

В. А. Агеев¹, К. А. Душутин¹, Д. С. Репьев¹, Д. В. Казаков¹

¹ *Национальный исследовательский Мордовский государственный университет им. Н. П. Огарёва, г. Саранск, Российская Федерация*

ПРИМЕНЕНИЕ ПРОГРАММНОГО КОМПЛЕКСА ДЛЯ РАСЧЕТОВ РЕЖИМОВ ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ СЕТЕЙ ПРИ ПРОЕКТИРОВАНИИ ПОДСТАНЦИЙ

Аннотация. В работе предлагается алгоритм для определения показателей балансов мощности для подстанций электрических сетей на основе анализа их топологии и результатов моделирования установившегося режима. Программная реализация выполнялась в программном комплексе для расчета режимов электрических сетей, разработанном в ФГБОУ ВО «МГУ им. Н. П. Огарёва». При помощи предложенного алгоритма было исследовано изменение балансов мощности подстанции ПС 220 кВ «Комсомольская» после ее реконструкции.

Ключевые слова: режим электрической сети, электрическая подстанция, баланс активной мощности, баланс реактивной мощности, потери мощности, программный комплекс.

V. A. Ageev¹, K. A. Dushutin¹, D. S. Repyev¹, D. V. Kazakov¹

¹ *National Research Mordovia State University, Saransk, Russian Federation*

APPLICATION OF THE SOFTWARE PACKAGE FOR CALCULATING THE MODES OF ELECTRICAL POWER GRIDS IN THE DESIGN OF SUBSTATIONS

Abstract. The paper proposes an algorithm for determining the indicators of power balances for substations of electric power grids based on the analysis of their topology and the results of steady-state mode modeling. The software implementation was carried out in the software package for calculating the modes of electric power grids, developed in the National Research Mordovia State University. The proposed algorithm was used to study the change in the power balances of the 220 kV Komsomolskaya substation after its reconstruction.

Keywords: electrical power grid mode, electrical substation, active power balance, reactive power balance, power loss, software package.

Введение. На стадии проектирования и при последующей эксплуатации электрических сетей необходимо оценивать условия, в которых будет работать оборудование самих сетей, электрических подстанций и потребителей электрической энергии. Такая оценка дает возможность проверки допустимости предполагаемых режимов для обеспечения надежного электроснабжения и соответствия качества электрической энергии требованиям стандарта. Проектирование новых или реконструкция существующих подстанций также требует такой оценки. Осуществляется оценка на основании результатов моделирования режима сети, выполняемом, как правило, с применением специализированных программных комплексов.

Применение программных комплексов для моделирования режимов электрических сетей. Для решения задач, возникающих при проектировании и эксплуатации электрических сетей, необходимо выполнение расчетов установившихся нормальных, ремонтных и послеаварийных режимов. С учетом высокой сложности современных электрических сетей, содержащих большое количество элементов, объем вычислений, необходимых для расчета режимов будет очень большим, и такие расчеты выполняются с использованием специализированных программно-вычислительных комплексов для ЭВМ. К наиболее распространенным программно-вычислительным комплексам можно отнести RastrWin [1] и EnearyCS [2]. Кроме того существует значительное количество разработок различных исследовательских коллективов, отличительной особенностью которых является возможность выполнения специфических расчетов, над которыми работают указанные коллективы, и возможность внесения изменений в программный код, поскольку это самостоятельные разработки.

Одной из таких специфических задач является необходимость проведения моделирования режима и выполнения анализа баланса мощностей не только для всей электрической сети, но и для отдельных структурных подразделений различных уровней (электроснабжающих организаций, производственных отделений, районов электрических сетей), в том числе электрических подстанций. Частично такая возможность реализована в комплексе EnergyCS, который позволяет выделить объекты следующих иерархических уровней: системы, сети, районы электрических сетей (РЭС), подстанции (ПС). Однако объекты вида ПС предназначены для расчетов разомкнутых распределительных сетей 6 – 10 кВ для распределения мощности головных участков пропорционально коэффициентам загрузки трансформаторов и выполнить анализ параметров для подстанций более высоких классов напряжения затруднительно.

Возможность разделять элементы электрических сетей по иерархическим уровням присутствует и в программном комплексе для расчета режимов электрических сетей, разработанном в ФГБОУ ВО «МГУ им. Н. П. Огарёва» [3, 4]. В комплексе поддерживается возможность выделить структурные подразделения следующих иерархических уровней: объединение (электроснабжающая организация), филиал, район электрических сетей. Кроме того, предусмотрено объединение элементов электрических сетей в подстанции. Пример окна редактирования объектов иерархической структуры электрических сетей представлено на рис.1. Пример окна редактирования подстанций представлен на рис. 2.

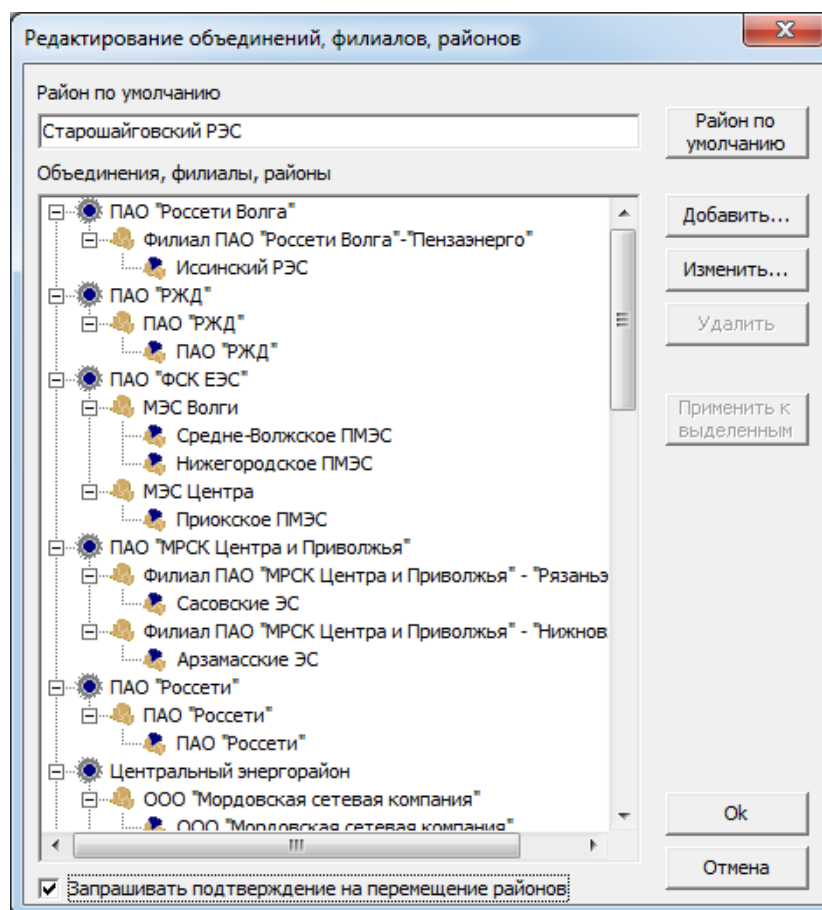


Рис. 1. Пример окна редактирования объединений, филиалов, районов

Параметры режима определяются в результате расчета установившегося режима на основе заданной топологии и параметров схемы электрической сети. Для составления балансов мощности и анализа их показателей необходимо знать линии связи, которые соединяют соседние структурные подразделения одного иерархического уровня. Определение линий электропередачи, являющихся линиями связи, выполняется при помощи специального алгоритма, анализирующего топологию электрических сетей [5]. В результате действия данного ал-

горитма производится анализ результатов расчета режима и определяются показатели балансов мощности, формируются сводные данные для рассматриваемого структурного подразделения. Пример окна с результатами анализа для филиалов представлен на рис. 3. Необходимость в подобном анализе на уровне одной конкретной подстанции возникает при ее проектировании или реконструкции. Однако из-за ряда особенностей применение данного алгоритма при анализе параметров режима для подстанций невозможно и требуется разработка иного алгоритма поиска линий связи для подстанций.

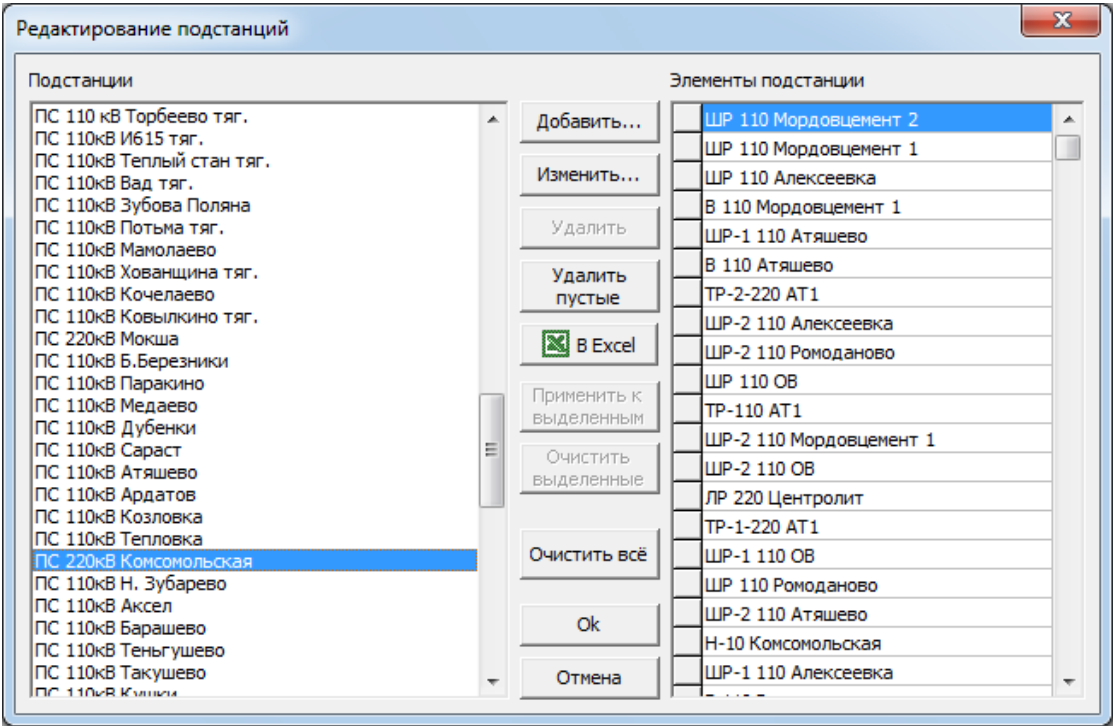


Рис. 2. Пример окна редактирования подстанций

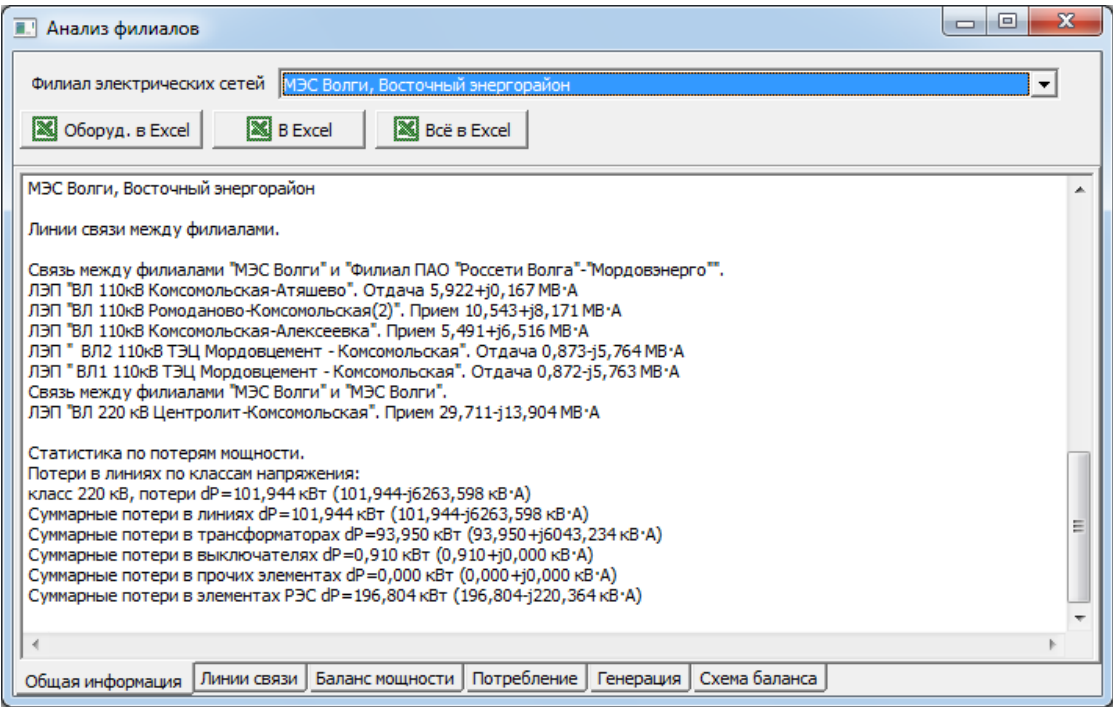


Рис. 3. Пример окна с результатами анализа филиалов

Алгоритм поиска линий связи для электрических подстанций. На основе введенной схемы электрических сетей при расчете параметров режима и составлении баланса мощности формируется ориентированный граф, у которого для узлов и ветвей указана принадлежность к структурному подразделению, а при необходимости – к подстанции. Пусть имеем множество подстанций S и множество ветвей L . Алгоритм поиска линий связи будет выглядеть, как показано на рисунке 4.

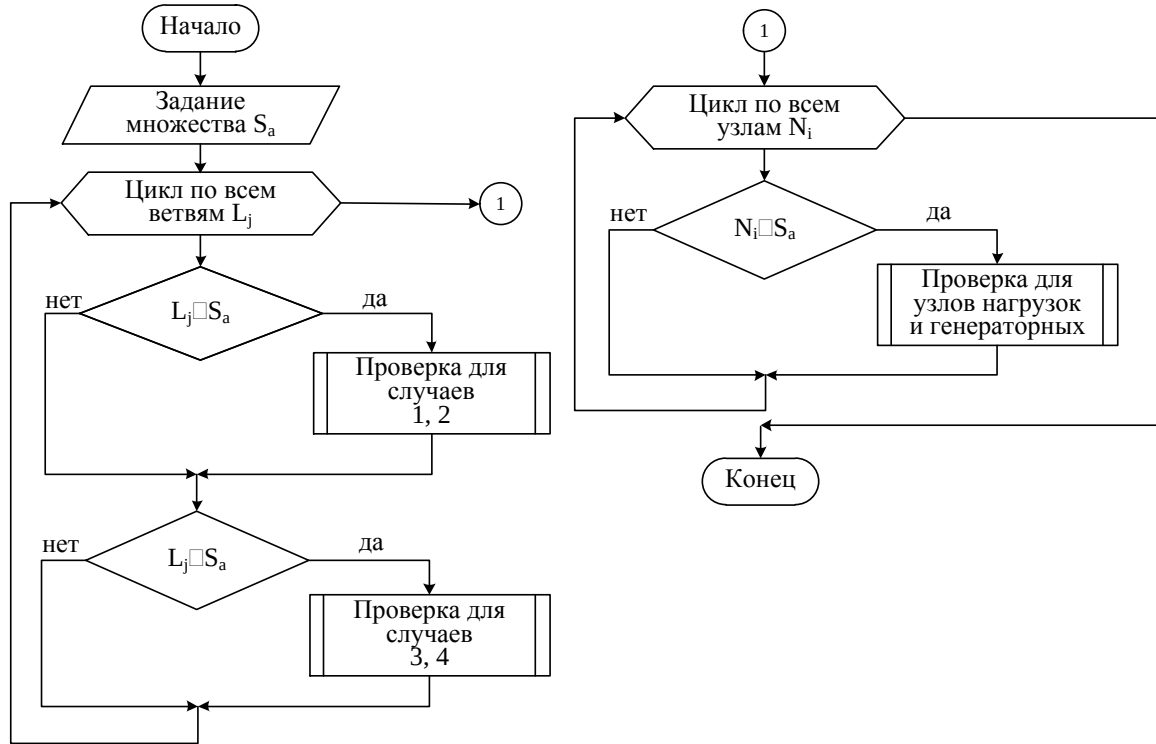


Рис. 4. Блок-схема алгоритма поиска линий связи.

Допустим, что составляется баланс мощности для конкретной подстанции, множество элементов которой S_a . Последовательно рассматриваются все ветви L_j из множества L . В случае принадлежности ветви L_j множеству элементов рассматриваемой подстанции $L_j \in S_a$ возможны два варианта представления указанной ветви на графе:

- 1) ветвь $L_j \in S_a$, узел начала ветви принадлежит подстанции $N_{bj} \in S_a$, узел конца – вне подстанции $N_{ej} \notin S_a$ (рисунок 5, 1), мощность по ветви отдается, ветвь является линией связи;
- 2) ветвь $L_j \in S_a$, узел конца ветви принадлежит подстанции $N_{ej} \in S_a$, узел начала – вне подстанции $N_{bj} \notin S_a$ (рисунок 5, 2), мощность по ветви принимается, ветвь является линией связи.

На рисунке 5 принято обозначение потоков мощности начала ветви P_n , конца – P_k . В случае, если ветвь L_j не принадлежит множеству элементов рассматриваемой подстанции $L_j \notin S_a$ возможны два аналогичных варианта представления указанной ветви на графе:

- 3) ветвь $L_j \notin S_a$, узел начала ветви принадлежит подстанции $N_{bj} \in S_a$, узел конца – вне подстанции $N_{ej} \notin S_a$ (рисунок 5, 3), мощность по ветви отдается, ветвь является линией связи;

4) ветвь $L_j \notin S_a$, узел конца ветви принадлежит подстанции $N_{ej} \in S_a$, узел начала – вне подстанции $N_{bj} \notin S_a$ (рисунок 5, 4), мощность по ветви принимается, ветвь является линией связи.

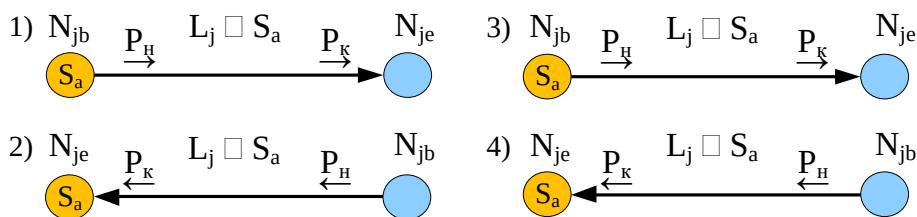


Рис. 5. Фрагмент ориентированного графа с указанием принадлежности узлов и ветвей структурным подразделениям.

Если ветвь $L_j \in S_a$, то потери в указанной ветви должны быть отнесены к подстанции S_a , в противном случае потери в линии не входят в баланс мощностей подстанции S_a . Дополнительно необходимо учесть принадлежность ко множеству элементов подстанции узлов нагрузки и генераторных узлов. Если узел нагрузки принадлежит подстанции $N_{pi} \in S_a$, то его мощность входит в баланс подстанции как отдаваемая. Если генераторный узел принадлежит подстанции $N_{Gi} \in S_a$, то его мощность входит в баланс подстанции как принимаемая.

Пример применения алгоритма поиска линий связи для электрических подстанций. В качестве примера рассмотрим результат действия данного алгоритма на примере подстанции ПС 220 кВ «Комсомольская». Подстанция находится на балансе филиала ПАО «ФСК ЕЭС» – «МЭС Волги». В настоящее время на подстанции установлен один трехфазный трехобмоточный автотрансформатор типа АТДЦН-125000/220/110 [6]. Согласно программе развития электроэнергетики Республики Мордовия [7, 8] в целях повышения надежности электроснабжения потребителей Центрального и Восточного районов Республики Мордовия, обеспечения допустимых перетоков мощности в сечении «Центр – Восточный район» в ремонтных и послеаварийных режимах, а также обеспечения возможности подключения новых потребителей предлагается установка второго силового автотрансформатора на ПС 220 кВ «Комсомольская» и сооружение ВЛ 220 кВ «Осиновка – Комсомольская» протяженностью 93 км. В рамках предлагаемой реконструкции на ПС 220 кВ «Комсомольская» дополнительно устанавливаются элементы ОРУ 220 кВ для обеспечения транзита электрической энергии к ПС 220 кВ «Центролит» и элементы ОРУ 110 кВ для присоединения второго силового трансформатора к шинам распределительного устройства. Силовые автотрансформаторы после реконструкции подключаются на параллельную работу. Фрагмент расчетной схемы до реконструкции подстанции представлен на рис. 6. Условно-графические обозначения элементов электрических сетей соответствуют требованиям [9].

Расчетная схема подстанции ПС 220 кВ «Комсомольская» после реконструкции представлена на рис. 7. Исходная схема изменена на схему «четыреугольник» [10]. В качестве коммутационных аппаратов для ОРУ 110 кВ и 220 кВ при реконструкции предполагается применить элегазовые выключатели ВГТ-110-40/2500 У1 и ВГТ-220-40/2500 У1. В качестве второго силового трансформатора предполагается применение автотрансформатора АТДЦН-125000/220/110/10 кВ, аналогичного установленному.

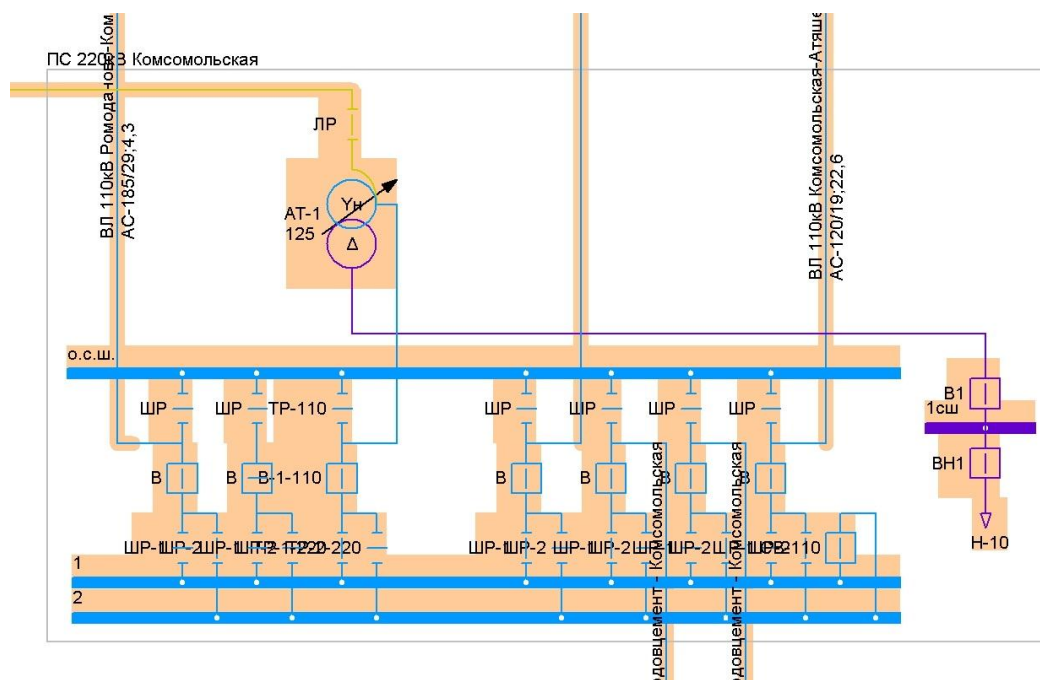


Рис. 6. Фрагмент расчетной схемы до реконструкции ПС 220 кВ «Комсомольская»

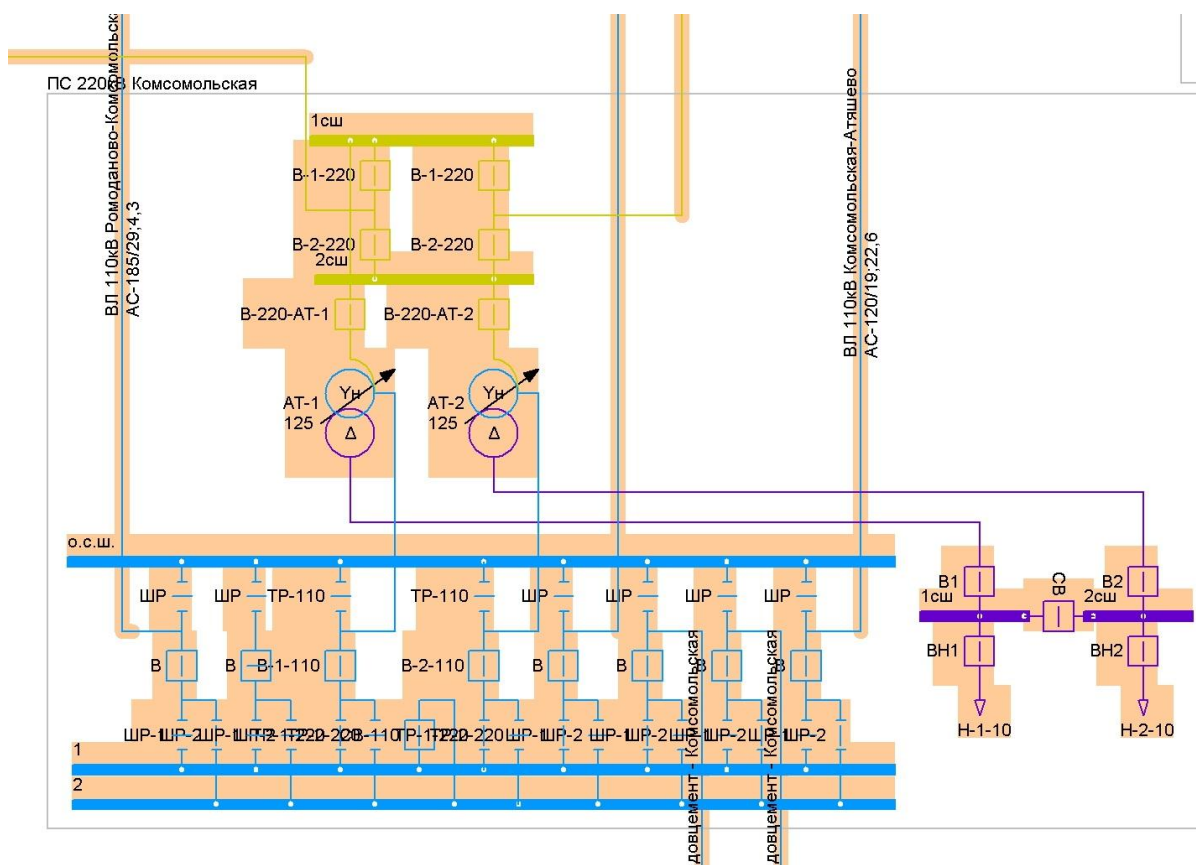


Рис. 7. Фрагмент расчетной схемы после реконструкции ПС 220 кВ «Комсомольская»

Проведенная с использованием предлагаемого алгоритма оценка изменения параметров режима для ПС 220 кВ «Комсомольская» показала, что изменились значения и направления потоков мощности в ее линиях связи. Изменилось направление мощности в линии ВЛ 220 кВ «Центролит-Комсомольская» и значение с 29,21 МВ·А принимаемой на 18,53 МВ·А отдаваемой. Аналогичные изменения направления мощности наблюдаются в линиях ВЛ 110 кВ «Комсомольская-Алексеевка» с 11,67 МВ·А принимаемой на 15,55 МВ·А отдаваемой и ВЛ 110 кВ «Ромоданово-Комсомольская(2)» с 15,94 МВ·А принимаемой на 15,32 МВ·А отдаваемой.

емой. Значение принимаемой мощности по ВЛ 220 кВ «Осиновка-Комсомольская» составляет 71,99 МВ·А. В графическом виде полученные результаты могут быть представлены в виде структурных схем потоков мощности подстанции, представленных на рис. 8 и рис. 9 соответственно для режимов до и после реконструкции подстанции.

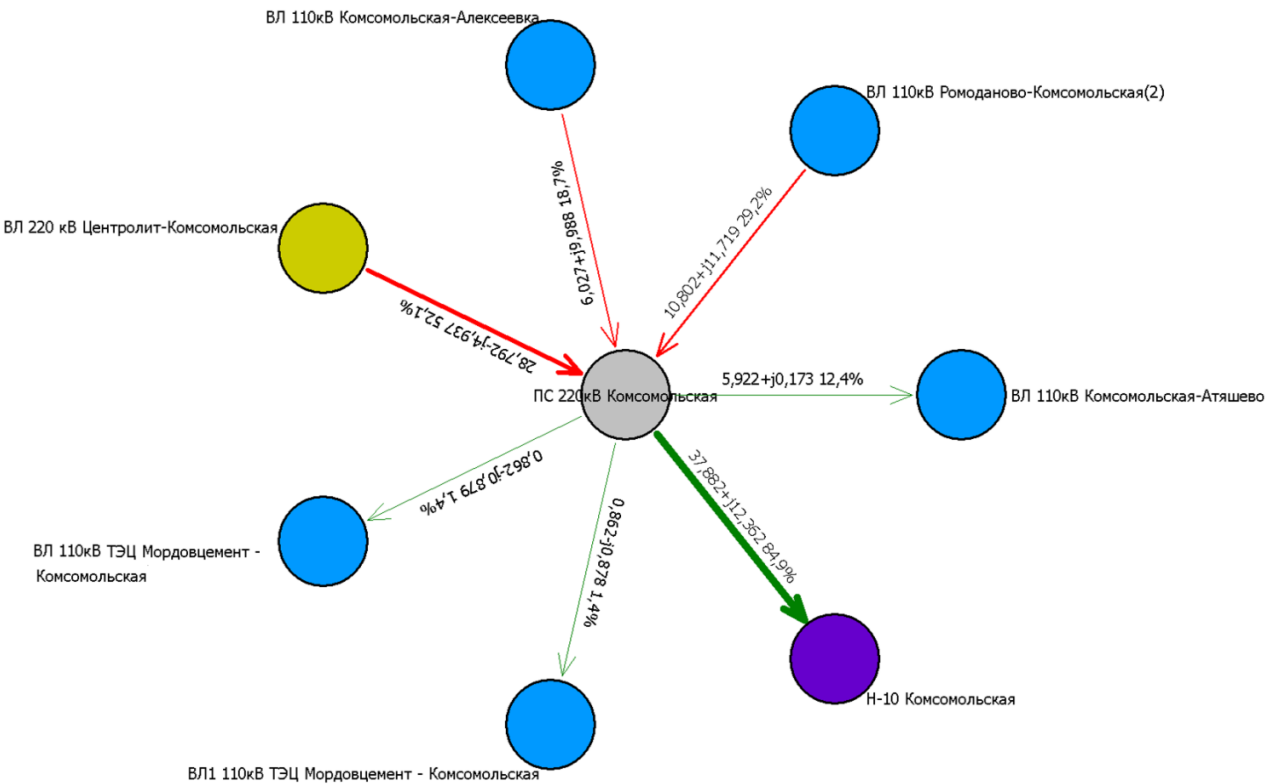


Рис. 8. Схема потоков мощностей подстанции ПС 220 кВ «Комсомольская» до реконструкции

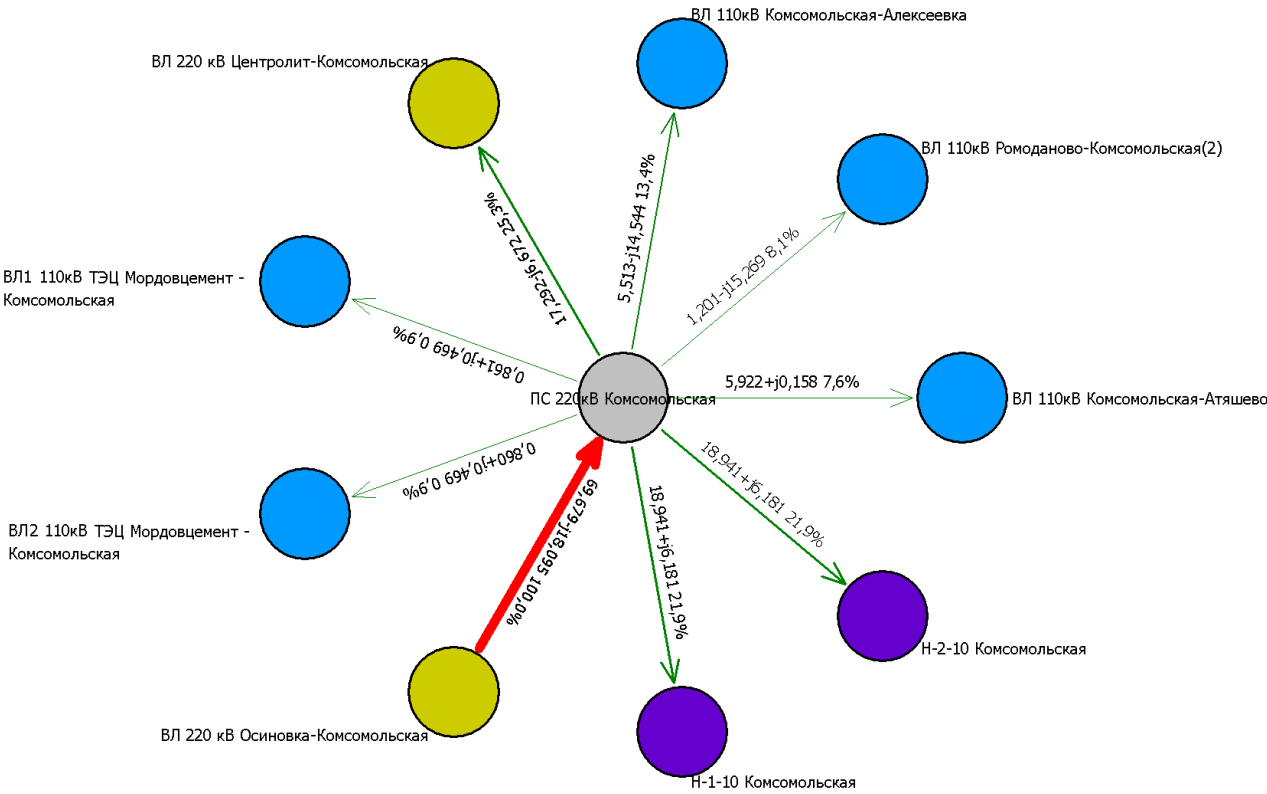


Рис. 9. Схема потоков мощностей подстанции ПС 220 кВ «Комсомольская» после реконструкции

Заключение. На основе проведенного анализа может быть сделан вывод, что параметры режима Центрального и Восточного районов Республики Мордовия после реконструкции подстанции ПС 220 кВ «Комсомольская» значительно изменились, но находятся в допустимых по условиям эксплуатации пределах. Предложенный алгоритм поиска линий связи для электрических подстанций, реализованный в программном комплексе для расчетов режимов электрических сетей, позволяет автоматизировать процедуру определения показателей балансов активной и реактивной мощности для электрических подстанций любого типа и класса напряжения.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Свид. 2007610615 Российская Федерация. Свидетельство об официальной регистрации программы для ЭВМ. Комплекс расчета и анализа установившихся режимов энергосистем «RastrWin» («RastrWin») / В. Г. Неуймин; заявитель и правообладатель Неуймин В. Г. (RU). – № 2006614291; заявл. 13.12.2006; опубл. 07.02.2007, Реестр программ для ЭВМ. – 1 с. – Текст : непосредственный.
2. Свид. 2009617007 Российская Федерация. Свидетельство об официальной регистрации программы для ЭВМ. EnergyCS Режим / заявитель и правообладатель ЗАО «СиСофт Девелопмент» (RU). – № 2009617022; заявл. 10.12.2009; опубл. 22.12.2009, Реестр программ для ЭВМ. – 1 с. – Текст : непосредственный.
3. Программный комплекс для расчета режимов электрических сетей / В. А. Агеев, К. А. Душутин, П. А. Волгушев. – Текст : электронный // Проблемы электротехники, электроэнергетики и электротехнологии (ПЭЭЭ-2017) : V Всероссийская научно-техническая конференция (к 50-летию юбилею кафедры «Электроснабжение и электротехника» института энергетики и электротехники), Тольятти, 1-2 ноября 2017 года : сборник трудов / отв. за вып. В.В. Вахнина, В.А. Шаповалов. – Тольятти: Изд-во ТГУ, 2017. – 1 CD-ROM. – С. 4-10.
4. Свид. 2018612344 Российская Федерация. Свидетельство об официальной регистрации программы для ЭВМ. Программный комплекс для расчета режимов электрических сетей / В. А. Агеев, П. А. Волгушев, К. А. Душутин; заявитель и правообладатель ФГБОУ ВО «МГУ им. Н. П. Огарёва» (RU). – № 2017663623; заявл. 26.12.17; опубл. 15.02.18, Реестр программ для ЭВМ. – 1 с. – Текст : непосредственный.
5. Подход к анализу балансов мощностей с применением программного комплекса / П. А. Волгушев, А. И. Бурнаев, В. А. Агеев, К. А. Душутин – Текст : непосредственный // Проблемы и перспективы развития электроэнергетики и электротехники : II Всероссийская научно-практическая конференция, Казань, 18–19 марта 2020 года : сборник трудов. – Казань: Изд-во КГЭУ, 2020. – С. 30-36.
6. Интерактивная карта загрузки центров питания 35 кВ и выше [Электронный ресурс] // Портал электросетевых услуг РОССЕТИ [Портал электросетевых услуг РОССЕТИ]. – URL: https://портал-тп.рф/platform/portal/tehprisEE_centry_pitania (дата обращения 14.12.2020). – Режим доступа: сеть Интернет
7. Проект распоряжения Главы Республики Мордовия «Об утверждении схемы и программы развития электроэнергетики на 2018-2022 гг.». – Тест электронный //Официальный портал органов государственной власти Республики Мордовия: [сайт]. – URL: <https://www.e-mordovia.ru/otkrytye-dannye/normativnye-akty/teksty-proektov/ministerstvo-energetiki-i-tarifnoy-politiki-rm/proekt-rasporyazheniya-glavy-respubliki-mordoviya-ob-utverzhdenii-skhem-y-i-programmy-razvitiya-elekt/> (дата обращения 14.12.2020). – Режим доступа: сеть Интернет.
8. Распоряжение главы Республики Мордовия № 343-РГ от 26 апреля 2018 года «Об утверждении схемы и программы развития электроэнергетики Республики Мордовия на 2019 – 2023 годы». : Кодекс : Электронный фонд правовой и нормативно-технической документации : сайт. – URL: <http://docs.cntd.ru/document/543734103> (дата обращения 14.12.2020). – Режим доступа: сеть Интернет.
9. ГОСТ 56303–2014. Единая энергетическая система и изолированно работающие энергосистемы. Оперативно-диспетчерское управление. Нормальные схемы электрических

соединений объектов электроэнергетики. Общие требования к графическому исполнению. – Введ. 2014– 12–12. – М.: Стандартиформ, 2015. – 19 с. – Текст : непосредственный.

10. Схемы электрических соединений подстанций: учебное пособие / С. Е. Кокин, С. А. Дмитриев, А. И. Хальясмаа. – Екатеринбург : Изд-во Урал. ун-та, 2015. – 100 с. – ISBN 978-5-7996-1457-7. – Текст : непосредственный.

REFERENCES

1. V. G. Neuimin, “Complex of calculation and analysis of steady-state modes of power systems "RastrWin" ("RastrWin)”, Certificate of official registration of a computer program 2007610615 Russian Federation, Declared 13.12.2006, publ. 07.02.2007, 1 p.

2. “EnergyCS Mode”, Certificate of official registration of a computer program 2009617007 Russian Federation, Declared 10.12.2009, publ. 22.12.2009, 1 p.

3. V. A. Ageev, K. A. Dushutin and P. A. Volgushev, “A software package for calculating the modes of electric networks”, Problems of Electrical Engineering, Electric Power Industry, and Electrical Technology: V All-Russian. scientific and technical conf. (to the 50th anniversary of the department “Power Supply and Electrical Engineering” of the Institute of Power Engineering and Electrical Engineering): Sat. works, Tolyatti, 2017. pp. 4-10.

4. V. A. Ageev, P. A. Volgushev and K. A. Dushutin, “The software package for calculating the modes of electric networks”, Certificate of official registration of a computer program 2018612344 Russian Federation, Declared 26.12.2017, publ. 15.02.2018, 1 p.

5. P. A. Volgushev, A. I. Burnaev, V. A. Ageev and K. A. Dushutin, “An approach to the analysis of power balances using a software package”, Problems and prospects for the development of electric power and electrical engineering, II All-Russian scientific and practical conference, Kazan, 2020. pp. 31-37.

6. Interactive map of loading of power centers of 35 kV and higher [Electronic resource] // Portal of electric grid services of ROSSETI [Portal of electric grid services of ROSSETI]. – URL: https://портал-тп.рф/platform/portal/tehprisEE_centry_pitania.

7. Draft order of the Head of the Republic of Mordovia " On approval of the scheme and program for the development of the electric power industry for 2018-2022», Official portal of the state authorities of the Republic of Mordovia, URL: <https://www.e-mordovia.ru/otkrytye-dannye/normativnye-akty/teksty-proektov/ministerstvo-energetiki-i-tarifnoy-politiki-rm/proekt-rasporiazheniya-glavy-respubliki-mordoviya-ob-utverzhenii-skhemy-i-programmy-razvitiya-elekt/>.

8. Order № 343-RG of April 26, 2018, “On approval of the scheme and program for the development of the electric power industry of the Republic of Mordovia for 2019-2023”, Consortium Kodeks, URL: <http://docs.cntd.ru/document/902143004>.

9. GOST 56303-2014 United power system and isolated power systems. Operative-dispatch management. Normal connection diagrams of electric power facilities. General requirements of graphical presentation. Enter. 2014-12-12. М.: STANDARTINFORM. 2015. - 19 p.

10. S. E. Kokin, S. A. Dmitriev and A. I. Khalyasmaa. Schemes of electrical connections of substations. Yekaterinburg: Izd-vo Ural. un-ta, 2015. 100 p. – ISBN 978-5-7996-1457-7.

Информация об авторах

Агеев Вадим Александрович – к. т. н., доцент, заведующий кафедрой электрификации и автоматизации производства Института механики и энергетики, федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Национальный исследовательский Мордовский государственный университет им. Н. П. Огарёва», 430904, Республика Мордовия, г. Саранск, р. п. Ялга, ул. Российская, 5. Тел. 8 (8342) 254421. E-mail: ageyevva@mrsu.ru

Душутин Константин Александрович – к. т. н., доцент, доцент кафедры электрификации и автоматизации производства, институт механики и энергетики, федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Национальный исследовательский Мордовский государственный университет им. Н. П. Огарёва», 430904, Республика Мордовия, г. Саранск, р. п. Ялга, ул. Российская, 5. Тел. 8 (8342) 254421. E-mail: dushutink@mail.ru

Репьев Дмитрий Сергеевич – аспирант кафедры электрификации и автоматизации производства Института механики и энергетики, федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Национальный исследовательский Мордовский государственный университет им. Н. П. Огарёва», 430904, Республика Мордовия, г. Саранск, р. п. Ялга, ул. Российская, 5. Тел. 8 (8342) 254421. E-mail: was23101@mail.ru

Казаков Дмитрий Владимирович – аспирант кафедры электрификации и автоматизации производства Института механики и энергетики, федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Национальный исследовательский Мордовский государственный университет им. Н. П. Огарёва», 430904, Республика Мордовия, г. Саранск, р. п. Ялга, ул. Российская, 5. Тел. 8 (8342) 254421. E-mail: kazakovdv@mail.ru

Authors

Ageev Vadim Aleksandrovich – Ph. D. in technical science, associate professor, head of department of electrification and automation of production of Institute of mechanics and power engineering, National Research Mordovia State University, Russia 430904, Republic of Mordovia, Saransk, Yalga, Rossiyskaya St., 5. Ph. 8 (8342) 254421. E-mail: ageyevva@mrsu.ru.

Dushutin Konstantin Alexandrovich – Ph. D. in technical science, associate professor of department of electrification and automation of production of Institute of mechanics and power engineering, National Research Mordovia State University, Russia 430904, Republic of Mordovia, Saransk, Yalga, Rossiyskaya St., 5. Ph. 8 (8342) 254421. E-mail: dushutink@mail.ru

Repyev Dmitrii Sergeevich – postgraduate student of chair of electrification and automation of production of Institute of mechanics and power engineering, National Research Mordovia State University, Russia 430904, Republic of Mordovia, Saransk, Yalga, Rossiyskaya St., 5. Ph. 8 (8342) 254421. E-mail: was23101@mail.ru.

Kazakov Dmitrii Vladimirovich – postgraduate student of chair of electrification and automation of production of Institute of mechanics and power engineering, National Research Mordovia State University, Russia 430904, Republic of Mordovia, Saransk, Yalga, Rossiyskaya St., 5. Ph. 8 (8342) 254421. E-mail: kazakovdv@mail.ru.

Для цитирования

Агеев В.А., Душутин К.А., Репьев Д.С., Казаков Д.В. Применение программного комплекса для расчетов режимов электрических сетей при проектировании подстанций // «Информационные технологии и математическое моделирование в управлении сложными системами»: электрон. науч. журн. – 2021. – №2(10). – С. 99-108 – DOI: 10.26731/2658-3704.2021.2(10).99-108 – Режим доступа: <https://ismm.ircups.ru/toma/210-2021>, свободный.. – Загл. с экрана. – Яз. рус., англ. (дата обращения: 29.04.2021)

For citations

Ageev V.A., Dushutin K.A., Repyev D.S., Kazakov D.V. Application of the software package for calculating the modes of electrical power grids in the design of substations // Informacionnye tehnologii i matematicheskoe modelirovanie v upravlenii slozhnymi sistemami: ehlektronnyj nauchnyj zhurnal [Information technology and mathematical modeling in the management of complex systems: electronic scientific journal], 2021. No. 2. P. 99-108. DOI: 10.26731/2658-3704.2021.2(10).99-108 [Accessed 29/04/21]