

Панова Е.А., Варганова А.В., Панарина М.С.

Магнитогорский государственный технический университет им. Г.И. Носова

АВТОМАТИЗИРОВАННАЯ ПРОВЕРКА ОДНОПОЛОСНЫХ ШИН ПРЯМОУГОЛЬНОГО СЕЧЕНИЯ ПО УСЛОВИЯМ ТЕРМИЧЕСКОЙ И ЭЛЕКТРОДИНАМИЧЕСКОЙ СТОЙКОСТИ

При проектировании понизительных подстанций проектировщик вынужден выполнять большой объем рутинных расчетов. Эти расчеты требуют от проектировщика умения ориентироваться в большом объеме нормативных документов, инструкций и ГОСТ, а также каталогов заводов-изготовителей электротехнического оборудования. Применение для этих целей САПР позволяет значительно сократить время, которое проектировщик затрачивает на выполнение расчетной части проекта. Однако существующие на сегодняшний день САПР либо автоматизируют один или несколько этапов проекта, либо основаны на нормах и стандартах, не действующих на территории РФ. Авторами данной статьи разработан алгоритм автоматизированного выбора и проверки жестких шин прямоугольного сечения, выполненных из одной полосы. Описанный в работе алгоритм позволяет выбрать сечение шины по условию его нагрева током утяжеленного режима, а также осуществить его проверку на термическую и электродинамическую стойкость. Алгоритм отличается наличием математического описания номограммы динамического коэффициента, что снижает возможность ошибки при его определении и значительно облегчает работу проектировщика. Алгоритм основан на действующих руководящих указаниях по расчету токов короткого замыкания и выбору электрооборудования. Разработанный алгоритм реализован в оригинальной САПР понизительных подстанций, в которую интегрирована база данных электрооборудования. Такой подход позволяет автоматизировать разработку проекта комплексно. При выборе электрооборудования в данной САПР проектировщику на любом этапе доступны в базе данных только те аппараты и проводники, которые удовлетворяют условиям их работы в продолжительных и аварийных режимах.

Ключевые слова: автоматизированное проектирование, термическая стойкость, электродинамическая стойкость, сборные шины, распределительное устройство, подстанция.

ВВЕДЕНИЕ

В силу того, что выполнение проектных расчетов представляет собой хоть трудоемкую рутинную задачу, целесообразным является использование САПР в работе проектировщиков. Так, при проектировании электроустановок наиболее широко используются чертежно-графические САПР [1, 2], позволяющие выполнять чертежи электрических схем с использованием встроенной библиотеки элементов, соответствующих требованиям ЕСКД. Это значительно сокращает время выполнения проекта, однако не избавляет проектировщика от выполнения расчетов.

Одним из наиболее трудоемких процессов является выбор и проверка проводников и электрических аппаратов распределительных устройств, так как он связан с выполнением громоздких однотипных расчетов, а также с необходимостью использования каталогов заводов-изготовителей электрооборудования, справочной и нормативной литературы. Существуют САПР, позволяющие осуществлять выбор и проверку отдельных видов аппаратов, таких как высоковольтные выключатели [3], либо гибких шин [4] и кабелей [5].

Выбор и проверка жесткой ошиновки связаны с выполнением громоздких расчетов, особенно в части оценки электродинамических усилий. Дополнительно эти расчеты усложняются необходимостью использования номограмм для определения расчетных коэффициентов, что увеличивает затрачиваемое проектировщиком время и приводит к неточностям в расчетах. Поэтому такие расчеты целесообразно выполнять средствами САПР. Так, авторы [6] предложили алгоритм оптимизации с использованием программного обеспечения BUSCAD, предназначенного для опреде-

ления минимальной массы и стоимости шин с учетом их нагрева током рабочего режима, термической и электродинамической стойкости, а также ветровой нагрузки. В работе [7] предложен алгоритм проверки термической и электродинамической стойкости изолированных жестких шин. Авторы [8] рассматривают вопрос оптимизации параметров жесткой ошиновки распределительных устройств с элегазовой изоляцией. В [9] авторами предложена методика оценки температуры контактов трехфазных сборных шин распределительных устройств с элегазовой изоляцией с использованием метода конечных элементов.

Рассмотренные САПР не позволяют проектировщику автоматизировать весь процесс проектирования подстанции. То есть проектировщик вынужден использовать различные программы для выполнения отдельных этапов проекта.

Таким образом, актуальной является задача разработки САПР, позволяющей комплексно выполнять проект подстанции в автоматизированном режиме и позволяющей вносить изменения в принятые программой решения на любом этапе проекта.

Авторами данной статьи разработан алгоритм автоматизированного выбора и проверки жестких шин прямоугольного сечения. Данный алгоритм реализован в САПР понизительных подстанций, позволяющей на основе технического задания осуществить выбор схем распределительных устройств, электрооборудования и формировать планы РУ. Данная САПР основана на действующих ГОСТ и ЕСКД и, кроме выполнения проектных расчетов, позволяет формировать пояснительную записку, чертежи в формате *.dwg и спецификации. Отличительной особенностью САПР является возможность выполнения технико-экономического сопоставления вариантов проектных решений и выдачи рекомендаций по оптимальному варианту.

АЛГОРИТМ АВТОМАТИЗИРОВАННОГО ВЫБОРА
СБОРНЫХ ШИН И ПРОВЕРКИ ПО УСЛОВИЮ
ТЕРМИЧЕСКОЙ СТОЙКОСТИ

Предложенный алгоритм выбора сборных шин и их проверки на термическую и электродинамическую стойкость основан на действующих руководящих указаниях [10].

Исходными данными для проверки шинных конструкций на электродинамическую и термическую стойкость являются номинальные параметры проверяемого сечения шины, которые берутся из базы данных электрических аппаратов [11], а также результаты расчета составляющих тока трехфазного короткого замыкания [12], выполненного средствами разработанной авторами САПР.

Для выбора площади поперечного сечения проверяемой шинной конструкции алгоритмом САПР предусмотрен расчет тока в утяжеленном режиме. Для распределительного устройства напряжением 6-10 кВ понизительной подстанции ток сборных шин принимается равным току на стороне НН силового трансформатора в утяжеленном режиме и, с учетом его перегрузочной способности, равен:

$$I_{\text{нагр. max}} = \frac{k_3 S_{\text{т. ном}}}{n \sqrt{3} U_{\text{НН}}}, \quad (1)$$

где k_3 – коэффициент загрузки трансформатора в режиме аварийных перегрузок (если значение не задано ранее проектировщиком, то он принимается равным 1,4); $S_{\text{т. ном}}$ – номинальная мощность трансформатора, кВА; n – число параллельно работающих ветвей обмотки трансформатора; $U_{\text{НН}}$ – номинальное напряжение трансформатора, кВ.

Подробно алгоритм определения тока в утяжеленном режиме рассмотрен в [13].

Условием выбора поперечного сечения сборной шины будет превышение её номинального допустимого тока по нагреву тока утяжеленного режима, определенного в соответствии с (1). Таким образом, проектировщику доступны для выбора из базы данных только те шины, которые соответствуют выбранному им профилю и условию

$$I_{\text{ном}} \geq I_{\text{нагр. max}}, \quad (2)$$

где $I_{\text{ном}}$ – длительно допустимый ток шины, А.

Для дальнейшей проверки шинной конструкции на термическую и электродинамическую стойкость из базы данных используются следующие номинальные параметры:

E – модуль упругости материала шины, Па;

M – масса шины на единицу длины, кг/м;

b – ширина шины, м;

h – длина шины, м;

материал (марка сплава);

$\sigma_{\text{доп}}$ – допустимое напряжение в материале жестких шин, Па.

Кроме номинальных параметров проводника для проверки сборных шин на термическую и электродинамическую стойкость в качестве исходных данных учитываются параметры ячейки КРУ или КСО, на базе

которых планируется выполнение распределительного устройства. Необходимыми параметрами являются расстояние между осями проводников (a , м), взаимное расположение фаз ошиновки (в одной плоскости, по вершинам равностороннего треугольника, по вершинам равнобедренного треугольника), а также длина пролета сборных шин (l , м), которая принимается равной ширине ячейки КРУ/КСО.

Расчет величин ударного тока при трехфазном коротком замыкании ($i_y^{(3)}$, кА) и ударного коэффициента (k_y) предусмотрен алгоритмом САПР [12] на предыдущем этапе проектирования. Ударный коэффициент при этом рассчитывается на основе постоянной времени электрической цепи, которая представляет собой энергосистему, связанную с точкой короткого замыкания через силовой трансформатор.

Для проверки сборных шин на термическую стойкость сначала определяется тепловой импульс:

$$B_K = I_{\text{п0}}^2 (0,02 + t_{\text{о.в}} + T_a), \quad (3)$$

где $I_{\text{п0}}$ – начальное значение аperiodической составляющей тока трехфазного короткого замыкания (определяется на предыдущем этапе проектирования), кА; $t_{\text{о.в}}$ – полное время отключения выключателя в цепи НН понизительного трансформатора, с; T_a – постоянная времени электрической цепи, которая зависит от мощности понизительного трансформатора на проектируемом РУ [12], с.

При определении теплового импульса для проверки сборных шин в предлагаемом алгоритме САПР принято, что время действия релейной защиты равно времени срабатывания дифференциальной защиты силового трансформатора и составляет 0,02 с.

На основе рассчитанного по (3) теплового импульса и данных о материале шины рассчитывается минимально допустимое сечение по условиям термической стойкости:

$$S_{\text{терм. min}} = \frac{\sqrt{B_K \cdot 10^6}}{C_{\text{терм}}}, \quad (4)$$

где $C_{\text{терм}}$ – коэффициент, зависящий от материала проводника, в соответствии с [10] для медных шин $C_{\text{терм}} = 170 \text{ А} \cdot \text{с}^{1/2} / \text{мм}^2$, а для алюминиевых $C_{\text{терм}} = 90 \text{ А} \cdot \text{с}^{1/2} / \text{мм}^2$.

Для проверки шинной конструкции на термическую стойкость выполняется проверка неравенства:

$$S \geq S_{\text{терм. min}}, \quad (5)$$

где $S = b \cdot h$ – расчетное сечение шины, мм².

АВТОМАТИЗИРОВАННАЯ ПРОВЕРКА СБОРНЫХ ШИН
ПО УСЛОВИЮ ЭЛЕКТРОДИНАМИЧЕСКОЙ СТОЙКОСТИ

Наибольшую сложность представляет автоматизация проверки шинной конструкции на электродинамическую стойкость. На начальном этапе выполняется расчет механического напряжения в материале шины при трехфазном КЗ. Для этого рассчитывается максимальная сила, возникающая в многопролетной балке при трехфазном КЗ:

$$F_{\max}^{(3)} = \frac{\sqrt{3} \cdot 10^{-7}}{a} l \left(i_{\text{уд}}^{(3)} \right)^2 k_{\phi} k_{\text{расп}}, \quad (6)$$

где k_{ϕ} – коэффициент формы (для однополосных шин $k_{\phi}=1$); $k_{\text{расп}}$ – коэффициент, зависящий от взаимного расположения проводников (при расположении фаз по вершинам равнобедренного треугольника $k_{\text{расп}}=0,95$, в остальных случаях $k_{\text{расп}}=1$).

Момент сопротивления поперечного сечения шин определяется в зависимости от её расположения на изоляторе:

– при горизонтальном расположении

$$W = \frac{bh^2}{6}; \quad (7)$$

– при вертикальном расположении

$$W = \frac{hb^2}{6}. \quad (8)$$

Максимальное механическое напряжение в материале шин:

$$\sigma_{\max} = \frac{F_{\max}^{(3)} l}{\lambda W} \eta, \quad (9)$$

где λ – коэффициент, зависящие от условия опирания (закрепления) шин, а также числа пролетов конструкции с неразрезными шинами. Для шинных конструкций, длина которых равна длине одного пролета, $\lambda=8$; η – коэффициент динамической нагрузки.

Обычно коэффициент η определяется по номограмме, приведенной в [10]. Для алгоритмизации расчета максимального механического напряжения авторами было получено математическое описание данной номограммы как функции двух переменных: k_y и отношения f_1/f_c . Здесь f_1 – частота собственных колебаний шины, Гц; f_c – частота сети (50 Гц). Частота собственных колебаний определяется следующим образом:

$$f_1 = \frac{9,8596}{2\pi l^2} \sqrt{\frac{EJ}{m}}, \quad (10)$$

где J – момент инерции поперечного сечения шины, м^4 .

Момент инерции, так же как и момент сопротивления, зависит от расположения шины на изоляторе и определяется:

– при горизонтальном расположении

$$J = \frac{bh^3}{12}; \quad (11)$$

– при вертикальном расположении

$$J = \frac{hb^3}{12}. \quad (12)$$

Зависимость $\eta = f(f_1/f_c, k_y)$ представлена системой уравнений:

$$\left\{ \begin{array}{l} \eta = 0,1596 + 1,4255 \frac{f_1}{f_c} + 0,1173 k_y \\ \quad \text{при } 0,02 \leq \frac{f_1}{f_c} < 0,04; \\ \eta = 0,3036 + 1,1095 \frac{f_1}{f_c} + 0,1142 k_y \\ \quad \text{при } 0,04 \leq \frac{f_1}{f_c} < 0,6; \\ \eta = -0,9103 + 3,3103 \frac{f_1}{f_c} + 0,158 k_y \\ \quad \text{при } 0,6 \leq \frac{f_1}{f_c} < 0,8; \\ \eta = 1,8 + 1,7319 \cdot 10^{-14} \frac{f_1}{f_c} \\ \quad \text{при } 0,8 \leq \frac{f_1}{f_c} < 1,2; \\ \eta = -0,3025 + 1,7521 \frac{f_1}{f_c} \\ \quad \text{при } 1,2 \leq \frac{f_1}{f_c} < 1,7; \\ \eta = 2,676 \text{ при } 1,7 \leq \frac{f_1}{f_c} < 2,5; \\ \eta = 10,095 - 2,9676 \frac{f_1}{f_c} \text{ при } 2,5 \leq \frac{f_1}{f_c} < 3; \\ \eta = 1,3803 - 0,0654 \frac{f_1}{f_c} \text{ при } 3 \leq \frac{f_1}{f_c} < 6; \\ \eta = 1 \text{ при } 6 \leq \frac{f_1}{f_c} \leq 10. \end{array} \right. \quad (13)$$

Далее из базы данных отбираются только те варианты сборных шин, которые удовлетворяют условию:

$$\sigma_{\max} \geq \sigma_{\text{доп}}. \quad (14)$$

Одновременно с проверкой шины на электродинамическую стойкость проверяются изоляторы (в данном случае проходные). Для этого в качестве дополнительных исходных данных используются напряжение сети U , кВ, номинальное напряжение изолятора $U_{\text{ном}}$, кВ, и минимальная разрушающая сила на изгиб $F_{\text{доп}}$, Н.

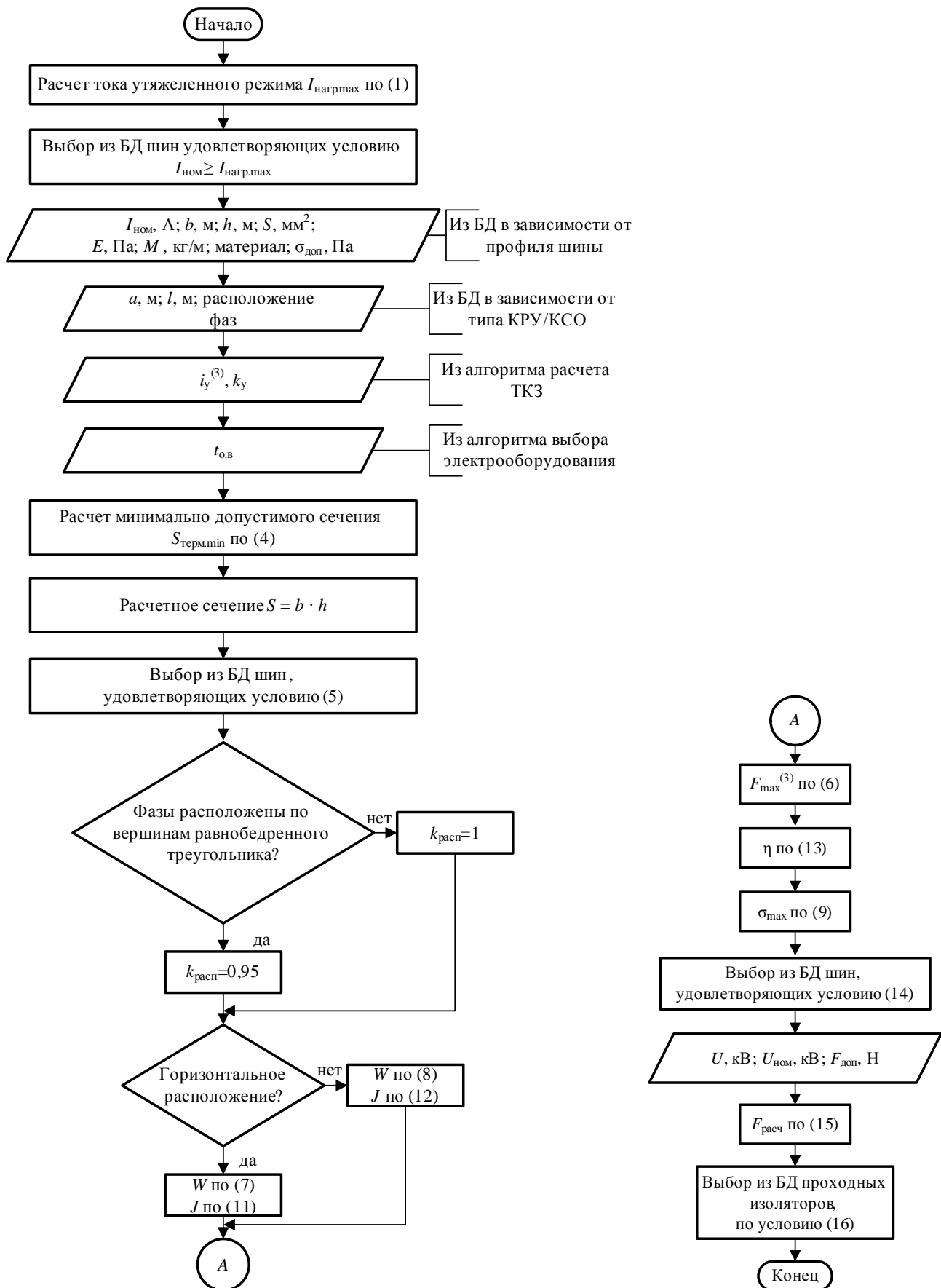
Алгоритмом предусмотрен расчет механической нагрузки на изоляторы при протекании по проводнику тока трехфазного короткого замыкания:

$$F_{\text{расч}} = \sqrt{3} \frac{\left(i_{\text{уд}}^{(3)} \cdot 10^3 \right)^2}{2a} l \cdot 10^{-7}. \quad (15)$$

В результате проектировщику доступны для выбора проходные изоляторы, удовлетворяющие условию:

$$\left\{ \begin{array}{l} U_{\text{ном}} \geq U; \\ F_{\text{расч}} \geq F_{\text{доп}}. \end{array} \right. \quad (16)$$

Описанный алгоритм представлен на рисунке.



Алгоритм проверки однополюсных шин прямоугольного сечения на термическую и электродинамическую стойкость

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В работе предложен алгоритм автоматизированного выбора и проверки однополосных шин прямоугольного сечения, реализованный в САПР [14] пониженных подстанций. Разработанный алгоритм основан на действующих руководящих указаниях по расчету токов короткого замыкания и выбору электрооборудования и позволяет проектировщику сократить время на выполнение рутинных расчетов за счет интегрированной в САПР базы данных, а также математического описания номограммы коэффициента динамической нагрузки.

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/>
- Бриштен А.В., Беляев Я.С. Разработка системы автоматизированного выбора высоковольтных выключателей // Наука. Технологии. Инновации: сб. науч. трудов. 2017. С. 136-138.
- Воронин А.А., Одрозова В.А., Наурзов Т.Б. Система автоматизированного выбора гибких сборных шин распределительных устройств // Электроэнергетика глазами молодежи: материалы VIII Международной научно-технической конференции, 02 – 06 октября 2017, Самара. В 3 т. Т.1. Самара: Самар. гос. техн. ун-т, 2017. С. 154-157.
- Елисеев Д.С. Алгоритмы САПР для выбора проводов и кабелей. Волгоград: Волгоградский государственный аграрный университет, 2012. 184 с.
- Гуляева А.К., Долин А.П. Оптимизация параметров жесткой ошиновки // Радиоэлектроника, электротехника и энергетика: Двадцать четвертая междунар. науч.-техн. конф. студентов и аспирантов (15–16 марта 2018 г., Москва): тез. докл. М.: ООО «Центр полиграфических услуг „Радуга“», 2018. С. 1033.
- Y. Jiaxin, W. Yang, W. Lei, L. Xiaoyu, L. Huimin and B. Longqing, "Thermal-Dynamic Stability Analysis for the Enclosed Isolated-Phase Bus Bar Based on the Subsegment Calculation Model," in IEEE Transactions on Components, Packaging and Manufacturing Technology, vol. 8, no. 4, pp. 626-634, April 2018.
- Y. Kanno, T. Amemiya, N. Takahashi and N. Kobayashi, "The Short Circuit Electromagnetic Force of the Three-Phase Encapsulated Gas Insulated Bus-Bar," in IEEE Transactions on Power Apparatus and Systems, vol. PAS-103, no. 6, pp. 1386-1393, June 1984.
- X. W. Wu, N. Q. Shu, H. T. Li and L. Li, "Contact Temperature Prediction in Three-Phase Gas-Insulated Bus Bars With the Finite-Element Method," in IEEE Transactions on Magnetics, vol. 50, no. 2, pp. 277-280, Feb. 2014, Art no. 7006704.
- Руководящие указания по расчету токов короткого замыкания и выбору электрооборудования : нормативный документ / Рос. АО энергетики и электрификации «ЕЭС России»; [под ред. Б.Н. Неклепаева]. Москва: Изд-во НИЦ ЭНАС, 2004. 150 с.
- Разработка базы данных электрооборудования 35-220 кВ для САПР "ОРУ CAD" / 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.
- Панарина М.С., Панова Е.А., Варганова А.В. Алгоритм расчета токов короткого замыкания для САПР распределительных устройств подстанций // Наука и образование на современном этапе развития: опыт, проблемы и пути их решения: материалы междунар. науч.-практич. конф. 2018. С. 126-130.
- Panova E.A., Varganova A.V., Panarina M.S. Automation of the process of electrical substations design through the development and application of CAD when choosing electrical equipment // 2019 International Russian Automation Conference (RusAutoCon), 2019. P. 8867594. doi: 10.1109/RUSAUTOCON.2019.8867594
- ЗРУ CAD: свидетельство о гос. рег. программы для ЭВМ РФ. № 2019664573 / Варганова А.В., Панова Е.А., Кушмилль О.Е., Панарина М.С. Заявл. 01.11.2019. Опубл. 08.11.2019.

Поступила в редакцию 10 января 2020 г.

INFORMATION IN ENGLISH

AUTOMATED CHECK OF SINGLE-BAR RECTANGULAR BUSBARS ON THE CONDITIONS OF THERMAL AND ELECTRODYNAMIC WITHSTAND

Evgeniya A. Panova

Ph.D. (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. ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-9392-3346>.

Aleksandra V. Varganova

Ph.D. (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. 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.

When designing dowstep substations, the designer is forced to perform a large volume of routine calculations. These calculations require the designer to be able to navigate in a large

volume of regulatory documents, instructions and GOST, as well as catalogs of manufacturers of electrical equipment. The use of CAD for this purpose significantly reduces the time spent by the

designer on the part of the project. However, existing CAD either automate one or several stages of the project or are based on norms and standards not in force in the Russian Federation. The authors of this paper have developed an algorithm of automated selection and checking of rigid buses of rectangular cross-section made from one strip. The algorithm described in the work allows to select the section of the bus according to the condition of its heating with the heavy mode current, as well as to carry out its check for thermal and electrodynamic withstand. The algorithm is characterized by the presence of a mathematical description of the nomogram of the dynamic coefficient, which reduces the possibility of error in its definition and greatly facilitates the work of the designer. The algorithm is based on the current guidelines for calculation of short-circuit currents and selection of electrical equipment. The developed algorithm is implemented in the original CAD of downstep substations, in which the database of electrical equipment is integrated. This approach automates the development of the project in complex. When selecting electrical equipment in this CAD, the designer at any stage has access to the database only those sets and conductors that satisfy the conditions of their operation in prolonged and emergency modes.

Keywords: computer-aided design, thermal withstand, electrodynamic withstand, busbars, switchgear, substation.

REFERENCES

- Autodesk Inc. <https://www.autodesk.ru/products/autocad/overview>.
- LLC «Ascon – Project systems». <https://kompas.ru/>
- 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)
- Voronin A.A., Odruzova V.A., Naurzov T.B. System of automated selection of flexible busbars of switchgears. *Elektroenergetika glazami molodezhi* [Electricity through the eyes of youth], 2017, vol. 1, pp. 154-157 (In Russian).
- Eliseev D.S. *Algoritmy SAPR dlya vybora provodov i kabeley* [CAD algorithms for selecting wires and cables], Volgograd State Agrarian University Publ., 2012, 184 p. (In Russian).
- Gulyaeva A.K., Dolin A.P. Optimization of the busbar parameters. *Radioelektronika, elektrotehnika i energetika* [Electronics, electrical engineering and energy], XXIV International conference, Moscow, 2018, pp. 1033. (In Russian)
- Y. Jiaxin, W. Yang, W. Lei, L. Xiaoyu, L. Huimin and B. Longqing, "Thermal-Dynamic Stability Analysis for the Enclosed Isolated-Phase Bus Bar Based on the Subsegment Calculation Model," in *IEEE Transactions on Components, Packaging and Manufacturing Technology*, vol. 8, no. 4, pp. 626-634, April 2018.
- Y. Kanno, T. Amemiya, N. Takahashi and N. Kobayashi, "The Short Circuit Electromagnetic Force of the Three-Phase Encapsulated Gas Insulated Bus-Bar," in *IEEE Transactions on Power Apparatus and Systems*, vol. PAS-103, no. 6, pp. 1386-1393, June 1984.
- X. W. Wu, N. Q. Shu, H. T. Li and L. Li, "Contact Temperature Prediction in Three-Phase Gas-Insulated Bus Bars With the Finite-Element Method," in *IEEE Transactions on Magnetics*, vol. 50, no. 2, pp. 277-280, Feb. 2014, Art no. 7006704.
- Rukovodnyashchie ukazaniya po raschetu tokov korotkogo замыкания i vyboru elektrooborudovaniya : normativnyy dokument* [Guidelines for the calculation of short circuit currents and the selection of electrical equipment: regulatory document], edited by B.N. Neklepayev, Moscow, NTs ENAS Publ., 2004, 150 p. (In Russian)
- Varganova A.V., Panova E.A., Khatyushina T.V., Kononenko V.S., Bagaeva Kh.M. [Development of Electrical Equipment Database of 35-220 kV for "ORU CAD"]. *Electrotechnical Systems and Complexes*, 2018, no. 2(39), pp. 28-33 (In Russian)
- Algorithm for calculating short circuit currents for CAD of substation switchgear. *Nauka i obrazovanie na sovremennom etape razvitiya: opyt, problemy i puti ikh resheniya* [Science and education at the present stage of development: experience, problems and solutions]. Proceedings of the international scientific-practical conference, 2018, pp. 126-130. (In Russian)
- Panova E.A., Varganova A.V., Panarina M.S. Automation of the process of electrical substations design through the development and application of CAD when choosing electrical equipment // 2019 International Russian Automation Conference (RusAutoCon), 2019. P. 8867594. doi: 10.1109/RUSAUTOCON.2019.8867594
- Varganova A.V., Panova E.A., Kushmil' O.E., Panarina M.S. ZRU CAD. Software RF, no. 2019664573.

Панова Е.А., Варганова А.В., Панарина М.С. Автоматизированная проверка однополюсных шин прямоугольного сечения по условиям термической и электродинамической стойкости // *Электротехнические системы и комплексы*. 2020. № 1(46). С. 28-33. [https://doi.org/10.18503/2311-8318-2020-1\(46\)-28-33](https://doi.org/10.18503/2311-8318-2020-1(46)-28-33)

Panova E.A., Varganova A.V., Panarina M.S. Automated Check of Single-bar rectangular Busbars on The Conditions of Thermal and Electrodynamic Withstand. *Elektrotekhnicheskie sistemy i komplekсы* [Electrotechnical Systems and Complexes], 2020, no. 1(46), pp. 28-33. (In Russian). [https://doi.org/10.18503/2311-8318-2020-1\(46\)-28-33](https://doi.org/10.18503/2311-8318-2020-1(46)-28-33)