

АЛГОРИТМ АВТОМАТИЗИРОВАННОГО ВЫБОРА СХЕМ ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ СОЕДИНЕНИЙ ОТКРЫТЫХ РАСПРЕДЕЛИТЕЛЬНЫХ УСТРОЙСТВ НАПРЯЖЕНИЕМ 35–750 кВ В САПР «ОРУ CAD»

Е.А. Панова, А.В. Варганова

*Магнитогорский государственный технический университет им. Г.И. Носова,
г. Магнитогорск, Россия*

Внедрение САПР в процесс проектирования электрической части подстанций значительно сокращает время, затрачиваемое проектировщиком на решение рутинных задач. В работе описан алгоритм автоматизированного выбора схемы открытого распределительного устройства напряжением 35–220 кВ, реализованный в программном обеспечении «ОРУ CAD». Предложенный авторами алгоритм осуществляет выбор схемы распределительного устройства на основе действующей нормативной документации и норм проектирования. Кроме этого предлагаются альтернативные варианты, удовлетворяющие части условий, для их последующего сравнения по критериям надежности и приведенным затратам. В алгоритме при выборе схемы учтены такие факторы, как класс напряжения и число присоединений, тип подстанции, число нерезервированных присоединений и необходимость в системе плавки гололеда на линиях электропередачи. Кроме этого для тупиковых подстанций учтено наличие возможности передачи сигнала релейной защиты на выключатель со стороны источника питания и наличие тупиковых подстанций на питающей линии электропередачи. Для проходных подстанций учтена возможная необходимость в частой коммутации силовых трансформаторов. Описанное в работе программное обеспечение может быть использовано в качестве автоматизированного рабочего места инженера-проектировщика электрической части подстанций.

Ключевые слова: САПР, распределительное устройство, однолинейная схема, подстанция, проектирование.

Введение

Системы автоматизированного проектирования (САПР) значительно облегчают работу проектировщика и сокращают время, затрачиваемое им на решение рутинных задач, освобождая его для принятия решений, требующих не только знаний в предметной области, но и творческого подхода. В сфере проектирования объектов электроэнергетики, САПР широко внедряются в области проектирования электрических машин [1–5]. Так в [5] рассмотрен вопрос оптимизации конструктивного исполнения распределительного трансформатора на основе модификации генетического алгоритма. Целый ряд работ посвящен применению САПР для проектирования электронных схем [6–8]. В области электроснабжения САПР широко используются для проектирования электрических сетей низкого [9] и среднего напряжения [10], осветительной сети [11], расчетов заземления и молниезащиты [12, 13], а также выбора проводников и электрических аппаратов [14].

Для автоматизированного проектирования электрической части подстанций и электростанций используются различные программные пакеты. Наиболее известные из них, КОМПАС и AutoCAD, позволяют создать пакет проектной документации, включая чертежи, спецификации и пояснительную записку по действующим нормам ЕСКД, однако

они не облегчают работу проектировщику в части принятия проектных решений. Работа [15] описывает программное обеспечение SIDE, позволяющее осуществить выбор схемы распределительного устройства и оценить возможные варианты с точки зрения надежности и затрат на его сооружение, однако данное ПО не учитывает Российские нормы проектирования электрических подстанций.

Предложенный авторами и используемый в ПО «ОРУ CAD» [16] алгоритм автоматизированного выбора вариантов схем открытых распределительных устройств (РУ) напряжением 35 кВ и выше учитывает используемые для таких РУ типовые решения и области их применения, приведенные в [17, 18]. Основой для выбора схемы является уровень напряжения распределительного устройства, тип подстанции и число присоединений. Кроме этого учтены такие факторы, как число ответственных подстанций на питающей ЛЭП и возможность передачи сигналов релейной защиты на отключение выключателя питающей ЛЭП (для тупиковых подстанций), необходимость в частых коммутациях силового трансформатора, число распределительных устройств подстанции, количество нерезервированных присоединений и необходимость в системе плавки гололеда.

Алгоритм выбора вариантов схемы распределительного устройства напряжением 35 кВ

Начальным этапом выбора схемы является задание начальных условий, а именно класс напряжения РУ, является ли оно РУ высшего либо среднего напряжения на данном объекте (вид РУ), число присоединений n и число ЛЭП L , в котором учтены как питающие, так и транзитные линии. Число ЛЭП на распределительном устройстве необходимо задать именно на этапе формулировки начальных условий, так как данный алгоритм является началом работы программы «ОРУ САД». Далее эта переменная учитывается при автоматизированной отрисовке схемы РУ.

Дальнейший ход алгоритма определяется уровнем напряжения распределительного устройства (рис. 1).

Предложенный авторами алгоритм выбора схемы РУ напряжением 35 кВ показан на рис. 2. В соответствии с ним первым проверяется условие равенства числа присоединений на подстанции 2. Такому условию соответствуют только тупиковые и ответвительные подстанции. Для ответвительной подстанции в программе предусмотрена возможность ввода дополнительных условий: наличие ответвительных подстанций на питающей ЛЭП (n_0) и возможность передачи сигнала релейной защиты на выключатель с питающего конца ЛЭП (rz). Если $n_0 = 1$, т. е. на питающей ЛЭП есть ответвительные подстанции, то предлагается вариант схемы 3Н «Блок (линия-трансформатор) с выключателем». В противном случае проверяется условие $rz = 1$, т. е. есть возможность передачи сигнала релейной защиты. Если $rz = 1$, то выбирается схема 1 «Блок (линия-трансформатор) с разьединителем», иначе – схема 3Н. Для ответвительной подстанции с двумя присоединениями также предлагается схема 3Н. Если число присоединений

задано равным двум, а тип подстанции не соответствует ни тупиковой, ни ответвительной, то выдается сообщение об ошибке «Неверно задан тип подстанции» (метка F).

Если $n \neq 2$, то проверяется условие соответствия типа подстанции ответвительной или тупиковой. При его выполнении дополнительно проверяется равенство числа присоединений 4. Если $n = 4$, то предлагается схема 4Н «Два блока с выключателями и неавтоматической ремонтной перемычкой со стороны линии», иначе выдается сообщение об ошибке (метка F).

Если предыдущие условия не выполнены, то проверяется соответствие типа подстанции проходной. При выполнении этого условия и равенстве числа присоединений 4 появляется возможность для пользователя указать, требуется ли на подстанции частая коммутация трансформаторов. Если требуется, то переменной k присваивается значение «1», иначе – «0». При $k = 0$ предлагается схема 5Н «Мостик с выключателями в цепях линий и ремонтной перемычкой со стороны линии», при $k = 1$ – схема 5АН «Мостик с выключателями в цепях

трансформаторов и ремонтной перемычкой со стороны трансформаторов». Если для проходной подстанции задано число присоединений не равное 4, то выдается сообщение об ошибке.

Если подстанция не проходная и число присоединений на ней равно пяти, то она должна быть либо транзитной, либо узловой. Для транзитной предлагается схема 5АН, а для узловой – схема 9 «Одна рабочая секционированная выключателем система шин». При числе присоединений на транзитной подстанции большем пяти предлагается схема 9. Если все указанные выше условия не выполняются, то выдается сообщение об ошибке и пользователю необходимо скорректировать тип подстанции.

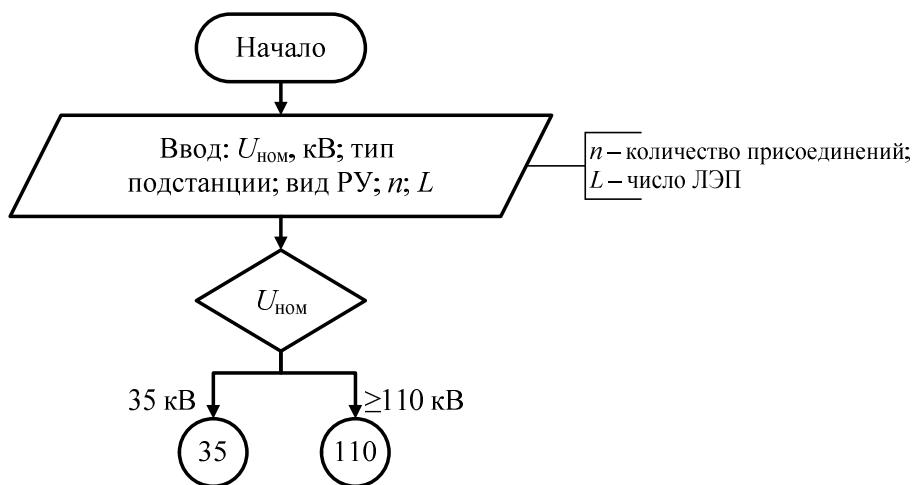


Рис. 1. Алгоритм автоматизированного выбора схемы распределительного устройства напряжением 35–220 кВ (начало)

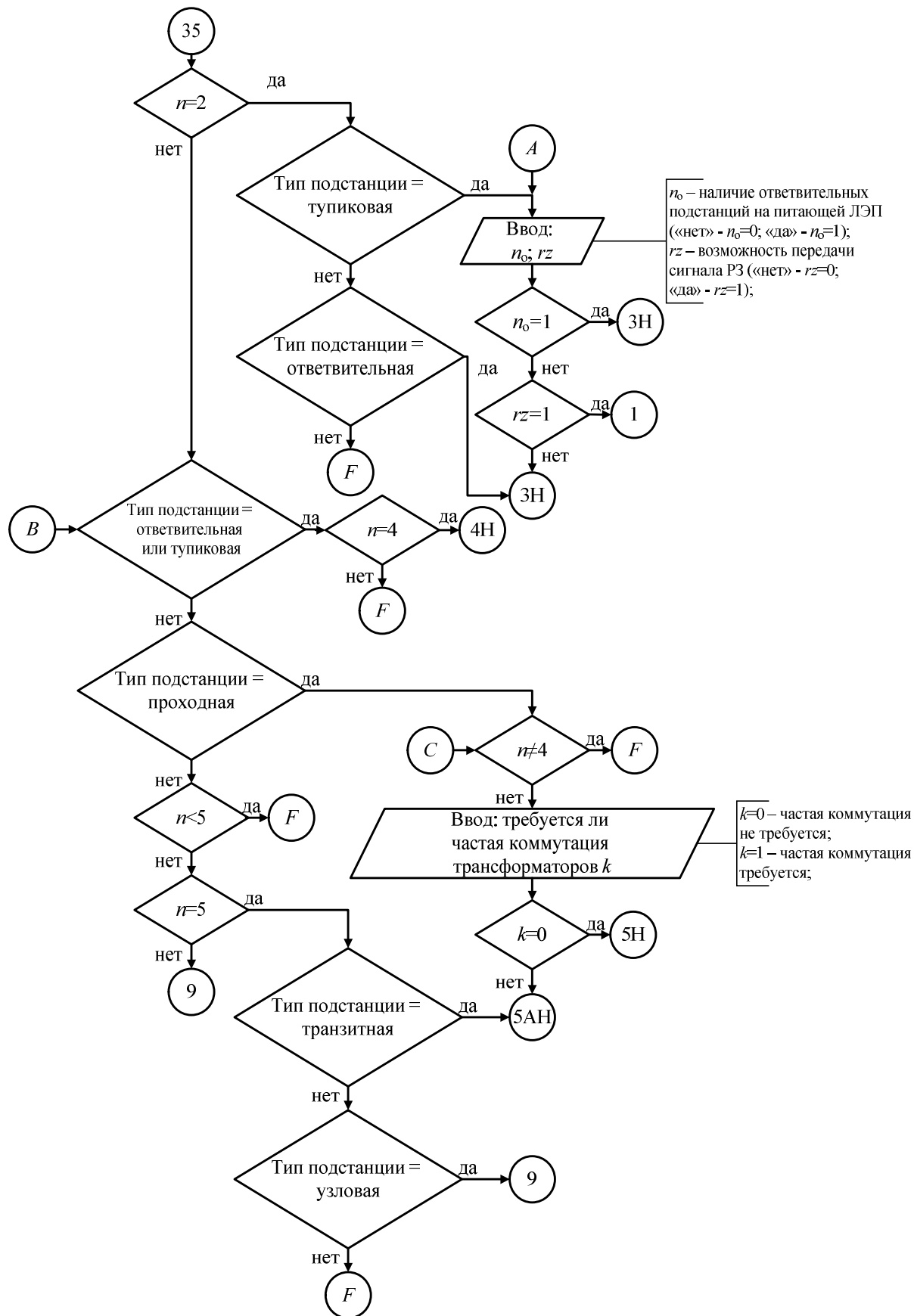


Рис. 2. Продолжение алгоритма автоматизированного выбора схемы РУ (для РУ напряжением 35 кВ)

Алгоритм выбора вариантов схемы распределительного устройства напряжением 110 и 220 кВ

Для РУ напряжением 110 и 220 кВ также первым выполняется проверка условия «Тип подстанции». Алгоритм выбора схемы для данных РУ показан на рис. 3.

Для тупиковых подстанций осуществляется переход по меткам *A* (при числе присоединений, равном 2) или *B* (при ином числе присоединений) в алгоритм выбора схемы РУ 35 кВ, так как в данном случае условия и предлагаемые варианты схем аналогичны.

Для ответственных подстанций при двух присоединениях предлагается схема 3Н, при четырех – схема 4Н. Если пользователь задал иное число присоединений, то выдается сообщение об ошибке.

Если подстанция является проходной, то дальнейший выбор схемы определяется числом присоединений на РУ. Так при трех присоединениях предлагается схема 6Н «Треугольник», при шести – схема 6 «Заход-выход», а при четырех присоединениях осуществляется переход по метке *C* в алгоритм, показанный на рис. 2, где выбор схемы осуществляется аналогично РУ напряжением 35 кВ. При ином числе присоединения программой выдается сообщение об ошибке.

Если пользователем выбран тип подстанции «Транзитная», то при пяти присоединениях на РУ предлагается схема 9. Если число присоединений находится в интервале от 6 до 8, то необходимо дополнительно указать, будет ли РУ включено в схему плавки гололеда. Для этого вводится переменная *I*, которая принимает значение 0 (если плавки гололеда нет) и 1, если она требуется. При равенстве этой переменной 0 будет выбрана схема 13 «Две рабочие системы шин», а если она равна 1, то схема 13Н «Две рабочие и обходная системы шин». Схема 13Н предлагается также для РУ с числом присоединений от 9 до 14, независимо от необходимости включения РУ в систему плавки гололеда.

Для узловой подстанции при числе присоединений на РУ, равном четырем, будет выбрана схема 7 «Четырехугольник». Для РУ узловой подстанции с пятью присоединениями пользователь должен дополнительно указать число нерезервируемых присоединений n_r и является ли проектируемое РУ частью высшего или среднего напряжения. Если нерезервируемые присоединения отсутствуют, то для РУ высшего напряжения выбирается схема 9, а для РУ среднего напряжения – схема 9Н «Одна рабочая секционированная по числу трансформаторов системы шин, с подключением трансформаторов к секциям шин через развилку выключателей». При одном или двух нерезервируемых присоединениях для РУ среднего напряжения предлагается к проектированию схе-

ма 12Н «Одна рабочая секционированная выключателями и обходная системы шин с подключением трансформаторов к секциям шин через два выключателя». Для РУ высшего напряжения при том же числе нерезервируемых присоединений будет выбрана схема 9АН «Одна рабочая секционированная система шин с подключением ответственных присоединений через полуторную цепочку», если система плавки гололеда не требуется, либо схема 12 «Одна рабочая секционированная выключателями и обходная системы шин», если РУ будет включено в схему плавки гололеда. При большем числе нерезервированных присоединений к проектированию предлагается схема 13. Для узловой подстанции с шестью присоединениями на РУ независимо от прочих условий будет предложена схема 8 «Шестиугольник», при 7–14 присоединениях – схема 13Н, а для РУ с большим числом присоединений – схема 14 «Две рабочие секционированные выключателями и обходная системы шин с двумя обходными и двумя шиносоединительными выключателями».

Предложенный таким образом вариант схемы РУ будет полностью удовлетворять требованиям действующих нормативных документов, однако не позволит подобрать вариант схемы с учетом фактора надежности и его экономических показателей. Для этого кроме схемы, выбранной по алгоритму, показанному на рис. 1–4, программа предлагает пользователю варианты, подходящие по классу напряжения распределительного устройства и числу присоединений на нем для дальнейшей оценки показателей их надежности и приведенных затрат. Предлагаемые программой варианты приведены в таблице.

В качестве примера рассмотрим проектируемую транзитную подстанцию с высшим напряжением 110 кВ и шестью присоединениями на распределительном устройстве высшего напряжения. Линии, питающие подстанцию и отходящие от нее, должны быть включены в схему плавки гололеда. В соответствии с предложенным алгоритмом (см. рис. 3) рекомендуемым вариантом схемы РУ 110 кВ является схема 13Н, однако для дальнейшего сравнения по критерию экономичности и надежности в соответствии с таблицей предлагаются также схемы 8, 6 и 13. Очевидно, что обеспечить плавку гололеда на воздушных линиях электропередачи позволят только компоновки схем 8, 6 и 13Н, поэтому вариант схемы РУ 13 для дальнейшего рассмотрения не принимается. Таким образом разработанный алгоритм позволяет проектировщику с минимумом временных затрат выбрать типовой вариант схемы РУ, а также несколько нетиповых вариантов, из которых впоследствии можно определить оптимальный по критерию минимума затрат и обеспечивающий необходимый уровень надежности.

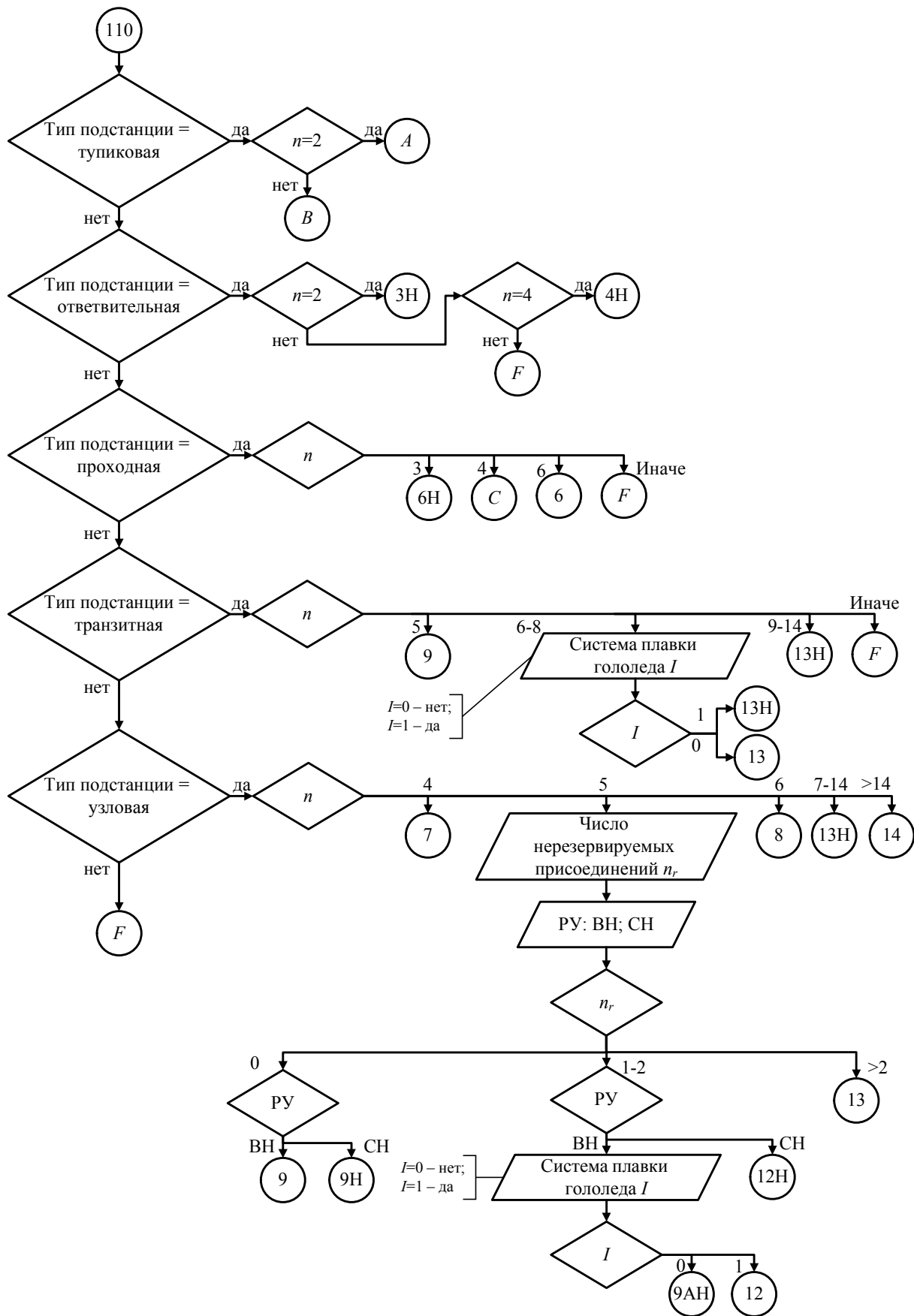


Рис. 3. Продолжение алгоритма автоматизированного выбора схемы РУ (для РУ напряжением 110 и 220 кВ)

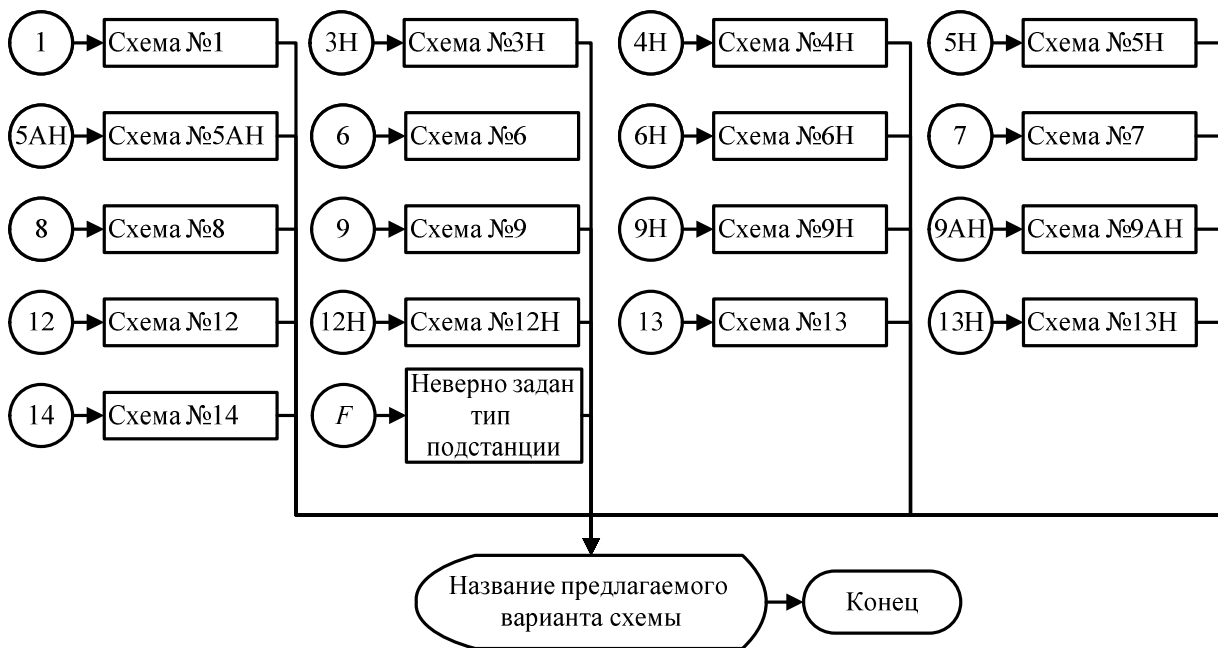


Рис. 4. Окончание алгоритма автоматизированного выбора схемы РУ

Варианты схем, предлагаемые к технико-экономическому сравнению

Класс напряжения, кВ	Число присоединений на РУ	Предлагаемые к сравнению схемы
35	2	1; 3Н
	4	1; 3Н; 4Н; 5Н; 5АН
	≥ 5	9
110 220	2	1; 3Н
	4	1; 3Н; 4Н; 5Н; 5АН
	5	9; 9Н; 9АН; 12; 12Н
	6	6; 8; 13; 13Н
	7–14	13; 13Н
	≥ 15	14

Заключение

В работе предложен алгоритм автоматизированного выбора схемы распределительного устройства подстанции или электростанции напряжением 35–220 кВ, реализованный в ПО «ОРУ CAD». Разработанный авторами алгоритм позволяет выбрать вариант схемы распределительного устройства в соответствии с действующими нормативными документами, а также предлагает варианты схем, удовлетворяющие классу напряжения РУ и числу присоединений для их последующего сравнения по показателям надежности и приведенным затратам. ПО «ОРУ CAD» может быть использовано в качестве автоматизированного рабочего места инженера-проектировщика электрической части подстанций.

Исследование выполнено при финансовой поддержке РФФИ в рамках научного проекта № 18-37-00115.

Литература

1. Simmonds, P. *Managing CAD in Heavy Electrical Engineering* / P. Simmonds, P. Senker // *Computer-Aided Engineering Journal*. – 1989. – Vol. 6, no. 5. – P. 181–184. DOI: 10.1049/cae.1989.0040
2. *A Knowledge Based System Architecture to Manage and Automate the Electrical Machine Design Process* / C.A. Rivera, J. Poza, G. Ugalde, G. Almandoz // *2017 IEEE International Workshop of Electronics, Control, Measurement, Signals and their Application to Mechatronics (ECMSM), Donostia-San Sebastian*. – 2017. – P. 1–6. DOI: 10.1109/ECMSM.2017.7945875
3. *Universal Computer Aided Design for Electrical Machines* / C.V. Aravind, I. Grace, T. Rozita et al. // *2012 IEEE 8th International Colloquium on Signal Processing and its Applications, Melaka*. – 2012. – P. 99–104. DOI: 10.1109/CSPA.2012.6194699
4. Belmans, R. *Computer-Aided Engineering in Electrical Machines* / R. Belmans, D. Verdijk,

W. Geysen // *Computer-Aided Engineering Journal*. – 1989. – Vol. 6, no. 4. – P. 128–132. DOI: 10.1049/cae.1989.0030

5. Разработка подсистемы оптимизации САПР распределительных трансформаторов / А.И. Тихонов, А.С. Зайцев, А.В. Стулов, И.А. Трофимович // *Вестник ИГЭУ*. – 2014. – Вып. 6. – С. 87–91.

6. Павлушин, В.А. Генетические алгоритмы решения задач оптимизации частотных характеристик радиоэлектронных схем / В.А. Павлушин, Ф.А. Михеев, М.В. Марков // *Изв. СПбГЭТУ ЛЭТИ*. – 2006. – № 11. – С. 33–38.

7. Глушань, В.М. Исследование клиент-серверной модели распределенной САПР электронных схем / В.М. Глушань, П.В. Лаврик // *Известия ЮФУ. Технические науки*. – 2009. – № 4. – <https://cyberleninka.ru/article/n/issledovanie-klient-servernoy-modeli-raspredelennoy-sapr-elektronnyh-shem> (дата обращения: 30.08.2018).

8. Глушань, В.М. Средства программной поддержки САПР, моделирования и синтеза электронных схем на основе дифференциальных функциональных полиномов / В.М. Глушань, Л.А. Зинченко // *Известия ЮФУ. Технические науки*. – 1998. – № 2. – <https://cyberleninka.ru/article/n/sredstva-programmnoy-podderzhki-sapr-modelirovaniya-i-sinteza-elektronnyh-shem-na-osnove-differentsialnyh-funktionalnyh-polinomov> (дата обращения: 30.08.2018).

9. Степанов, В.М. Методология формирования силовой электрической сети и выбора её основных компонентов при применении САПР / В.М. Степанов, В.С. Косырихин // *Известия ТулГУ. Технические науки*. – 2015. – № 12-2. – <https://cyberleninka.ru/article/n/metodologiya-formirovaniya-silovoy-elektricheskoy-seti-i-vybora-eyo-osnovnyh-komponentov-pri-primenении-sapr> (дата обращения: 30.08.2018).

10. Степанов, В.М. Методика расчёта и основы проектирования систем электроснабжения объектов на ПЭВМ / В.М. Степанов, В.С. Косырихин // *Известия ТулГУ. Технические науки*. – 2015. – № 12-2. – <https://cyberleninka.ru/article/n/metodika-raschyota-i-osnovy-proektirovaniya-sistem-elektrosnabzheniya-obektov-na-pevm> (дата обращения: 30.08.2018).

11. Ковалев, А.А. Применение САПР для расчёта освещённости / А.А. Ковалев, А.А. Головин // *Современные научные исследования и инновации*. – 2014. – № 6-1 (38). – <http://web.snauka.ru/en/issues/2014/06/36002> (дата обращения: 30.08.2018).

12. Шишигин, Д.С. AutoCAD приложение для расчёта молниезащиты и заземления объектов электроэнергетики / Д.С. Шишигин // *Матер. XII Всерос. совещания по проблемам управления*. – 2014. – С. 9374–9380.

13. Mousa, A.M. A Computer Program for Designing the Lightning Shielding Systems of Substations / A.M. Mousa // *IEEE Transactions on Power Delivery*. – 1991. – Vol. 6, no. 1. – P. 143–152. DOI: 10.1109/61.103733

14. Елисеев, Д.С. Алгоритмы САПР для выбора проводов и кабелей: учеб. пособие / Д.С. Елисеев. – Волгоград: ФГБОУ ВПО Волгоградский ГАУ, 2012. – 184 с.

15. Atanackovic, D. A New Tool for Substation Design / D. Atanackovic, D. McGillis, F.D. Galiana // *IEEE Transactions on Power Systems*. – 1998. – Vol. 13, no. 4. – P. 1500–1506. DOI: 10.1109/59.736297

16. Разработка базы данных электрооборудования 35–220 кВ для САПР «ОРУ CAD» / А.В. Варганова, Е.А. Панова, Т.В. Хатюшина и др. // *Электротехнические системы и комплексы*. – 2018. – № 2 (39). – С. 28–33. – [https://doi.org/10.18503/2311-8318-2018-2\(39\)-28-33](https://doi.org/10.18503/2311-8318-2018-2(39)-28-33) (дата обращения: 30.08.2018).

17. СТО 56947007-29.240.30.010–2008. Схемы принципиальные электрические распределительных устройств подстанций 35–750 кВ. Типовые решения. – Введ. 2008-12-20. – М.: ОАО «ФСК ЕЭС», 2008. – 132 с. – <http://www.fsk-ees.ru/upload/docs/56947007-29.240.30.010-2008.pdf> (дата обращения: 30.08.2018).

18. СТО 56947007-29.240.30.047–2010. Рекомендации по применению типовых принципиальных электрических схем распределительных устройств подстанций 35–750 кВ. – Введ. 2010-06-16. – М.: ОАО «ФСК ЕЭС», 2010. – 128 с. – <http://www.fsk-ees.ru/upload/docs/56947007-29.240.30.047-2010.pdf> (дата обращения: 30.08.2018).

Панова Евгения Александровна, канд. техн. наук, доцент, кафедра «Электроснабжение промышленных предприятий», Магнитогорский государственный технический университет им. Г.И. Носова, г. Магнитогорск; ea.panova@magtu.ru.

Варганова Александра Владимировна, канд. техн. наук, доцент, кафедра «Электроснабжение промышленных предприятий», Магнитогорский государственный технический университет им. Г.И. Носова, г. Магнитогорск; aleksandra-khlamova@yandex.ru.

Поступила в редакцию 5 сентября 2018 г.

ORU-CAD ALGORITHM FOR COMPUTER-AIDED SLD SELECTION FOR 35- TO 220-KV OUTDOOR SWITCHGEARS

Ye.A. Panova, ea.panova@magtu.ru,

A.V. Varganova, aleksandra-khlamova@yandex.ru

Nosov Magnitogorsk State Technical University, Magnitogorsk, Russian Federation

Using CAD when designing the electrical part of substations does reduce the time spent by the designer to solve routine problems. The paper describes an algorithm for computer-aided selection of single-line diagrams for 35- to 220-kV outdoor switchgears as implemented ORU CAD. The algorithm herein proposed selects switchgear SLD based on the effective codes and design standards. In addition, alternative options are proposed that satisfy some of the conditions for their subsequent comparison by the reliability criteria and the resultant costs. When running SLD selection, the algorithm considers such factors as the voltage class and number of connections, the type of substation, the number of non-redundant connections, and the need for an ice-melting system on power lines. In addition, for dead-end substations it considers the possibility of transmitting a relay protection signal to the power supply switch as well as the presence of dead-end substations on the power transmission line. For pass-through substations, it considers the possible need for frequent power transformer switching. The software described in this paper can be used as an automated workstation for the electrical engineer responsible the electrical part of the substations.

Keywords: CAD, switchgear, single-line diagram, substation, design.

The reported study was funded by RFBR according to the research project №18-37-00115.

References

1. Simmonds P., Senker P. [Managing CAD in Heavy Electrical Engineering]. *Computer-Aided Engineering Journal*, 1989, vol. 6, no. 5, pp. 181–184. DOI: 10.1049/cae.1989.0040
2. Rivera C.A., Poza J., Ugalde G., Almandoz G. [A Knowledge Based System architecture to Manage and Automate the Electrical Machine Design Process]. *2017 IEEE International Workshop of Electronics, Control, Measurement, Signals and their Application to Mechatronics (ECMSM)*, Donostia-San Sebastian, 2017, pp. 1–6. DOI: 10.1109/ECMSM.2017.7945875
3. Aravind C.V., Grace I., Rozita T., Rajparthiban R., Rajprasad R., Wong Y.V. [Universal Computer Aided Design for Electrical Machines]. *2012 IEEE 8th International Colloquium on Signal Processing and its Applications*, Melaka, 2012, pp. 99–104. DOI: 10.1109/CSPA.2012.6194699
4. Belmans R., Verdijck D., Geysen W. [Computer-Aided Engineering in Electrical Machines]. *Computer-Aided Engineering Journal*, 1989, vol. 6, no. 4, pp. 128–132. DOI: 10.1049/cae.1989.0030
5. Tikhonov A.I., Zaytsev A.S., Stulov A.V., Trofimovich I.A. [Development of CAD Optimization Subsystem for Distribution Transformers]. *Vestnik IGEU [Vestnik IGEU]*, 2014, no. 6, pp. 87–91. (in Russ.)
6. Pavlushin V.A., Mikheev F.A., Markov M.V. [Genetic Algorithm in Frequency Characteristics Optimization]. *Izvestiya SPbGETU "LETI" [News of St. Petersburg State Electrotechnical University "LETI"]*, 2006, no. 11, pp. 33–38. (in Russ.)
7. Glushan' V.M., Lavrik P.V. [Research of Client-Server Model Distributed CAD Electronic Schemes]. *Izvestiya YUFU. Tekhnicheskie nauki [News of SFedU. Engineering Sciences]*, 2009, no. 11, pp. 33–38. (in Russ.)
8. Glushan' V.M., Zinchenko L.A. [Software Support for CAD, Modeling and Synthesis of Electronic Circuits Based on Differential Functional Polynomials]. *Izvestiya YUFU. Tekhnicheskie nauki [News of SFedU. Engineering Sciences]*, 1998, no. 2. Available at: <https://cyberleninka.ru/article/n/sredstva-programmnoy-podderzhki-sapr-modelirovaniya-i-sinteza-elektronnyh-shem-na-osnove-differentsialnyh-funktsionalnyh-polinomov> (accessed 30.08.2018). (in Russ.)
9. Stepanov V.M., Kosyrikhin V.S. [The Methodology of The Electrical Power Network and Selecting Its Main Components by Use of CAD]. *Izvestiya TulGU. Tekhnicheskie nauki [News of TulGU. Technical Sciences]*, 2015, no. 12-2. Available at: <https://cyberleninka.ru/article/n/metodologiya-formirovaniya-silovoy-elektricheskoy-seti-i-vybora-eyo-osnovnyh-komponentov-pri-primenenii-sapr> (accessed 30.08.2018). (in Russ.)
10. Stepanov V.M., Kosyrikhin V.S. [Calculation Method and Design Principles Power Supply Systems of Objects on the PC]. *Izvestiya TulGU. Tekhnicheskie nauki [News of TulGU. Technical Sciences]*, 2015, no. 12-2. Available at: <https://cyberleninka.ru/article/n/metodika-raschyota-i-osnovy-proektirovaniya-sistem-elektrosnabzheniya-obektov-na-pevm> (accessed 30.08.2018). (in Russ.)

11. Kovalev A.A., Golovin A.A. [Application for CAD Lighting Calculations]. *Sovremennye nauchnye issledovaniya i innovatsii* [Modern Scientific Researches and Innovations], 2014, no. 6-1 (38). Available at: <http://web.snauka.ru/en/issues/2014/06/36002> (accessed 30.08.2018). (in Russ.)
12. SHishigin D.S. [AutoCAD Application for Calculating Lightning Protection and Grounding of Power Facilities]. *Mater. XII Vseross. soveshchaniya po problemam upravleniya* [Proceedings of XII all-Russian Conference on Control Issues], 2014, pp. 9374–9380. (in Russ.)
13. Mousa A.M. A Computer Program for Designing the Lightning Shielding Systems of Substations. *IEEE Transactions on Power Delivery*, 1991, vol. 6, no. 1, pp. 143–152. DOI: 10.1109/61.103733
14. Eliseyev D.S. *Algoritmy SAPR dlya vybora provodov i kabelej* [CAD Algorithms for Selecting Wires and Cables], FSBEI HPE Volgograd SAU Publ., 2012, 184 p.
15. Atanackovic D., McGillis D., Galiana F.D. A New Tool for Substation Design. *IEEE Transactions on Power Systems*, 1998, vol. 13, no. 4, pp. 1500–1506. DOI: 10.1109/59.736297
16. Varganova A.V., Panova E.A., Khatushina T.V., Kononenko V.S., Bagaeva K.M. Development of Electrical Equipment Database of 35–220 kV for “ORU CAD”. *Elektrotekhnicheskie sistemy i komplekсы* [Electrotechnical Systems and Complexes], 2018, no. 2(39), pp. 28–33. Available at: [https://doi.org/10.18503/2311-8318-2018-2\(39\)-28-33](https://doi.org/10.18503/2311-8318-2018-2(39)-28-33)(accessed 30.08.2018). (in Russ.)
17. *STO 56947007-29.240.30.010–2008. Skhemy printsipial'nye elektricheskie raspredelitel'nykh ustroystv podstantsiy 35–750 kV. Tipovye resheniya* [Basic Circuits of 35- to 750-kV Substation Switchgear. Typical Solutions]. Introduced 2008-12-20, Moscow, PJSC FGC UES, 2008. 132 p. Available at: <http://www.fsk-ees.ru/upload/docs/56947007-29.240.30.010-2008.pdf> (accessed 30.08.2018). (in Russ.)
18. *STO 56947007-29.240.30.047–2010. Rekomendatsii po primeneniyu tipovykh printsipial'nykh elektricheskikh skhem raspredelitel'nykh ustroystv podstantsiy 35–750 kV* [Recommendations for the Application of Typical Electrical Single-Line Diagrams of 35- to 750-kV Substation Switchgear]. Introduced 2010-06-16, Moscow, PJSC FGC UES, 2010. 128 p. Available at: <http://www.fsk-ees.ru/upload/docs/56947007-29.240.30.047-2010.pdf> (accessed 30.08.2018). (in Russ.)

Received 5 September 2018

ОБРАЗЕЦ ЦИТИРОВАНИЯ

Панова, Е.А. Алгоритм автоматизированного выбора схем электрических соединений открытых распределительных устройств напряжением 35–750 кВ в САПР «ОРУ САД» / Е.А. Панова, А.В. Варганова // Вестник ЮУрГУ. Серия «Энергетика». – 2018. – Т. 18, № 3. – С. 52–60. DOI: 10.14529/power180307

FOR CITATION

Panova Ye.A., Varganova A.V. ORU-CAD Algorithm for Computer-Aided SLD Selection for 35- to 220-kV Outdoor Switchgears. *Bulletin of the South Ural State University. Ser. Power Engineering*, 2018, vol. 18, no. 3, pp. 52–60. (in Russ.) DOI: 10.14529/power180307