

СЕКЦИЯ 7 Судовая электротехника

Иванова М.К., Соловей В.С.

ФГУП «Крыловский государственный научный центр», Санкт-Петербург, Россия

КОМПЛЕКСНОЕ ПРОГРАММНОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ДЛЯ ПРОЕКТИРОВАНИЯ СУДОВЫХ ЭЛЕКТРОЭНЕРГЕТИЧЕСКИХ СИСТЕМ

Приведено описание отечественного комплексного программного обеспечения для проектирования судовых электроэнергетических систем, которое может являться основой для создания системы сквозного проектирования. Новый многофункциональный инструмент обеспечения исследовательского, эскизного и технического проектирования судовых электроэнергетических систем охватывает значительную часть расчетов на основе стандартов РФ. Программное обеспечение предназначено для конструкторских бюро-проектантов и инженеров-исследователей и обеспечивает повышение качества проектирования за счет проработки большего количества альтернативных вариантов систем, повышение производительности труда при проектировании и снижение вероятности субъективных ошибок.

Ключевые слова: судовая электроэнергетическая система, компонент программного комплекса, проектирование, программное обеспечение, база данных.

Авторы заявляют об отсутствии возможных конфликтов интересов.

Для цитирования: Иванова М.К., Соловей В.С. Комплексное программное обеспечение для проектирования судовых электроэнергетических систем. Труды Крыловского государственного научного центра. 2018; специальный выпуск 1: 169–176.

УДК 629.5.066:621.311

DOI: 10.24937/2542-2324-2018-1-S-I-169-176

SECTION 7 Ship electric engineering

Ivanova M., Solovey V.

Krylov State Research Centre, St. Petersburg, Russia

INTEGRATED DESIGN SOFTWARE FOR MARINE ELECTRIC POWER SYSTEMS

This paper describes Russian integrated design software for marine electric power systems that can become a basis for development of end-to-end design system. Being a new multi-functional tool for research, conceptual and detailed design of marine electric power systems, this software encompasses a considerable part of calculations and is based on Russian standards. The software is intended for design offices and research engineers and enhances design quality by investigating a large number of variants for systems, as well as increases design labour productivity and reduces probability of subjective errors.

Key words: marine power system, software component, design, software, database.

Authors declare lack of the possible conflicts of interests.

For citations: Ivanova M., Solovey V. Integrated design software for marine electric power systems. Transactions of the Krylov State Research Centre. 2018; special issue 1: 169–176 (in Russian).

UDC 629.5.066:621.311

DOI: 10.24937/2542-2324-2018-1-S-I-169-176



Введение

Introduction

Проектирование судовых электроэнергетических систем (СЭЭС) осуществляется на основании отраслевых стандартов (ОСТ), государственных стандартов (ГОСТ), руководящих документов (РД) и других нормативных документов.

Как правило, конструкторские бюро-проектанты (КБ) используют при проектировании либо зарубежные программные продукты, реализующие иностранные стандарты, либо узкоспециализированные программы собственной разработки, либо программные средства общего назначения, такие как MS Excel. Это не позволяет оперативно и качественно обрабатывать несколько различных проектов: выполнение нового проекта требует изменения существующего расчетного инструмента или создания нового. Таким образом, при проектировании СЭЭС не обеспечивается необходимый уровень автоматизации, отсутствуют элементы сквозного проектирования СЭЭС, такие как эффективная передача данных и результатов, полученных на конкретном этапе проектирования, на последующие уровни, а также использование общей информационной базы. Это приводит к увеличению трудозатрат, повышению вероятности ошибок при проектировании, снижению качества разработок.

Анализ современного рынка программного обеспечения (ПО) показал, что не существует единого, универсального, гибкого программного пакета отечественной разработки, ориентированного на

комплексные решения задач проектирования СЭЭС и способного объединить в себе большую часть выполняемых расчетов. Зарубежное ПО не всегда применимо к решению задач отечественного судостроения, т.к. оно реализует зарубежные стандарты.

Разработанное комплексное ПО в обеспечение исследовательского, эскизного и технического проектирования СЭЭС основано на действующих в РФ требованиях к проектированию СЭЭС и имеет более широкие функциональные возможности по сравнению с зарубежными программами. В перспективе данное ПО может стать основой для создания системы сквозного проектирования СЭЭС.

Комплексное программное обеспечение

Integrated software

Комплексное ПО состоит из 15 программ (компоненты программного комплекса, рис. 1), базы данных (БД) судового электрооборудования (ЭО) и среды схемотехнического моделирования.

В таблице приведен состав комплексного ПО с указанием стандартов, лежащих в его основе. Концепция проектирования СЭЭС с использованием комплексного ПО представлена на рис. 2.

Как правило, проектирование СЭЭС начинается с определения значения и характера нагрузки на гребные электродвигатели при разгоне, торможении и реверсе судна по известной мощности на валах гребных двигателей. Для этого служит программа «Исследование режимов движения судна».

В обеспечение обоснования выбора напряжения и расчета мощности электростанции используется программа «Расчет электрических нагрузок судовых электроэнергетических систем» с формированием таблиц расчетных данных.

Ввод данных в программе осуществляется пользователем в табличном виде по группам потребителей электроэнергии. В таблицах предусмотрены как поля для ввода данных, так и поля, значения в которых рассчитываются автоматически после занесения исходных данных. В программе предусмотрены добавление пользователем до тридцати расчетных режимов с занесением по каждому из них входной информации, и расчет общих показателей и пятидесяти групп. В качестве дополнительных возможностей работы есть возможность занесения информации по распределительным щитам и прикрепления каждой единицы оборудования к конкретному распределительному щиту и расчет по нему. Программа непо-

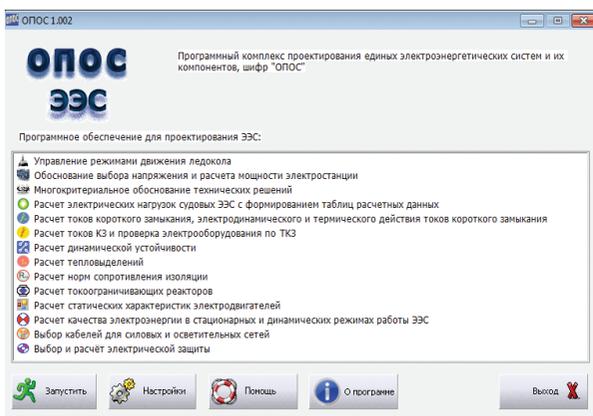


Рис. 1. Главное окно комплексного программного обеспечения для проектирования судовых электроэнергетических систем

Fig. 1. Main window of integrated design software for marine electric power systems

Состав и структура программного обеспечения

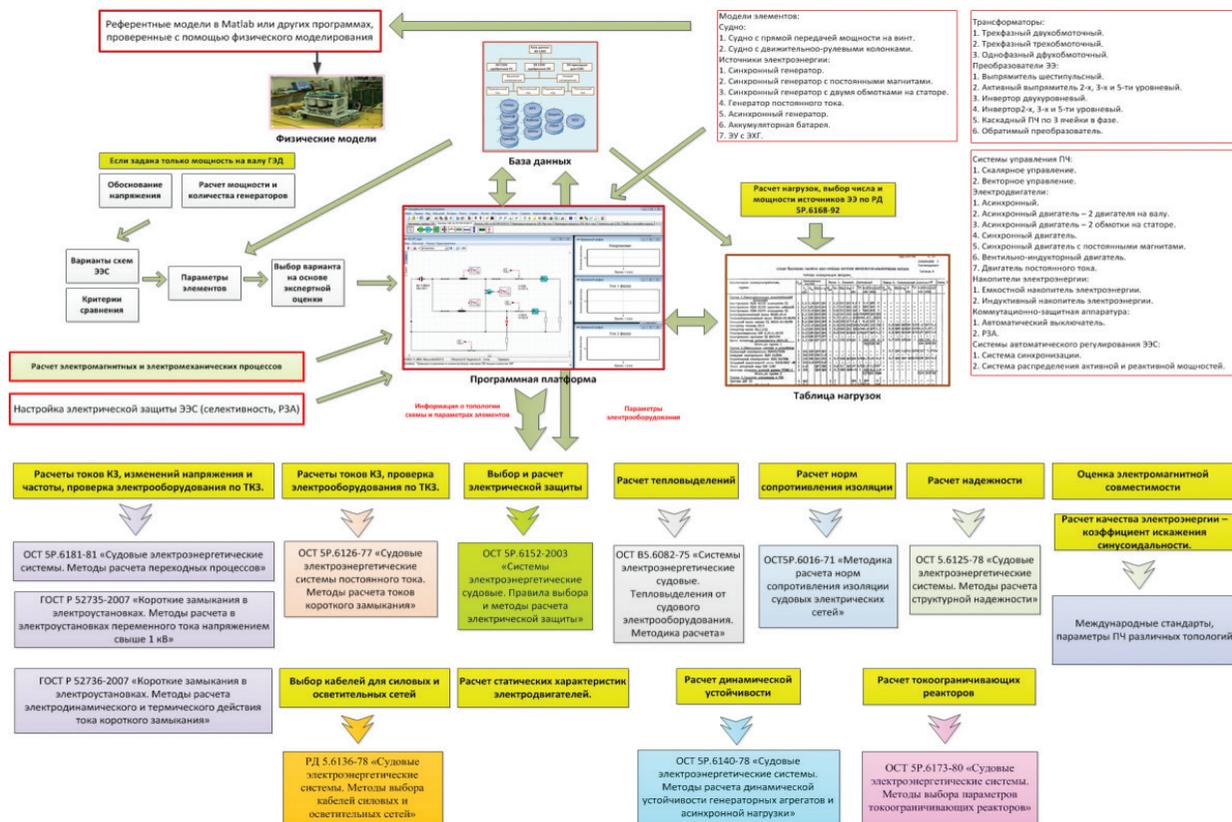


Рис. 2. Концепция проектирования судовой электроэнергетической системы с использованием комплексного ПО
Fig. 2. Design concept of ship electric power system based on integrated software

средственно связана со схмотехнической моделью и базой данных судового ЭО.

Программа «Выбор напряжения и расчет мощности электростанции» служит для определения на основе рассчитанной мощности на валу гребных электродвигателей (ГЭД) и мощности потребителей собственных нужд, полученной в результате расчета нагрузок, значения напряжения и мощности ГЭД и напряжения электростанции.

Инструментом, оказывающим помощь при сравнении альтернативных вариантов СЭЭС и их элементов, является программа «Многокритериальное обоснование технических решений».

Исходным звеном для дальнейшего проектирования является схмотехническая модель проектируемой СЭЭС, которая выступает центральным звеном процесса моделирования и расчета. Ее формирование осуществляется посредством среды схмотехнического моделирования, в качестве которой выбрана

перспективная отечественная система SimInTech. Это система модельно-ориентированного проектирования систем автоматического управления, среда создания математических моделей, алгоритмов управления, интерфейсов управления и автоматической генерации кода для программируемых контроллеров и графических дисплеев. Среда схмотехнического моделирования содержит библиотекой моделей элементов СЭЭС и типовых моделей систем и обеспечивает передачу топологии набранной схемы с параметрами элементов в программы комплексного ПО.

Разработанные в среде моделирования схемы СЭЭС передаются для дальнейшего расчета в программы комплексного ПО.

Для расширения возможностей при наборе схемы и повышения гибкости при выборе состава элементов создана БД судового ЭО (рис. 3). БД содержит набор параметров по каждому виду оборудова-

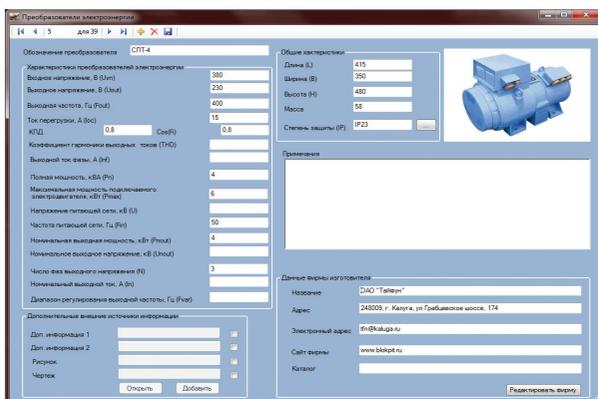


Рис. 3. База данных судового электрооборудования

Fig. 3. Database of electric equipment for ships

ния, достаточный для проведения соответствующих расчетов, и позволяет выбирать определенный элемент по характеристикам и включать его в состав схемы. Также предусмотрена возможность расширения базы новыми элементами в случае, если предложенного набора недостаточно. БД является независимым программным продуктом, позволяющим добавлять и редактировать элементы, делать выборку по ним, а также может выступать справочной средой проектанта.

Для сравниваемых и в дальнейшем выбранных схем СЭЭС выполняются расчеты токов короткого замыкания. Аналитический расчет данных процессов реализован в программах:

«Расчет токов короткого замыкания в судовых ЭЭС постоянного тока».

1. Программа решает следующие задачи:

- создание и редактирование электроэнергетических схем постоянного тока;
- расчет токов короткого замыкания в электрических сетях постоянного тока;
- проверка элементов схемы по режимам короткого замыкания.

2. Для расчета ТКЗ возможно использование схемы, набранной в SimInTech или сформированной в данной программе.

«Расчет токов короткого замыкания в судовых ЭЭС переменного тока».

Программа предназначена для расчета токов короткого замыкания и содержит средства для создания и редактирования топологии электрической схемы для формирования показателей величины ударного тока КЗ.

Структура расчета аналогична расчету предыдущей программы, т.е. возможно набрать схему в

среде моделирования, передать топологию в данную программу либо задать непосредственно в окне программы.

В программе «Расчет динамической устойчивости генераторных агрегатов и асинхронной нагрузки в судовых ЭЭС» содержатся инструменты расчета динамической устойчивости системы с одиночным генераторным агрегатом (ГА), с двумя и тремя ГА. Программа позволяет задавать различные сценарии работы исследуемой системы: запуск ГА, синхронизация, включение на параллельную работу, несинхронные включения, исследование воздействия на систему короткого замыкания в различных точках, внезапная остановка одного из ГА, запуск асинхронного двигателя (АД) и т.д.

Для проведения расчетов надежности судовых энергетических систем разработана программа «Расчет структурной надежности судовых ЭЭС». Она позволяет выполнить оценку структурной отказоустойчивости резервированной системы и расчет следующих показателей надежности:

- безотказности;
- ремонтпригодности;
- готовности.

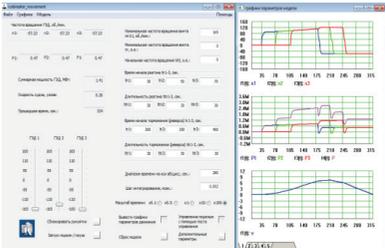
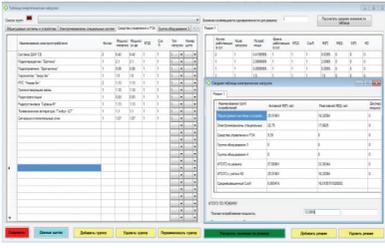
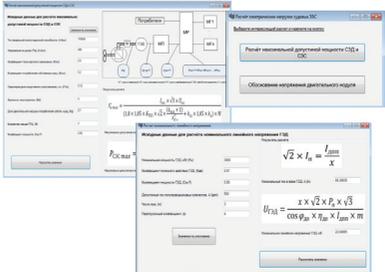
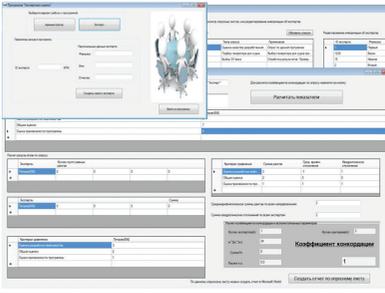
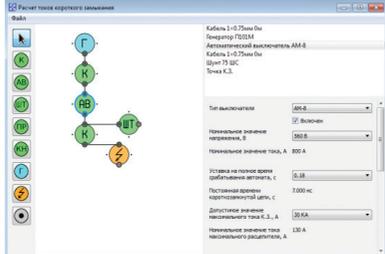
Программа расчета «Тепловыделений от судового электрооборудования» производит расчет тепловыделений в окружающую среду от различных видов силового ЭО при проектировании СЭЭС постоянного и переменного токов.

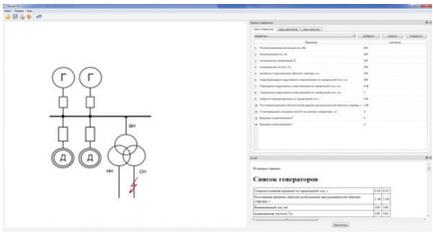
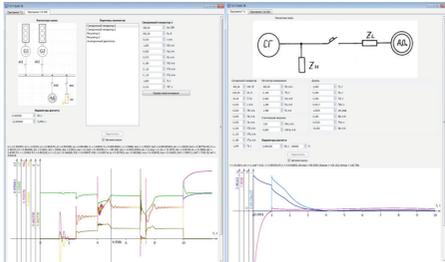
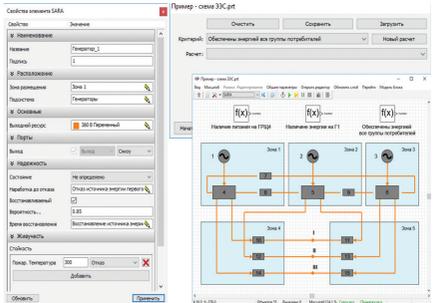
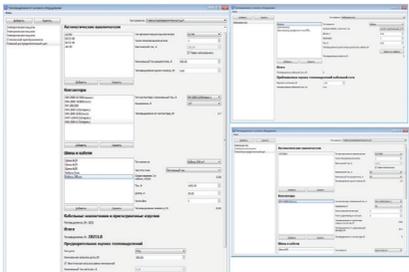
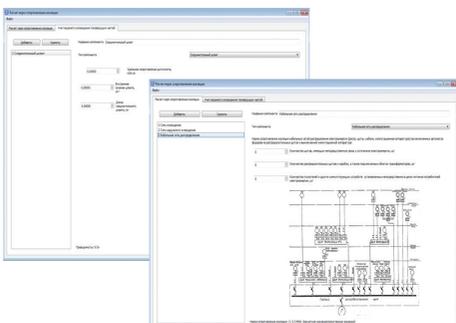
Для расчета норм сопротивления изоляции при проектировании СЭЭС постоянного и переменного тока служит программа «Расчет норм сопротивления изоляции судовых электрических сетей».

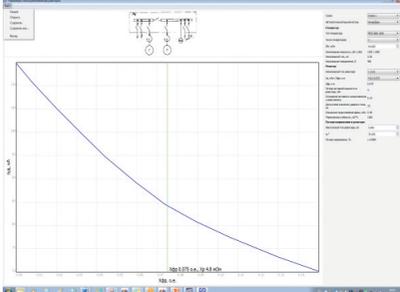
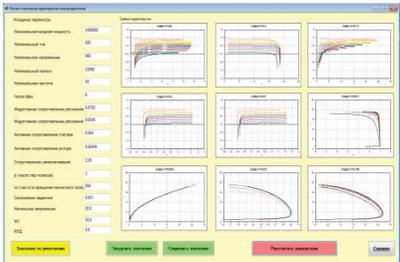
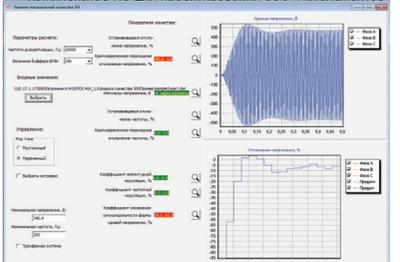
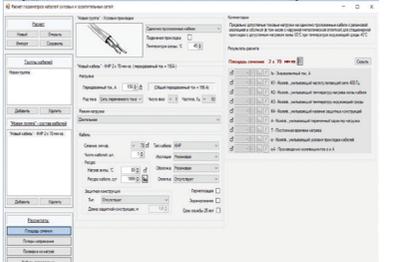
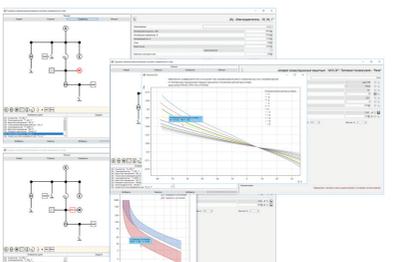
Автоматизация выбора параметров токоограничивающих реакторов осуществляется с помощью программы «Выбор параметров токоограничивающих реакторов», которая автоматизирует процесс выбора параметров токоограничивающих реакторов и расчета потерь напряжения в реакторе.

Для расчета характеристик АД с целью определения функциональных взаимосвязей его параметров, обеспечивающих оптимальное управление по выбранным критериям, создана программа «Расчет статических характеристик электродвигателей». Она позволяет выполнять определение взаимных зависимостей параметров частотно-управляемого АД (напряжения, токов статора, ротора и намагничивания, частоты, скольжения, момента, магнитного потока, коэффициента мощности) по параметрам схемы замещения, полных и электромагнитных потерь частотно-управляемого асинхронного электродвигателя

Таблица. Состав комплексного ПО
Table. Components of integrated software

| № п/п | Окно программы | Название программы | Стандарт |
|-------|---|--|--|
| 1 |  | Программа управления режимами движения судна | |
| 2 |  | Программа расчета электрических нагрузок судовых ЭЭС с формированием таблиц расчетных данных | РД5Р.6168-92 «Методы расчета электрических нагрузок и определения необходимой мощности генераторов электростанций» |
| 3 |  | Программа обоснования выбора напряжения и расчета мощности электростанции | |
| 4 |  | Программа многокритериального обоснования технических решений | |
| 5 |  | Расчет токов короткого замыкания | ОСТ 5Р.6126-77 «Судовые электроэнергетические системы постоянного тока. Методы расчета токов короткого замыкания» |

| № п/п | Окно программы | Название программы | Стандарт |
|-------|---|--|--|
| 6 |  | Программа расчета токов короткого замыкания в ЭЭС переменного тока, электродинамического и термического действия токов короткого замыкания в ЭЭС | ОСТ 5P.6181-81 «Судовые электроэнергетические системы. Методы расчета переходных процессов» |
| 7 |  | Расчет динамической устойчивости генераторных агрегатов и асинхронной нагрузки | ОСТ 5P.6140-78 «Судовые электроэнергетические системы. Методы расчета динамической устойчивости генераторных агрегатов и асинхронной нагрузки» |
| 8 |  | Модуль расчета надежности при проектировании ЭЭС | ОСТ 5.6125-78 «Судовые электроэнергетические системы. Методы расчета структурной надежности» |
| 9 |  | Расчет тепловыделений от силового оборудования | ОСТ В5.6082-75 «Системы электроэнергетические судовые. Тепловыделения от судового электрооборудования. Методика расчета» |
| 10 |  | Расчет норм сопротивления изоляции судовых электрических сетей | ОСТ5P.6016-71 «Методика расчета норм сопротивления изоляции судовых электрических сетей» |

| № п/п | Окно программы | Название программы | Стандарт |
|-------|---|---|---|
| 11 |  | <p>Выбор параметров токоограничивающих реакторов</p> | <p>ОСТ 5P.6173-80 «Судовые электроэнергетические системы. Методы выбора параметров токоограничивающих реакторов»</p> |
| 12 |  | <p>Программа расчета статических характеристик электродвигателей</p> | |
| 13 |  | <p>Программа расчета качества электроэнергии в стационарных и динамических режимах работы ЭЭС</p> | |
| 14 |  | <p>Методы выбора кабелей силовых и осветительных сетей</p> | <p>РД 5.6136-78 «Судовые электроэнергетические системы. Методы выбора кабелей силовых и осветительных сетей»</p> |
| 15 |  | <p>Правила выбора и методы расчета электрической защиты</p> | <p>ОСТ 5P.6152-2003 «Системы электроэнергетические судовые. Правила выбора и методы расчета электрической защиты»</p> |

с учетом эффекта вытеснения тока и насыщения, оптимальных значений магнитного потока и абсолютно-го скольжения, расчет зависимостей тока (напряжения) от частоты по критериям минимума потерь, максимума КПД и максимума коэффициента мощности.

Для расчета качества электроэнергии служит программа «Расчет качества электроэнергии в стационарных и динамических режимах работы судовых ЭЭС», которая осуществляет анализ массива параметров измеренных или рассчитанных процессов в СЭЭС и расчет показателей качества электроэнергии.

С помощью программы «Выбор и расчет электрической защиты» выполняется выбор и расчет характеристик защитных устройств, аппаратов и систем защиты при проектировании судовых электроэнергетических систем переменного тока. Программа помогает осуществлять подбор и расчет защиты участков СЭЭС при:

- коротких замыканиях;
- перегрузке;
- повреждении или аварийной остановке первичного двигателя;
- обрыве одной фазы питающей сети;
- снижении частоты;
- снижении или исчезновении напряжения.

В данной программе реализован выбор защит для 5 элементов ЭЭС: генератора, сети, электродвигателя, трансформатора, цепей управления и сигнализации. Программа позволяет пользователю выбирать и рассчитывать защиту для этих элементов ЭЭС. Окно программы содержит два списка, один из которых представляет элементы или участки сети, а второй – примененные к ним устройства защиты.

«Выбор кабелей силовых и осветительных сетей судовых ЭЭС» – программа для расчета параметров кабельных трасс при проектировании судовых силовых и осветительных кабельных сетей постоянного и переменного тока. Она обеспечивает:

- выбор жилы и сечения кабелей;
- расчет потерь напряжения в кабельных трассах;
- проверку кабельной трассы на нагрев;
- расчет параллельно подключенных на фазу или полюс кабелей;

- расчет параметров кабелей, объединенных в группы. Каждая группа представляет собой пучок или совокупность одиночно проложенных кабелей, объединенных по какому-либо признаку (принадлежность фидеру питания).

Заключение

Conclusion

Комплексное программное обеспечение является полностью отечественной разработкой. Совокупность описанных в данной статье функциональных возможностей является новейшей и уникальной разработкой на отечественном рынке программного обеспечения. На этапах проектирования формируются отчетные документы по результатам выполненных расчетов. Разработанное ПО при комплексном применении может служить основой для обеспечения сквозного проектирования судовых ЭЭС, а также является инструментарием проектанта-разработчика на соответствующих этапах проектирования.

Разработанное комплексное ПО не является конечным программным продуктом, планируется расширение его функциональных возможностей, в том числе реализация стандартов МЭК.

Сведения об авторах

Иванова Мария Константиновна, инженер 2 категории ФГУП «Крыловский государственный научный центр». Адрес: 196158, Россия, Санкт-Петербург, Московское шоссе, д. 44. Тел.: 8 (812) 386-67-02; E-mail: golife@mail.ru.

Соловей Валерий Сергеевич, инженер 1 категории ФГУП «Крыловский государственный научный центр». Адрес: 196158, Россия, Санкт-Петербург, Московское шоссе, д. 44. Тел.: 8 (812) 386-67-02; E-mail: walbel@mail.ru.

About the authors

Ivanova M., 2nd Category Engineer, Krylov State Research Centre. Address: Moskovskoye sh. 44, St. Petersburg, Russia, 196158. Tel.: 8 (812) 386-67-02; E-mail: golife@mail.ru.

Solovey V., 1st Category engineer, Krylov State Research Centre. Address: Moskovskoye sh. 44, St. Petersburg, Russia, 196158. Tel.: 8 (812) 386-67-02; E-mail: walbel@mail.ru.

Поступила / Received: 14.02.18
Принята в печать / Accepted: 18.04.18
© Иванова М.К., Соловей В.С., 2018