

DOI: 10.25558/VOSTNII.2021.44.85.007

УДК 331.452

© Ш.С. Саъдуллозода, 2021

Ш.С. САЪДУЛЛОЗОДА

канд. техн. наук, доцент,
проректор по международным связям
Таджикский технический университет
имени академика М.С. Осими, г. Душанбе
e-mail: saidaliev.ss@mail.ru



ИССЛЕДОВАНИЕ ПАРАМЕТРОВ СХЕМЫ ЗАНУЛЕНИЯ НА КОМПЬЮТЕРНОЙ МОДЕЛИ

В статье описывается компьютерная модель для исследования системы зануления. Представлены результаты исследования влияния параметров системы на условия электробезопасности, в частности, приведены результаты влияния сопротивления заземления нейтрали электросети напряжением до 1000 В с глухозаземленной нейтралью на условия электробезопасности. Рассмотрены кривые изменения значений ожидаемого напряжения PEN-проводника относительно земли и тока, проходящего через тело человека от соотношения значений сопротивления заземления нейтрали и повторных заземлений.

Ключевые слова: ЗАНУЛЕНИЕ, PEN-ПРОВОДНИК, ЗАЗЕМЛЕНИЯ НЕЙТРАЛИ, МОДЕЛИРОВАНИЕ, MATLAB-SIMULINK.

ВВЕДЕНИЕ

Как известно, при однофазных коротких замыканиях из-за малого значения токов время срабатывания защитных устройств значительно увеличивается. Следовательно, вероятность поражения электрическим током человека, прикоснувшегося к металлическому корпусу электрооборудования, высокая [1–8]. Известно, что в цепи зануления устройство защитного отключения неработоспособно. При таких событиях с корпуса электроприемника происходит вынос потенциала по нулевому проводу (PEN-провод), который может просуществовать достаточно долгое время.

В сетях 0,4 кВ системы TN-C для снижения значения напряжения прикосновения при обрывах нулевого провода или в период времени до отключения участка с повреждением предусмотрено повторное заземление нулевого провод (Rп) [9–11]. Однако значение сопротивления Rп, предусмотренное в [9], не обеспечивает необходимое условие электробезопасности при описываемых выше случаях [5–8].

МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

Существуют различные методы исследования условий безопасности. Это аналитические, экспериментальные, статистические и метод логико-вероятностного моделирования (ЛВМ) [12, 13]. Вышеупомянутые методы, несомненно, позволяют оценить степень безопасности и принять меры по повышению уровня электробезопасности. Однако по ряду причин проведение экспериментов не всегда возможно, а аналитическим методом можно решить не все задачи. Причины тому в отсутствии конкретных значений параметров, сложности выполнения организационных и технических мероприятий в производственных условиях, приближенный характер аналитических расчетов и т. п. [12].

При проведении исследований все большее распространение набирают методы компьютерного моделирования с использованием мощных вычислительных систем и пакетов программного обеспечения. Соответственно, исследования условий электробезопасности в

сетях напряжением до 1000 В производились на компьютерной модели, построенной в пакете SIMULINK комплекса MATLAB [14–18].

Согласно поставленной задаче в модели были внедрены несколько изменений, в частности, был добавлен блок, имитирующий сопротивление тела человека при прикосновении с нетоковедущей частью, блок имитации однофазного замыкания на землю при различных значениях сопротивления и т. д. [18].

Известно, что в электроустановках, напряжением до 1000 В при возникновении

цепи поражения, величина сопротивления человеческого тела является определяющим фактором, от которого зависит исход поражения человека электрическим током. На рисунке 1 приведена схема замещения сопротивления человеческого тела при протекании тока, где R_{OH} — сопротивление кожного покрова тела, R_{IH} — внутреннее сопротивление, C_{OH} — емкость, образующаяся на месте контакта с токоведущей частью, R_{MF} — это переходное сопротивление от ступни ног к земле.

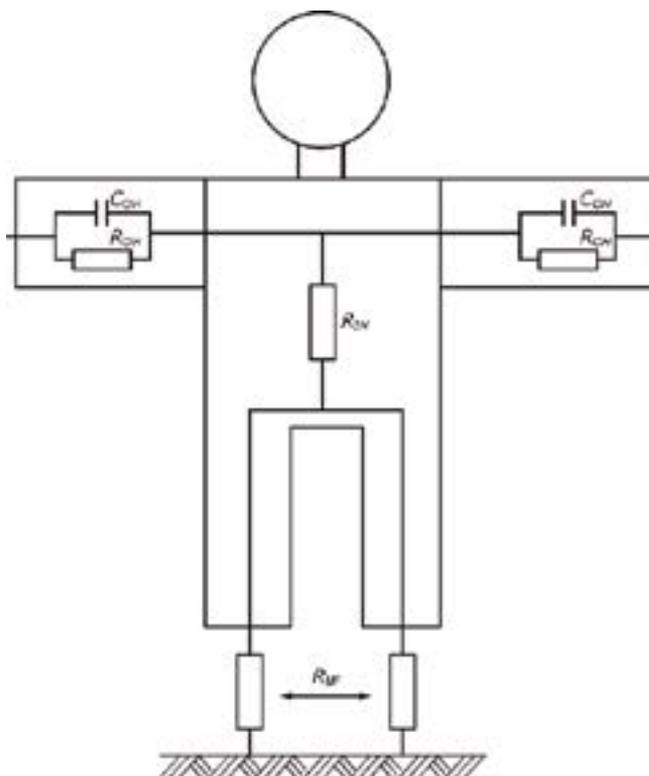


Рис. 1. Схема замещения сопротивления человеческого тела при протекании тока

Детальное описание блоков, используемых в этой модели, приведены в [19].

Соотношение значения полного сопротивления тела человека Z_h от величины напряжения, приложенного к телу человека U_{zh} , определялось по предложенному профессором П.А. Долиным выражению [1], где при напряжениях до 50 В переменного тока частотой 50 Гц величина Z_h оказывается равной примерно 2,0–1,6 кОм. Затем она незначительно снижается и составляет примерно 0,95 кОм при 100 В, 0,6 кОм при 220 В, 0,5 кОм при

380 В, 0,4 кОм при 1000 В. Уменьшение величины Z_h с ростом U_{zh} происходит из-за пробоя рогового слоя кожи. Согласно данным, приведенным в [3], пробой рогового слоя кожи наблюдается при напряжениях от 50 до 200 В. Со временем, при напряжении 20 В и более сопротивление человеческого тела снижается в 10...20 %, при напряжении 40 В может наступить пробой рогового слоя, и сопротивление человеческого тела представляется только величиной внутреннего сопротивления тело человека (т. е. R_{IH}) [3]. В связи с этим в моде-

ли, где значение напряжения, приложенного к человеческому телу, ниже 40 В, сопротивление тела человека определялось по выражению профессора П.А. Долина [1], а при $U_{zh} \geq 40$ В оно принималось равным 0,65 кОм.

Замыкание фазы на корпус электроприемника производилось внутри блока Load

с помощью переключателя Q3. Однофазное замыкание на землю моделировалось путем включения ключа Q1, который соединяет фазу С с землей через сопротивление RGF (рисунок 2). Моделирование же обрыва защитного провода производилось путем отключения ключей блока QF1.

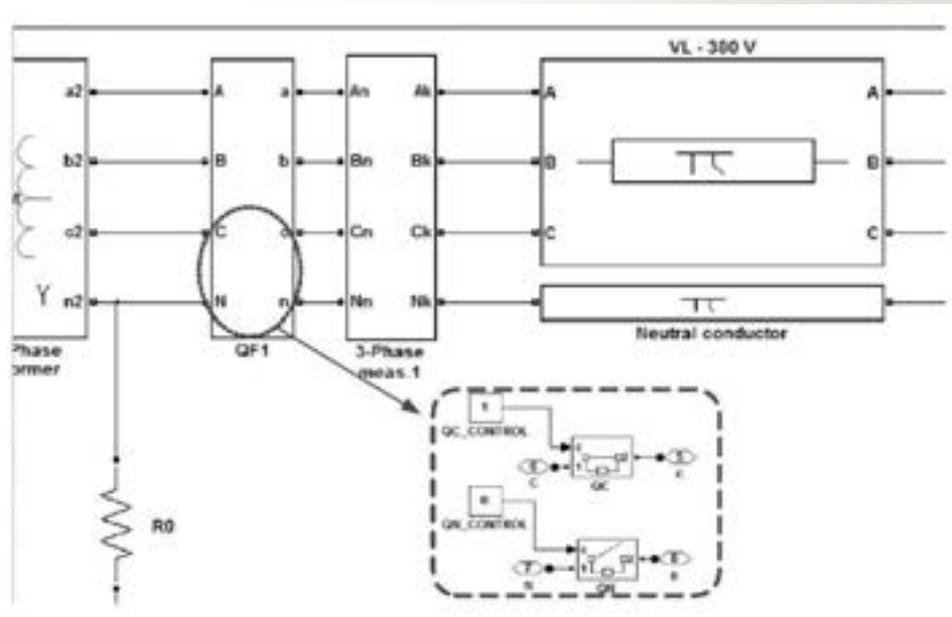


Рис. 2. Модель обрыва PEN – проводника

РЕЗУЛЬТАТЫ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

Моделирование проводилось в сети, напряжением 0,38 кВ и длиной 500 метра. В модели было принято допущение, что земля выступает как проводник с бесконечно малым сопротивлением, не учитывалось сопротивление обуви и пола.

Были смоделированы следующие аварийные ситуации:

1. Однофазное короткое замыкание в сети 0,4 кВ (ОКЗ);
2. Обрыв нулевого провода и однофазное замыкания на корпус электроприемника;
3. Однофазное замыкание на землю (ОЗЗ).

Результаты исследований представлены на рисунках 3–5.

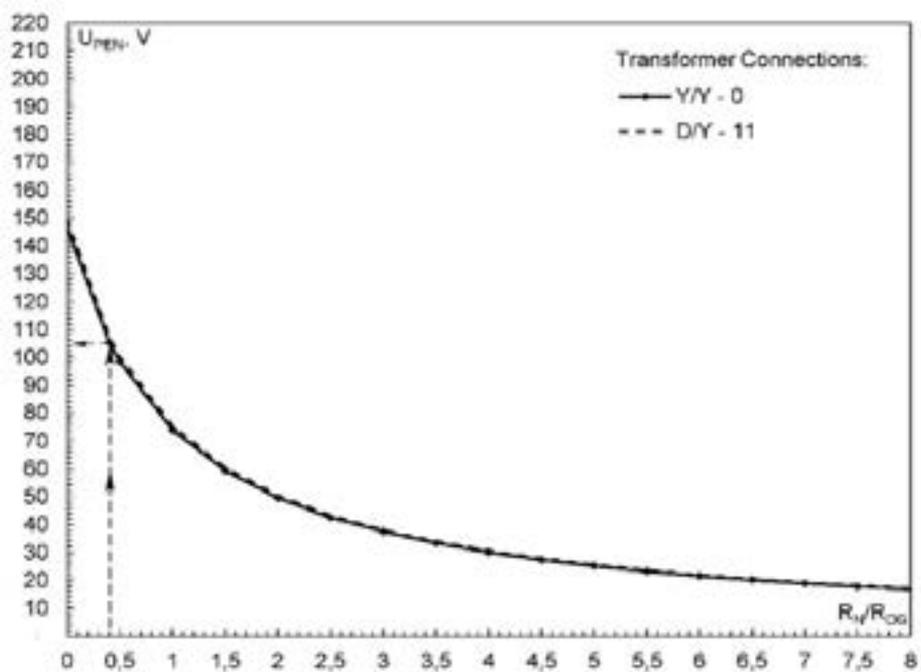


Рис. 3. Ожидаемое напряжение PEN-проводника относительно земли от соотношений R_N/R_{DG}

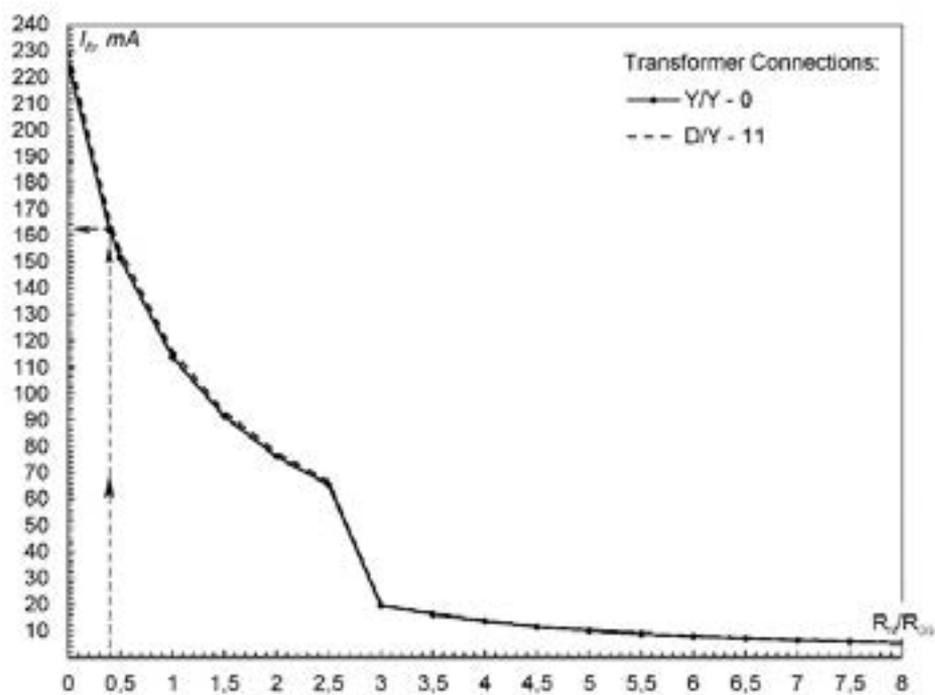


Рис. 4. Ожидаемый ток, проходящий через тело человека от соотношений R_N/R_{DG}

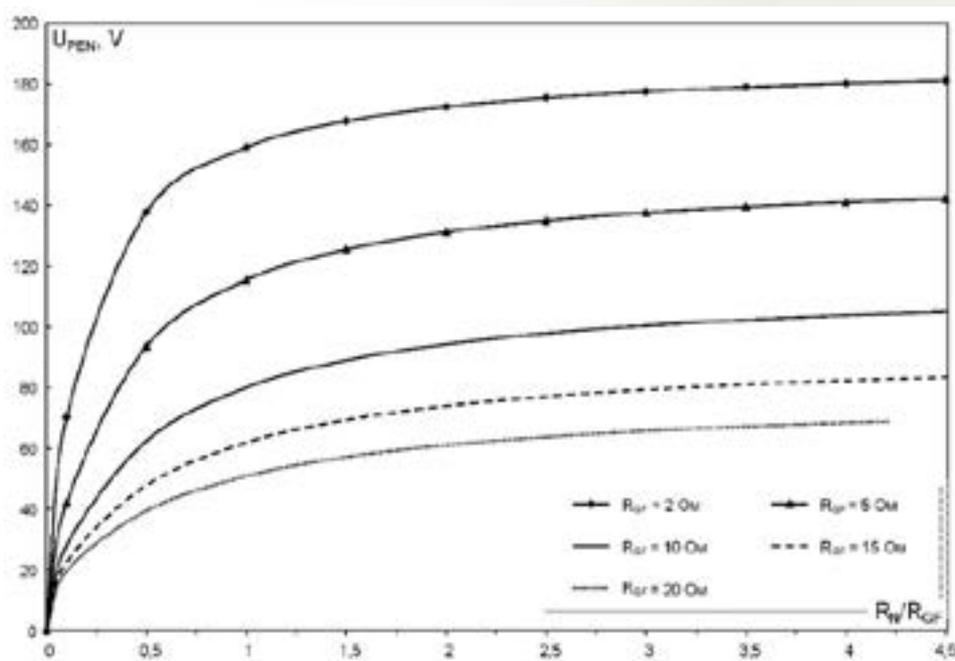


Рис. 5. Ожидаемое напряжение PEN-проводника относительно земли от соотношения R_N/R_{GF}

ВЫВОДЫ

Компьютерное моделирование позволяет описать структуру защитной системы зануления и ее процессы, не прибегая к использованию формул и строгих математических зависимостей. При обрывах нулевого провода величину R_0 следует выбрать при определен-

ном соотношении от сопротивления растека-ния тока неизолированного провода, лежащего на земле R_{3M} .

Сопоставление результатов компьютерного моделирования и экспериментальных исследований в сетях 380 В [13, 14] показало отклонение не более, чем на 5–10 %.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Долин П.А. Основы техники безопасности в электроустановках. М.: «Энергоатомиздат», 1984. 448 с.
2. Щуцкий В.И., Сидоров А.И. Безопасность при эксплуатации электротехнических систем. Челябинск: ЮУрГУ, 2001. 282 с.
3. Верхоглядов М.И. Обоснование сопротивлений повторных заземлений нулевого провода // Механизация и электрификация социалистического сельского хозяйства. 1976. № 6. С. 28–30.
4. Васильева Т.Н., Микрюков Д.Н. Оценка влияния климатических факторов на отказ воздушных линий 0,4 кВ // Механизация и электрификация сельского хозяйства. 2007. № 6. С. 16–18.
5. Семенова М.Н. Обоснование перехода от глухозаземленной нейтрали к изолированной в сетях электроустановок сельскохозяйственного назначения напряжением до 1000 В: диссертация на соискание ученой степени кандидата технических наук / Мария Николаевна Семенова. Челябинск, 2011. 153 с.
6. Савицкий Л.В. Обоснование функций системы контроля состояния зануления // Электробезопасность. 2012. № 4. С. 18–21.
7. Ершов А.М., Валеев Г.С., Валеев Р.Г. Исследование аварийных режимов в сельских электрических сетях напряжением 380 В // Техника в сельском хозяйстве. 2013. № 6. С. 18–21.
8. Сидоров А.И., Сайдалиев Ш.С. Замыкание фазного провода четырехпроводной сети

0,4 кВ на металлические корпуса или крыши гаражей // Электробезопасность. 2014. № 2. С. 10–17.

9. Правила устройства электроустановок: Минэнерго Российской Федерации. М.: НЦ ЭНАС, 2003.

10. Электробезопасность. Предельно допустимые значения напряжений прикосновения и токов: ГОСТ 12.1.038-82 ССБТ. М.: ИПК Изд-во стандартов, 2001

11. Электробезопасность. Защитное заземление. Зануление: ГОСТ 12.1.030-81 ССБТ. М.: ИПК Изд-во стандартов, 2001.

12. Сидоров А.И., Саидалиев Ш.С., Табаров Н.Х. Методы исследования условий электробезопасности // Электробезопасность. 2016. № 2. С. 51–57.

13. Валеев Р.Г., Млоток А.В., Сидоров А.И., Ершов А.М., Шахин Е.Л. Методика проведения экспериментальных исследований параметров воздушных линий электропередачи напряжением 380 В // Электробезопасность. 2012. № 2–3. С. 3–10.

14. Валеев Р.Г., Млоток А.В., Ершов А.М., Сидоров А.И., Моделирование электрической сети напряжением 380 В с воздушными линиями в программной среде MATLAB-SIMULINK // Известия высших учебных заведений. Проблемы энергетики. 2013. № 9–10. С. 116–128.

15. Ершов А.М., Валеев Г.С., Валеев Р.Г. Исследование на компьютерной модели режимов работы радиальной воздушной линии напряжением 380 В при обрывах фазных и нулевого проводов // Известия высших учебных заведений. Проблемы энергетики. 2016. № 9–10. С. 31–42.

16. Сидоров А.И., Саидалиев Ш.С., Валеев Р.Г. Компьютерная модель для исследования условий электробезопасности системы зануления в программной среде MATLAB/SIMULINK // Вестник Таджикского технического университета. 2015. № 1 (29). С. 59–63.

17. Сидоров А.И., Бобоев Х.Д., Медведева Ю.В., Саъдуллозода Ш.С. Исследование косвенных методов определения параметров изоляции на компьютерной модели // Вестник Научно-центра ВостНИИ по промышленной и экологической безопасности. 2021. № 1. С. 47–54.

18. Saidaliev S.S., Valeev R.G. The simulation of neutralling system in MATLAB/SIMULINK environment for research conditions electrical safety // 2nd International Conference on Industrial Engineering, Applications and Manufacturing. Proceedings. 2016.

19. Сидоров А.И., Саидалиев Ш.С. Моделирование сопротивления тела человека при исследовании условий электробезопасности сетей до 1000 В в компьютерной программе MATLAB // Безопасность жизнедеятельности предприятий в промышленно развитых регионах. Кемерово, 2015. С. 37.

DOI: 10.25558/VOSTNII.2021.44.85.007

UDC 331.452

© Sh.S. Sadullozoda, 2021

Sh.S. SADULLOZODA

Candidate of Engineering Sciences, Associate Professor,

Vice-Rector for International Relations

M.S. Osimi Tajik Technical University, Dushanbe

e-mail: saidaliev.ss@mail.ru

RESEARCH OF THE PARAMETERS OF THE GROUNDING SCHEMES ON A COMPUTER MODEL

The article describes a computer model for studying the grounding system. The results of the study of the influence of its parameters on the conditions of electrical safety are presented, in particular, the results

of the influence of the grounding resistance of the neutral of the electrical network with a voltage of up to 1000 V with a solidly grounded neutral on the conditions of electrical safety are presented. Curves of changes in the values of the expected voltage of the PEN-conductor relative to the ground and the current passing through the human body from the ratio of the values of the neutral grounding resistance and repeated groundings are considered.

Keywords: GROUNDING, PEN-CONDUCTOR, NEUTRAL GROUNDING, MODELING, MATLAB-SIMULINK.

REFERENCES

1. Dolin P.A. Fundamentals of safety in electrical installations. M.: «Energoatomizdat», 1984. 448 p. [In Russ.].
2. Shchutsky V.I., Sidorov A.I. Safety in the operation of electrical systems. Chelyabinsk: SUSU, 2001. 282 p. [In Russ.].
3. Verkhoglyadov M.I. Justification of resistances of repeated grounding of the neutral wire // Mechanization and electrification of socialist agriculture [Mekhanizatsiya i elektrifikatsiya sotsialisticheskogo selskogo khozyaystva]. 1976. No. 6. P. 28–30. [In Russ.].
4. Vasilyeva T.N., Mikryukov D.N. Assessment of the influence of climatic factors on the failure of 0.4 kV overhead lines // Mechanization and electrification of agriculture [Mekhanizatsiya i elektrifikatsiya sotsialisticheskogo selskogo khozyaystva]. 2007. No. 6. P. 16–18. [In Russ.].
5. Semenova M.N. Justification of the transition from a solidly grounded neutral to an isolated in the networks of electrical installations for agricultural purposes with a voltage of up to 1000 V: dissertation for the degree of candidate of technical sciences / Maria Nikolaevna Semenova. Chelyabinsk, 2011. 153 p. [In Russ.].
6. Savitsky L.V. Justification of the functions of the neutralization state monitoring system // Electrical safety [Elektrobezopasnost]. 2012. No. 4. P. 18–21. [In Russ.].
7. Ershov A.M., Valeev G.S., Valeev R.G. Research of emergency modes in rural electric networks with voltage of 380 V // Technics in agriculture [Tekhnika v selskom khozyaystve]. 2013. No. 6. P. 18–21. [In Russ.].
8. Sidorov A.I., Saydaliev Sh.S. Closing the phase wire of a four-wire network of 0.4 kV to metal cases or roofs of garages // Electrical safety [Elektrobezopasnost]. 2014. No. 2. P. 10–17. [In Russ.].
9. Electrical Installation Rules: Ministry of Energy of the Russian Federation. M.: NTs ENAS, 2003. [In Russ.].
10. Electrical safety. Maximum permissible values of touch voltages and currents: GOST 12.1.038-82 SSBT. M.: IPK Publishing house of standards, 2001. [In Russ.].
11. Electrical safety. Protective grounding. Neutral grounding: GOST 12.1.030-81 SSBT. M.: IPK Publishing house of standards, 2001. [In Russ.].
12. Sidorov A.I., Saidaliev Sh.S., Tabarov N.Kh. Research methods of electrical safety conditions // Electrical safety. 2016. No. 2. P. 51–57. [In Russ.].
13. Valeev R.G., Mlotok A.V., Sidorov A.I., Ershov A.M., Shakhin E.L. Methodology for experimental studies of the parameters of 380 V overhead power lines // Electrical safety [Elektrobezopasnost]. 2012. No. 2–3. P. 3–0. [In Russ.].
14. Valeev R.G., Mlotok A.V., Ershov A.M., Sidorov A.I., Simulation of a 380 V electric network with overhead lines in the MATLAB-SIMULINK software environment // Proceedings of higher educational institutions. Energy problems [Izvestiya vysshikh uchebnykh zavedeniy. Problemy energetiki]. 2013. No. 9–10. P. 116–128. [In Russ.].
15. Ershov A.M., Valeev G.S., Valeev R.G. Research on a computer model of the operating modes of a radial overhead line with a voltage of 380 V with breaks in phase and zero wires // Izvestiya of higher educational institutions. Energy problems [Izvestiya vysshikh uchebnykh zavedeniy. Problemy energetiki]. 2016. No. 9–10. P. 31–42. [In Russ.].

16. Sidorov A.I., Saydaliev Sh.S., Valeev R.G. Computer model for studying the electrical safety conditions of the grounding system in the MATLAB / SIMULINK software environment // Bulletin of the Tajik Technical University [Vestnik Tadzhijskogo tekhnicheskogo universiteta]. 2015. No. 1 (29). P. 59–63. [In Russ.].

17. Sidorov A.I., Boboev Kh.D., Medvedeva Yu.V., Sadullozoda Sh.S. Investigation of indirect methods for determining insulation parameters on a computer model // Bulletin of the VostNII Scientific Center for Industrial and Environmental Safety [Vestnik Nauchnogo tsentra VostNII po promyshlennoy i ekologicheskoy bezopasnosti]. 2021. No. 1. P. 47–54. [In Russ.].

18. Saidaliev S.S., Valeev R.G. The simulation of neutralling system in MATLAB/SIMULINK environment for research conditions electrical safety // 2nd International Conference on Industrial Engineering, Applications and Manufacturing. Proceedings. 2016.

19. Sidorov A.I., Saidaliev Sh.S. Modeling the resistance of the human body in the study of the electrical safety conditions of networks up to 1000 V in the MATLAB computer program // Life safety of enterprises in industrially developed regions [Bezopasnost zhiznedeyatelnosti predpriyatiy v promyshlenno razvitykh regionakh]. Kemerovo, 2015. P. 37. [In Russ.].