	78 221	160 226,24	соблюдено

Рис. 7. Выбор разъединителя (шаг 2)

Исходя из рис. 7, можно заключить, что предложенный в программе разъединитель РП-330Б-2/3200УХЛ1 полностью соответствует всем ранее заданным условиям.

В последующем рассмотрим блок «Выбор выключателя». Этот блок предоставляет возможность подобрать выключатель в зависимости от его типа, а именно: элегазовый, с магнитным гашением дуги, малообъемный масляный или вакуумный. Основные параметры, необходимые для выбора выключателя, аналогичны тем, которые применяются для разъединителя (рис. 6).

На примере параметров, представленных на рис. 8, проверим работу программного комплекса.

Рис. 8. Выбор выключателя (шаг 1)

На рис. 9 представлены результаты выбора и проверок выключателя.

Условие выбора выключателя	Неравенство	Результаты расчета	Каталожные данные	Выполнение условия
1. Выбор по номинальному напряжению, кВ	$U_c \leq U_{ном}$	220	220	соблюдено
2. Выбор по номинальному току, А	$I_{ном.расч.} \leq I_{ном}$	150	3150	соблюдено
3. Проверка на отключающую способность, кА	$\sqrt{2}I_{пт} + i_{нл} \leq \sqrt{2}I_{откл.ном} \left(1 + \frac{\beta_{ном}}{100}\right)$	49.49	106.6806	соблюдено
4. Проверка на термическую стойкость, (кА) ² с за время действия основной релейной защиты	$B_{к.осн} \leq I_T^2 t_T$	34.3	5000	соблюдено
5. Проверка на термическую стойкость, (кА) ² с за время действия резервной релейной защиты	$B_{к.рез} \leq I_T^2 t_T$	67.375	5000	соблюдено
6. Проверка на электродинамическую стойкость, кА	$I_{пт} \leq I_{дин}$ $i_{уш} \leq i_{дин}$	35 66	50 127	соблюдено
7. Проверка на включающую способность, кА	$I_{пт} \leq I_{вкл.ном}$ $i_{уш} \leq i_{вкл.ном}$	35 66	50 127	соблюдено

Рис. 9. Выбор выключателя (шаг 2)

Исходя из рис. 9, можно заключить, что данный блок функционирует исправно. Предложенный программный комплекс для проверки выключателя успешно проходит все необходимые проверки, что позволяет утверждать, что данный выключатель можно использовать в работе в соответствии с заданными параметрами.

Заключение. Разработанный программный комплекс, предназначенный для выбора основного электротехнического оборудования, обладает универсальностью, простотой в использовании и понятностью. В его составе представлено оборудование как зарубежных, так и отечественных производителей.

Эта разработка может быть использована студентами направления «Электроэнергетика и электротехника» при выполнении курсовых и дипломных проектов. В настоящее время разработанный программный комплекс применяется авторами в рамках дисциплины «Специальные вопросы выбора оборудования объектов профессиональной деятельности» на кафедре «Цифровые технологии и платформы в электроэнергетике» Донского государственного технического университета.

Список литературы

1. Положение ПАО «Россети» «О единой технической политике в электросетевом комплексе». URL: https://www.rosseti.ru/upload/docs/tehpolitika_29.04.2022.pdf (дата обращения: 10.03.2025).
2. Гайсаров Р.В., Лисовская И.Т. Выбор электрической аппаратуры, токоведущих частей и изоляторов. Учебное пособие к курсовому и дипломному проектированию. Челябинск: Издательство ЮУрГУ; 2002. 59 с.
3. Якушева Н. М. Введение в программирование на языке Visual Basic.Net. Учебное пособие. Москва: Финансы и статистика; 2015. 320 с.
4. Рожкова Л.Д., Карнеева Л.И., Чиркова Т.В. Электрооборудование электрических станций и подстанций: учебник для студ. сред. проф. образования. 4-е издание. Москва: Издательский центр «Академия»; 2007. 448 с.

Об авторах:

Михаил Андреевич Антонов, старший преподаватель кафедры цифровых технологий и платформ в электроэнергетике Донского государственного технического университета (344023, Российская Федерация, г. Ростов-на-Дону, пл. Страны Советов, 1), mantonov@donstu.ru

Александр Эдуардович Богачев, аспирант кафедры цифровых технологий и платформ в электроэнергетике Донского государственного технического университета (344023, Российская Федерация, г. Ростов-на-Дону, пл. Страны Советов, 1), abogachev@donstu.ru

Конфликт интересов: авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Все авторы прочитали и одобрили окончательный вариант рукописи.

About the Authors:

Mikhail A. Antonov, Senior Lecturer of the Digital Technologies and Platforms in the Electric Power Industry Department, Don State Technical University (1, Strana Sovetov Sq., Rostov-on-Don, 344023, Russian Federation), mantonov@donstu.ru

Aleksandr E. Bogachev, Postgraduate Degree Student of the Digital Technologies and Platforms in the Electric Power Industry Department, Don State Technical University University (1, Strana Sovetov Sq., Rostov-on-Don, 344023, Russian Federation), abogachev@donstu.ru

Conflict of Interest Statement: the authors declare no conflict of interest.

All authors have read and approved the final manuscript.