



## АЛГОРИТМ АВТОМАТИЗИРОВАННОГО ВЫБОРА И ПРОВЕРКИ ИЗМЕРИТЕЛЬНЫХ ТРАНСФОРМАТОРОВ ТОКА В СОСТАВЕ САПР ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ ПОДСТАНЦИЙ

Одним из наиболее трудоемких этапов выполнения проекта понижительной подстанции является выбор и проверка электрооборудования. Это связано с необходимостью в выполнении больших объемов однообразных расчетов. Поэтому актуальной является задача разработки систем автоматизированного проектирования, позволяющих выполнять такого рода расчеты. Данная статья посвящена разработке алгоритма автоматизированной проверки измерительных трансформаторов тока. Предложенный авторами алгоритм позволяет автоматизировать выполнение расчетов, связанных с проверкой условий работы измерительных трансформаторов в утяжеленных и аварийных режимах. Также алгоритм позволяет выполнить проверку трансформаторов тока по вторичной нагрузке. Разработанный алгоритм учитывает не только номинальные параметры измерительного трансформатора, но и его конструктивное исполнение, схему соединения, класс напряжения и тип присоединения на котором он будет использован.

**Ключевые слова:** САПР, подстанция, выбор электрооборудования, измерительные трансформаторы, алгоритм, программное обеспечение.

### ВВЕДЕНИЕ

Работа проектировщика сегодня связана не только с необходимостью принятия качественных обоснованных проектных решений, но и с требованием к выполнению проекта в максимально сжатые сроки. Для выполнения этих требований, в том числе при выполнении проектов электрической части подстанций, широко применяются системы автоматизированного проектирования.

В первую очередь САПР используются при выполнении чертежей. Такие системы как AutoCAD [1], КОМПАС [2] позволяют проектировщику использовать стандартные библиотеки элементов электрических схем, выполненные в соответствии с действующей ЕСКД. Также САПР используются при составлении проектной документации, например смет [3]. Существуют САПР, позволяющие автоматизировать не только отрисовку схем, но и осуществить выбор схемы электрических соединений распределительного устройства подстанции на основе технического задания [4], а также разработать последовательность оперативных переключений для различных режимов работы распределительного устройства [5].

При проектировании электрических подстанций САПР также используются для расчета устройств защитного заземления [6, 7], освещения [8]. Существуют также САПР, позволяющие автоматизировать разработку плана распределительного устройства подстанции [9].

В части выбора и проверки электрического оборудования электроустановок САПР решают такие задачи, как выбор и проверка силовых кабелей [10], высоковольтных выключателей [11], гибкой ошиновки [12] и другого электрооборудования.

Зачастую САПР применяются при проектировании систем электроснабжения таких объектов, как цеха

промышленных предприятий [13], жилые и общественные здания, а также иные объекты капитального строительства [14].

Основным недостатком всех рассмотренных САПР является отсутствие комплексного подхода к выполнению проекта. Все они направлены на автоматизацию только одного или нескольких этапов проектирования. При этом исходными данными для их использования являются, как правило, не техническое задание, а проектные решения, принятые на предыдущих этапах. Это обуславливает актуальность выполняемой работы.

Данная статья посвящена разработке и программной реализации алгоритма автоматизированного выбора и проверки измерительных трансформаторов тока. Данный алгоритм реализован в разработанной авторами САПР понижительных подстанций [15], позволяющей на основе технического задания осуществлять выбор схемы распределительного устройства на основе технических [16] и экономических [17] критериев, а также выполнять выбор и проверку электрооборудования с использованием информации о номинальных параметрах электрических аппаратов из базы данных [18]. Результатом работы данной САПР является комплект проектной документации, состоящей из пояснительной записки и однолинейных схем, выполненных автоматическими и импортированными в графический редактор КОМПАС. На любом этапе выполнения проекта проектировщик может вносить изменения, которые учитываются при автоматизированном выполнении следующих этапов. Такой подход позволяет проектировщику не тратить время на выполнение рутинных задач и реализовать свой потенциал при реализации нетиповых проектных решений.

### АЛГОРИТМ ВЫБОРА И ПРОВЕРКИ ИЗМЕРИТЕЛЬНЫХ ТРАНСФОРМАТОРОВ ТОКА ПО УСЛОВИЯМ НОРМАЛЬНОГО И АВАРИЙНОГО РЕЖИМА РАБОТЫ

Начальным этапом является выбор проектировщиком из базы данных [18] трансформатора тока требу-

мого типа. При этом из базы данных для дальнейших расчетов в качестве исходных данных принимаются тип трансформатора тока, так как его конструктивные особенности влияют на условия его проверки по режиму короткого замыкания, номинальное напряжение и ток, ток и время термической стойкости и ток электродинамической стойкости, а также номинальное сопротивление нагрузки.

Далее в зависимости от типа присоединения, для которого осуществляется выбор электрооборудования, определяется ток утяжеленного режима с учетом перегрузочной способности электрооборудования (трансформатора, двигателя и т.п.). Затем выполняется сравнение напряжения распределительного устройства с номинальным напряжением трансформатора тока и тока утяжеленного режима с номинальным первичным током. Если хотя бы одно из перечисленных условий не выполняется, то проектировщику предлагается выбрать другой трансформатор тока из базы данных.

По результатам расчета режима короткого замыкания в качестве исходных данных вводятся начальное значение периодической составляющей тока КЗ и ударный ток.

Проверка на электродинамическую стойкость осуществляется только в том случае, если тип трансформатора тока равен «опорный». В противном случае данная проверка не нужна, так как электродинамическая стойкость шинного трансформатора тока определяется стойкостью сборных шин.

Для выполнения проверки на термическую стойкость необходимо определить тепловой импульс, величина которого зависит от значения периодической составляющей тока короткого замыкания, протекающего по данной цепи, и длительности его протекания.

Согласно ПУЭ расчетная продолжительность КЗ складывается из времени действия основной релейной защиты данной цепи  $t_{рз}$  с учетом действия АПВ и полного времени отключения выключателя  $t_{о.в.}$ , которое указывается в каталожных данных и принимается на основе номинальных параметров выбранного ранее для данного присоединения выключателя из базы данных:

$$t_{отк} = t_{рз} + t_{о.в.} \quad (1)$$

Время действия релейной защиты принимается для присоединений силового трансформатора со стороны ВН – 0,02 с, со стороны НН – 1 с, на линиях напряжением 35 кВ и выше – 0,1 с, на линиях 6-10 кВ – 0,5 с, на присоединениях двигателей и компенсирующих устройств – 0,02 с.

Постоянная времени электрической цепи определяется при расчете тока короткого замыкания в зависимости от класса напряжения электроустановки и параметров элемента цепи, через который осуществляется подпитка.

На рис. 1 представлена блок-схема предложенного авторами алгоритма выбора и проверки измерительных трансформаторов тока по условиям их работы в утяжеленном и аварийном режимах.

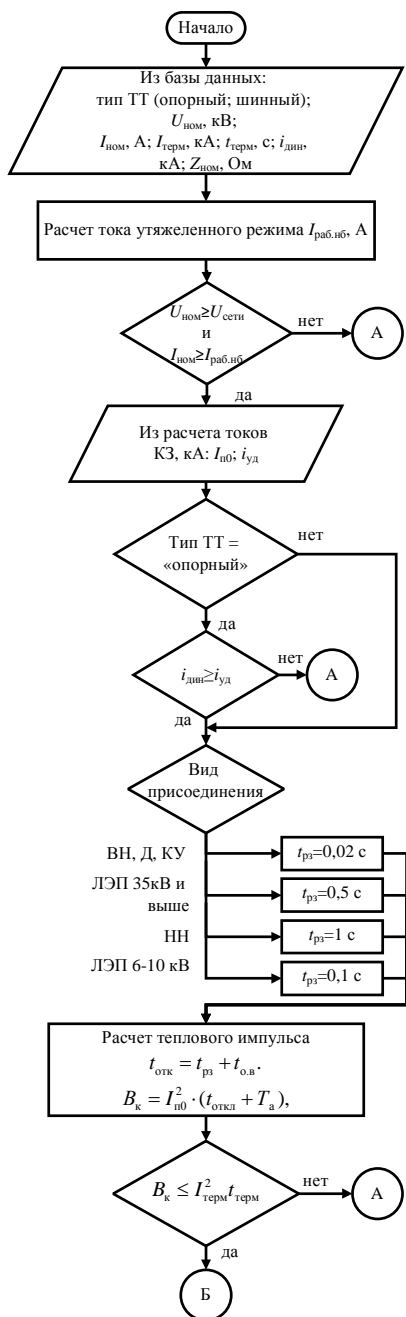


Рис. 1. Алгоритм выбора и проверки измерительного трансформатора тока

ПРОВЕРКА ТРАНСФОРМАТОРОВ ТОКА  
ПО ВТОРИЧНОЙ НАГРУЗКЕ

Наибольшую сложность при автоматизированной проверке измерительных трансформаторов тока представляет оценка его вторичной нагрузки. Предложенный авторами алгоритм автоматизированного расчета вторичной нагрузки трансформатора тока представлен на **рис. 2** и **3**. Исходными данными для выполнения данного расчета является перечень измерительных приборов и приборов учета, которые подлежат установке на данном присоединении, схема соединения обмоток трансформатора тока, мощность, потребляемая приборами. Перечень требуемых приборов определяется автоматически в зависимости от типа присоединения и класса его напряжения и соответствует требованиям ПУЭ в части измерения электрических величин и учета электрической энергии на подстанциях. Алгоритм определения перечня приборов учета и измерения описан в [19].

Нагрузка на фазу измерительного трансформатора тока, создаваемая счетчиком, будет зависеть от его конструкции и схемы включения. Для однофазных счетчиков в качестве номинальной производится фазная нагрузка, которая и используется в дальнейших расчетах. Для трехфазных счетчиков нагрузка на фазу будет определяться следующим образом:

$$\begin{cases} S_{PIK\phi} = \frac{S_{PIK}}{3}, \text{ трехтрансформаторная схема;} \\ S_{PIK\phi} = \frac{S_{PIK}}{2}, \text{ двухтрансформаторная схема;} \\ S_{PIK\phi} = \frac{S_{PIK}}{3} + \frac{S_{PIK}}{6}, \text{ двухтрансформаторная} \\ \text{с обмоткой в обратном проводе.} \end{cases} \quad (2)$$

Таким образом, вторичная нагрузка измерительного трансформатора тока, создаваемая измерительными приборами и приборами учета, будет складываться из мощности амперметра, ваттметра, varmметра и фазы счетчика:

$$S_{\text{приб}} = S_A + S_W + S_{VAR} + S_{PIK\phi}. \quad (3)$$

Сопrotивление приборов в фазе измерительного трансформатора тока определяется по известному соотношению:

$$r_{\text{приб}} = S_{\text{приб}} / I_{2.\text{ном}}^2, \quad (4)$$

где  $I_{2.\text{ном}}$  – номинальный вторичный ток трансформатора тока (из базы данных), А.

Кроме измерительных приборов и приборов учета, вторичную нагрузку трансформатора тока составляют также контакты и соединительные провода. В предлагаемом алгоритме сопротивление контактов учитывается упрощенно и при числе приборов три и менее принимается равным 0,05 Ом, а при большем числе приборов – 0,1 Ом.

Для расчета сопротивления проводников вторичных цепей в алгоритме задана длина соединительных проводов ( $l$ ) в зависимости от класса напряжения. Данные длины взяты усредненно. Так как на подстанциях с высшим напряжением 110 кВ и ниже рекомендуется во вторичных цепях использовать алюминиевые проводники, а на подстанциях более высокого класса – медные, это учтено в алгоритме величиной их удельного сопротивления ( $\rho$ ).

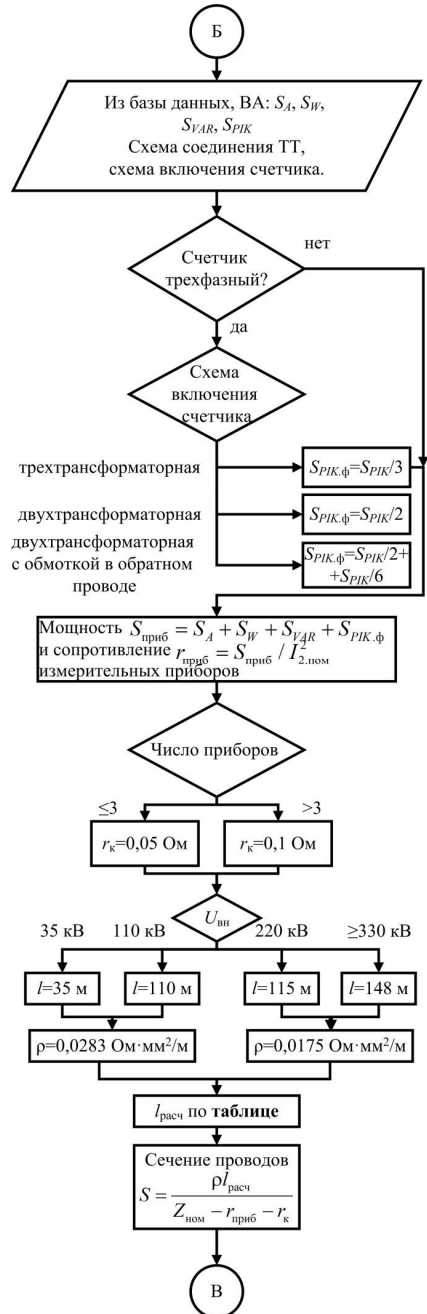


Рис. 2. Алгоритм проверки трансформатора тока по вторичной нагрузке (начало)

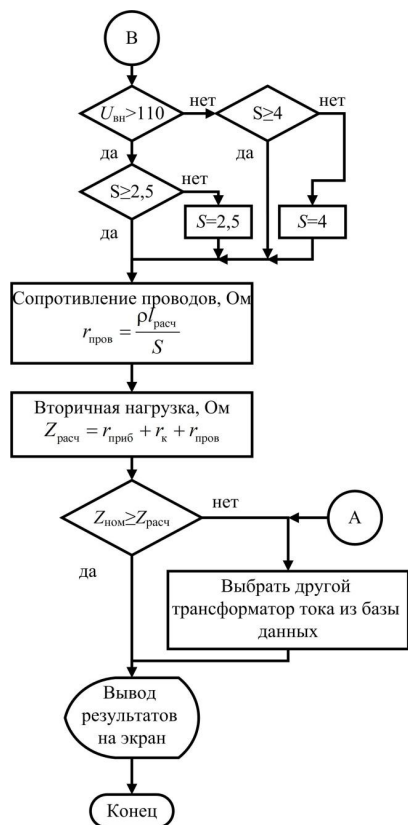


Рис. 3. Алгоритм проверки трансформатора тока по вторичной нагрузке (окончание)

Так как на длину трассы соединительных проводов влияет не только класс напряжения распределительного устройства, но и схема соединения обмоток трансформаторов тока, то далее рассчитывается длина трассы ( $l_{расч}$ ) в соответствии с таблицей.

**Определение длины трассы соединительных проводов**

Схема соединения трансформаторов тока	$l_{расч}$ , М
В одну фазу	$l_{расч} = 2l$
Звезда	$l_{расч} = \sqrt{3}l$
Неполная звезда	$l_{расч} = l$

После определения  $l_{расч}$  рассчитывается сечение соединительных проводов:

$$S = \frac{\rho l_{расч}}{Z_{ном} - r_{приб} - r_k}. \quad (5)$$

Для обеспечения требований к механической прочности проводов при высшем напряжении на подстанции

110 кВ и менее сечение, которое по расчетам получилось меньше  $4 \text{ мм}^2$ , округляется до данного значения, а при высшем напряжении более 110 кВ – до  $2,5 \text{ мм}^2$ .

Далее выполняется расчет сопротивления проводов

$$r_{пров} = \frac{\rho l_{расч}}{S}. \quad (6)$$

На заключительном этапе выполнения алгоритма определяется вторичная нагрузка измерительного трансформатора:

$$Z_{расч} = r_{приб} + r_k + r_{пров}. \quad (7)$$

В конце выполняется сравнение расчетной вторичной нагрузки с номинальной. Если условия проверки выполняются, то результат выводится на экран. В противном случае пользователю предлагается выбрать другой трансформатор тока.

**ЗАКЛЮЧЕНИЕ**

В работе предложен алгоритм автоматизированной проверки измерительных трансформаторов тока, позволяющий выбрать электрический аппарат из базы данных осуществить оценку его работы в условиях утяжеленного и аварийного режимов электроустановки. Предложенный алгоритм отличается возможностью автоматизированного расчета вторичной нагрузки измерительного трансформатора.

Разработанный авторами алгоритм реализован в оригинальном программном обеспечении САПР пониженных подстанций и может быть использован в работе проектных организаций, а также при учебном проектировании.

Использование разработанного алгоритма и программного обеспечения позволит значительно сократить время, затрачиваемое проектировщиком на выполнение однообразных рутинных расчетов.

*Работа выполняется при поддержке гранта Президента РФ для молодых ученых - кандидатов наук МК-939.2019.8*

**СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ**

- Официальный сайт Autodesk Inc. <https://www.autodesk.ru/products/autocad/overview>.
- Официальный сайт ООО «АСКОН - Системы проектирования». <https://kompas.ru/>
- Игнатьев К.Е. Автоматизация деятельности инженера-энергетика при составлении сметной документации по строительству типовых линий электропередачи // Аллея науки. 2018. Т.1. №5(21). С. 1007-1010.
- Панова Е.А., Варганова А.В. Алгоритм автоматизированного выбора схем электрических соединений открытых распределительных устройств напряжением 35-750 кВ в САПР «ОРУ CAD» // Вестник Южно-Уральского государственного университета. Серия: Энергетика. 2018. Т.18. № 3. С. 52-60.
- Sachdev M.S., Dhakal P. and Sidhu T.S., "Design tool generates substation interlock schemes," in IEEE Computer Applications in Power, vol. 13, no. 2, pp. 37-42, April 2000.
- Duta M.I., Diga S.M., Rusinaru D.G., Brojboiu M.D. and Popescu D.N., "Computer aided design of the earthing installations for the substations," 2010 3rd International Symposium on Electrical and Electronics Engineering (ISEEE), Galați, 2010, pp. 34-38.

7. Patel A.B. and Velani K., "Digital application for grounding grid design calculations of substation," 2017 Innovations in Power and Advanced Computing Technologies (i-PACT), Vellore, 2017, pp. 1-6.
8. Dialux – расчёт и проектирование освещения. <http://www.dialux-help.ru/>
9. Fletcher R., "Using modern IT to improve distribution planning substation siting optimization - a new approach," IEEE Power Engineering Society Summer Meeting, Chicago, IL, USA, 2002, vol. 1, pp. 356-361.
10. Программа выбора аппаратуры, кабелей и защит в сетях 0,4 кВ / В.И. Готман, С.Г. Слюсаренко, А.В. Скворцов, С.Н. Аверин, А.Д. Кадай // Проблемы и перспективы развития Томского нефтехимического комбината: тезисы докладов 10-го отраслевого совещания. 1996. С. 89-90.
11. Бриштен А.В., Беляев Я.С. Разработка системы автоматизированного выбора высоковольтных выключателей // Наука. Технологии. Инновации: сб. науч. тр. 2017. С. 136-138.
12. Воронин А.А., Одрузова В.А., Наурзов Т.Б. Система автоматизированного выбора гибких сборных шин распределительных устройств // Электроэнергетика глазами молодежи – 2017: материалы VIII Международной научно-технической конференции. 2017. С. 154-157.
13. Постановка задачи синтеза принципиальных схем промышленного электроснабжения средствами современных САПР / А.Л. Ахтулов, Л.Н. Ахтулова, Е.Н. Леонов, С.И. Смирнов // Вестник Ижевского государственного технического университета. 2011. № 1. С. 110-113.
14. Иващенко В.С. Автоматизированное проектирование электроустановок жилых и общественных зданий // Энергобезопасность в документах и фактах. 2007. №5. С. 18-19.
15. ОРУ САД / А.В. Варганова, Е.А. Панова, Т.В. Хатюшина, В.С. Кононенко, Х.М. Багаева // Свидетельство о регистрации программы для ЭВМ RUS 2018660517 30.07.2018.
16. Панова Е.А., Варганова А.В. Алгоритм автоматизированного выбора схем электрических соединений открытых распределительных устройств напряжением 35–750 кВ в САПР «ОРУ САД» // Вестник ЮУрГУ. Серия «Энергетика». 2018. Т. 18, № 3. С. 52-60.
17. Расчет экономических составляющих целевой функции алгоритма определения оптимального варианта схемы распределительного устройства подстанции с высшим напряжением 35 кВ и более / Е.А. Панова, А.С. Ирихов, И.А. Дубина, Н.Т. Патшин // Электротехнические системы и комплексы. 2019. №1(42). С. 4-11. [https://doi.org/10.18503/2311-8318-2019-1\(42\)-4-11](https://doi.org/10.18503/2311-8318-2019-1(42)-4-11).
18. Разработка базы данных электрооборудования 35-220 кВ для САПР «ОРУ САД» / А.В. Варганова, Е.А. Панова, Т.В. Хатюшина, В.С. Кононенко, Х.М. Багаева // Электротехнические системы и комплексы. 2018. №2(39). С. 28-33.
19. Варганова А.В., Панова Е.А., Багаева Х.М. Выбор контрольно-измерительных приборов в цепях оборудования распределительных устройств 6-220 кВ в САПР «ОРУ САД» // Современные проблемы электроэнергетики и пути их решения: материалы III Всероссийской научно-технической конференции. 2018. С. 34-37.

Поступила в редакцию 24 марта 2019 г.

## INFORMATION IN ENGLISH

### ALGORITHM FOR AUTOMATED SELECTION AND VERIFICATION OF INSTRUMENT CURRENT TRANSFORMERS IN THE ELECTRICAL SUBSTATIONS CAD SYSTEM

Evgeniya A. Panova

Ph.D. in Engineering, Associate Professor, Department of Electric Power Supply of Industrial Enterprises, Power Engineering and Automated Systems Institute, Nosov Magnitogorsk State Technical University, Magnitogorsk, Russia. E-mail: [ea.panova@magtu.ru](mailto:ea.panova@magtu.ru). ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-9392-3346>.

Aleksandra V. Varganova

Ph.D. in Engineering, Associate Professor, Department of Electric Power Supply of Industrial Enterprises, Power Engineering and Automated Systems Institute, Nosov Magnitogorsk State Technical University, Magnitogorsk, Russia. E-mail: [aleksandra-khlamova@yandex.ru](mailto:aleksandra-khlamova@yandex.ru). ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-4675-7511>.

Mariya S. Panarina

Student, Department of Electric Power Supply of Industrial Enterprises, Power Engineering and Automated Systems Institute, Nosov Magnitogorsk State Technical University, Magnitogorsk, Russia.

Tatiana V. Khatushina

Student, Department of Electric Power Supply of Industrial Enterprises, Power Engineering and Automated Systems Institute, Nosov Magnitogorsk State Technical University, Magnitogorsk, Russia.

One of the most labor-intensive stages of the design of a substation is the selection and testing of electrical equipment. This is due to the need to perform large volumes of uniform calculations. Therefore, the urgent task is to develop computer-aided design systems that allow performing such calculations. This paper is devoted to the development of an algorithm for automated testing of measuring current transformers. The algorithm proposed by the authors makes it possible to automate the execution of calculations related to the verification of the working conditions of measuring transformers in heavy and emergency modes. The algorithm also allows you to test current

transformers for the secondary load. The developed algorithm takes into account not only the nominal parameters of the measuring transformer, but also its design, connection scheme, voltage class and type of connection on which it will be used.

**Keywords:** CAD, substation, selection of electrical equipment, instrument transformers, algorithm, software.

#### REFERENCES

1. Autodesk Inc. <https://www.autodesk.ru/products/autocad/overview>.
2. LLC «Ascon – Project systems». <https://kompas.ru/>

3. Ignat'ev K.E. Automation of the activities of an energy engineer in the preparation of estimates for the construction of typical power lines. *Alleia nauki* [Alley of science], 2018, vol. 1, no. 5(21), pp. 1007-1010. (In Russian)
4. Panova Ye.A., Varganova A.V. ORU-CAD algorithm for computer-aided SLD selection for 35- to 220-kV outdoor switchgears. *Vestnyk Iuzhno-Ural'skogo gosudarstvennogo universiteta. Seriya: Energetika* [Bulletin of South Ural State University. Series "Power Engineering"], 2018, vol. 18, no. 3, pp. 52-60. (In Russian)
5. Sachdev M.S., Dhakal P. and Sidhu T.S., "Design tool generates substation interlock schemes," in IEEE Computer Applications in Power, vol. 13, no. 2, pp. 37-42, April 2000.
6. Duta M.I., Diga S.M., Rusinaru D.G., Brojboiu M.D. and Popescu D.N., "Computer aided design of the earthing installations for the substations," 2010 3rd International Symposium on Electrical and Electronics Engineering (ISEEE), Galati, 2010, pp. 34-38.
7. Patel A.B. and Velani K., "Digital application for grounding grid design calculations of substation," 2017 Innovations in Power and Advanced Computing Technologies (i-PACT), Vellore, 2017, pp. 1-6.
8. Dialux – lighting calculation and design. <http://www.dialux-help.ru/>
9. Fletcher R., "Using modern IT to improve distribution planning substation siting optimization - a new approach," IEEE Power Engineering Society Summer Meeting, Chicago, IL, USA, 2002, vol. 1, pp. 356-361.
10. Gotman V.I., Sliusarenko S.G., Skvortcov A.V., Averin S.N., Kadai' A.D. Program for selection of equipment, cables and protections in networks of 0.4 kV. *Problemy i perspektivy razvitiia Tomskogo neftehimicheskogo kombinata Tezisy' dokladov 10-go otraslevogo soveshchaniia* [Problems and prospects of development of the Tomsk Petrochemical Combine Abstracts of the 10th Sectoral Meeting], 1996, pp. 89-90. (In Russian)
11. Brishten A.V., Beliaev Ia.S. Development of an automated selection of high-voltage circuit breakers system. *Nauka. Tekhnologii. Innovatsii: sb. nauch. trudov* [The science. Technology. Innovation: a collection of scientific papers], 2017, pp. 136-138. (In Russian)
12. Voronin A.A., Odruzova V.A., Naurzov T.B. System of automated selection of flexible busbars of switchgears. *E'lektroenergetika glazami molodezhi – 2017. Materialy VIII Mezhdunarodnoi' nauchno-tehnicheskoi' konferentsii* [Electric power industry through the eyes of youth - 2017. Materials of the VIII International Scientific and Technical Conference], 2017, pp. 154-157. (In Russian)
13. Akhtulov A.L., Akhtulova L.N., Leonov E.N., Smirnov S.I. Statement of Problem of Synthesis of Industrial Electric Supply Basic Schemes by Means of Modern CAD. *Vestnik Izhevskogo gosudarstvennogo tekhnicheskogo universiteta* [Bulletin of Izhevsk State Technical University], 2011, no. 1, pp. 110-113. (In Russian)
14. Ivashchenko V.S. Automated electrical design of residential and public buildings. *E'nergobezopasnost' v dokumentakh i faktakh* [Energy security in documents and facts], 2007, no. 5, pp. 18-19. (In Russian)
15. Varganova A.V., Panova E.A., Hatiushina T.V., Kononenko V.S., Bagaeva Kh.M. *ORU CAD* [ORU CAD], Software, RUS 2018660517 30.07.2018.
16. Panova Ye.A., Varganova A.V. ORU-CAD Algorithm for Computer-Aided SLD Selection for 35- to 220-kV Outdoor Switchgears. *Vestnyk IUUrGU. Seriya «Energetika»* [Bulletin of the South Ural State University. Ser. Power Engineering], 2018, vol. 18, no. 3, pp. 52-60. (in Russ.) DOI: 10.14529/power180307
17. Panova E.A., Irikhov A.S., Dubina I.A., Patshin N.T. Calculation of Economic Components of Target Function of the Algorithm for Determining the Optimal Option of Scheme of Substations Distribution Device with the High Voltage of 35 kV and Above. *Elektrotekhnicheskie sistemy i komplekсы* [Electrotechnical Systems and Complexes], 2019, no. 1(42), pp. 4-11. (In Russian). [https://doi.org/10.18503/2311-8318-2019-1\(42\)-4-11](https://doi.org/10.18503/2311-8318-2019-1(42)-4-11)
18. Varganova A.V., Panova E.A., Hatiushina T.V., Kononenko V.S., Bagaeva H.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.
19. Varganova A.V., Panova E.A., Bagaeva Kh.M. Selection of measuring instruments in the chains of equipment of distributive devices of 6-220 kV in CAD "ORU CAD". *Sovremennye problemy elektroenergetiki i puti ikh resheniya. Materialy III Vserossiiskoi' nauchno-tehnicheskoi' konferentsii* [Current problems of the power industry and their solutions], 2018, pp. 34-37. (In Russian)

Панова Е.А., Варганова А.В., Панарина М.С., Хатюшина Т.В. Алгоритм автоматизированного выбора и проверки измерительных трансформаторов тока в составе САПР электрических подстанций // Электротехнические системы и комплексы. 2019. № 2(43). С. 19-24. [https://doi.org/10.18503/2311-8318-2019-2\(43\)-19-24](https://doi.org/10.18503/2311-8318-2019-2(43)-19-24)

Panova E.A., Varganova A.V., Panarina M.S., Khatushina T.V. Algorithm for Automated Selection and Verification of Instrument Current Transformers in the Electrical Substations CAD System. *Elektrotekhnicheskie sistemy i komplekсы* [Electrotechnical Systems and Complexes], 2019, no. 2(43), pp. 19-24. (In Russian). [https://doi.org/10.18503/2311-8318-2019-2\(43\)-19-24](https://doi.org/10.18503/2311-8318-2019-2(43)-19-24)