

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ
І НАУКИ УКРАЇНИ

Національний технічний університет
«Харківський політехнічний інститут»

MINISTRY OF EDUCATION
AND SCIENCE OF UKRAINE

National Technical University
"Kharkiv Polytechnic Institute"

**Вісник Національного
технічного університету
«ХПІ». Серія: Енергетика
надійність та
енергоефективність**

№ 10 (1286) 2018

Збірник наукових праць

Видання засноване у 1961 р.

**Bulletin of the National
Technical University
"KhPI". Series: Energy:
Reliability and
Energy Efficiency**

No. 10 (1286) 2018

Collection of Scientific papers

The edition was founded in 1961

Харків
НТУ «ХПІ», 2018

Kharkiv
NTU "KhPI", 2018

Видання присвячене питанням теоретичних та практичних результатів досліджень і розробок, пов'язаних з проблемами надійності та ефективності роботи енергетичного устаткування, а також електроенергетичної системи в цілому. Розглядаються проблеми електроспоживання, енергозбереження і підвищення якості електричної енергії.

Для науковців, викладачів вищої школи, аспірантів, студентів і фахівців в галузі енергетики, надійності та ефективності роботи енергетичного устаткування.

The publication is devoted to the issues of theoretical and practical results of research and development associated with problems of reliability and efficiency of power equipment and power system as a whole. The problems of electricity consumption, energy saving and improvement of the quality of electric energy are considered.

For scientists, teachers of higher education, post-graduate students, students and specialists in the field of energy, reliability and efficiency of power equipment

Державне видання.

Свідоцтво Держкомітету з інформаційної політики України

КВ № 5256 від 2 липня 2001 року.

Мова статей – українська, російська, англійська.

Вісник Національного технічного університету «ХПІ». Серія: Енергетика: надійність та енергоефективність внесено до «Переліку наукових фахових видань України, в яких можуть публікуватися результати дисертаційних робіт на здобуття наукових ступенів доктора і кандидата наук», затвердженого Наказом МОН України №1328 від 21.12.2015 р. «Про затвердження рішень Атестаційної колегії

У квітні 2013 р. Вісник НТУ «ХПІ» Серія: Енергетика: надійність та енергоефективність включений у довідник періодичних видань бази даних Ulrich's Periodical Directory (New Jersey, USA).

Офіційний сайт видання: <http://samit.khpi.edu.ua/>

Засновник

Національний технічний університет
«Харківський політехнічний інститут»

Founder

National Technical University
"Kharkiv Polytechnic Institute"

Головний редактор

Сокол Є. І., д-р техн. наук, чл.-кор. НАН України, НТУ «ХПІ», Україна

Editor-in-chief

Sokol E. I., dr. tech. sc., member-cor. of National Academy of Sciences of Ukraine, NTU "KhPI", Ukraine

Заст. головного редактора

Марченко А. П., д-р техн. наук, проф., НТУ «ХПІ», Україна

Deputy editor-in-chief

Marchenko A. P., dr. tech. sc., prof., NTU "KhPI", Ukraine

Секретар

Горбунов К. О., доц., НТУ «ХПІ», Україна

Secretary

Gorbunov K. O., docent, NTU "KhPI", Ukraine

Редакційна колегія серії

Відповідальний редактор:

Гурин А. Г., д-р техн. наук, проф., НТУ «ХПІ», Україна

Editorial staff

Associate editor:

Gurin A. G., prof., NTU "KhPI", Ukraine

Відповідальний секретар:

Федорчук С. О., аспірант, НТУ «ХПІ», Україна

Executive secretary:

Fedorchuk S.O., postgraduate student, NTU "KhPI", Ukraine

Члени редколегії:

Бондаренко В.Є., проф., НТУ «ХПІ», Україна

Editorial staff members:

Bondarenko V.E., professor, NTU "KhPI", Ukraine

Безпрозванних Г. В., проф., НТУ «ХПІ», Україна

Bezprozvannyh G.V., professor, NTU "KhPI", Ukraine

Веприк Ю. М., проф., НТУ «ХПІ», Україна

Veprik Yu. M., professor, NTU "KhPI", Ukraine

Гриб О. Г., проф., НТУ «ХПІ», Україна

Gryb O.G., professor, NTU "KhPI", Ukraine

Сендерович Г. А., проф., НТУ «ХПІ», Україна

Semerovich G. A., Professor, NTUU "KPI", Ukraine

Лазуренко О. П., проф., НТУ «ХПІ», Україна

Lazurenko O.P., Professor, NTU "KhPI", Ukraine

Махотило К. В., проф., НТУ «ХПІ», Україна

Makhotylo K.V., Professor, NTU "KhPI", Ukraine

Шевченко С. Ю., проф., НТУ «ХПІ», Україна

Shevchenko S. Yu., Professor, NTU "KhPI", Ukraine

Рекомендовано до друку Вченою радою НТУ «ХПІ».

Протокол № 4 від 04 травня 2018 р.

В. Е. БОНДАРЕНКО, Е. Н. ФЕДОСЕЕНКО, К. А. СТАРКОВ, А. И. ГАНУС

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ВЕРТИКАЛЬНЫХ ЗАЕМЛИТЕЛЕЙ ПОВЫШЕННОЙ ПРОВОДИМОСТИ РАСТЕКАНИЮ В УСЛОВИЯХ ДЕЙСТВУЮЩИХ ЭЛЕКТРОУСТАНОВОК

Предлагается техническое решение реконструкции заземляющих устройств действующих электроустановок с целью приведения величин нормируемых параметров к допустимым значениям. Проведены теоретические исследования с использованием метода наведенных потенциалов и методов расчета разветвленных электрических цепей с распределенными параметрами для расчета электрического поля и сопротивления сложного неэквипотенциального заземлителя в земле с двухслойной структурой. Разработанные электроды повышенной проводимости растеканию смонтированы как экспериментальные образцы и участвуют в формировании электрических характеристик заземляющего устройства.

Ключевые слова: Заземляющее устройство, электрическая подстанция, вертикальный электрод заземления, распределение потенциала, двухслойная модель земли, метод наведенного потенциала, электропроводимость, сопротивление растеканию.

В. О. БОНДАРЕНКО, О. М. ФЕДОСЕЕНКО, К. О. СТАРКОВ, О. І. ГАНУС ВИКОРИСТАННЯ ВЕРТИКАЛЬНИХ ЗАЕМЛЮВАЧІВ ПІДВИЩЕНОЇ ПРОВІДНОСТІ РОЗТІКАННЮ В УМОВАХ ДІЮЧИХ ЕЛЕКТРОУСТАНОВОК

Пропонується технічне рішення реконструкції заземлюючих пристроїв діючих електроустановок з метою приведення величин нормованих параметрів до допустимих значень. Проведено теоретичні дослідження з використанням методу наведених потенціалів і методів розрахунку розгалужених електричних кіл з розподіленими параметрами для розрахунку електричного поля і опору складного нееквипотенціального заземлювача в землі з двошаровою структурою. Розроблені електроди підвищеної провідності розтіканню змонтовані як експериментальні зразки і беруть участь у формуванні електричних характеристик заземлювального пристрою.

Ключові слова: заземлюючий пристрій, електрична підстанція, вертикальний електрод заземлення, розподіл потенціалу, двошарова модель землі, метод наведеного потенціалу, електропровідність, опір розтіканню.

V. O. BONDARENKO, O. M. FEDOSEENKO, K. O. STARKOV, O. I. GANUS THE USE OF VERTICAL GROUND CONDUCTORS OF HIGH CONDUCTIVITY SPREADING IN THE OPERATING ELECTRICAL INSTALLATIONS

Purpose. A technical solution is proposed for reconstructing the complicated grounding connections of electric installation in order to bring the values of the parameters to the permissible values. This solution involves the use of an artificial ground electrode, which has a sufficiently large surface in contact with the ground. **Methodology.** Theoretical studies were carried out using the induced potentials method and methods for calculating branched electrical circuits with distributed parameters for calculating the electric field and the resistance of a complex nonequipotential grounding connections in a two-layer ground. **Originality.** The feasibility of using high conductivity electrodes in the operating electrical installations is confirmed in terms of ensuring regulatory requirements and manufacturability is confirmed. **Practical value.** The using of developed electrodes has reduced the calculated values of the contact voltage at the open switchgear of the substation

Key words: grounding device, electrical substation, vertical ground electrode, induced potential method, the potential distribution, a two-layer ground, conductivity.

Введение. Выполнение сложного комбинированного заземлителя должно быть таким, чтобы обеспечивалось соответствие его характеристик допустимым значением нормативных параметров. Качество выполнения функциональных заземляющих устройств (ЗУ) в значительной степени определяет безопасную эксплуатацию и нормальное функционирование электроустановок. Сложные комбинированные заземлители электроустановок конструктивно выполняются как электрически связанные между собой искусственные продольные и поперечные горизонтальные электроды заземления, образуют заземляющую сетку, и вертикальные электроды, расположенные по периметру ЗУ [1].

При коротком замыкании (КЗ) на землю на шинах РУ в сетях с эффективно заземленной нейтралью наибольший ток промышленной частоты протекает по ЗУ [2]. Средний потенциал ЗУ относительно точки с нулевым потенциалом теоретически бесконечного от ЗУ расстояния повышается. Значительные разности потенциалов оказываются приложенными ко вторичным кабелям, проходящим в пределах ЗУ объекта и выходящих за его пределы, и к соответствующим выходным аппаратам. Разность потенциалов зависит от

удельного сопротивления земли, конфигурации, сечения и материала заземлителя. Если разность потенциалов на ЗУ превысит испытательное напряжение для контрольных кабелей, подходящих к устройствам системы автоматизированных и автоматических систем технологического управления, возможно обратное перекрытие изоляции кабелей или устройств. Ток КЗ, растекаясь по заземленным оболочкам кабелей и экранам, может вызвать превышение допустимых по термической стойкости токовых нагрузок и термическое разрушение оболочек и экранов. Протекание тока КЗ в силовых ошиновках и по элементам ЗУ создает магнитное поле амплитудой до нескольких сотен А/м. Это поле создает наводки на вторичные кабели в случае их сближения с трассой протекания тока КЗ. Магнитное поле при КЗ опасно и для самой аппаратуры, если она размещается вблизи ошиновок или пути растекания тока КЗ по элементам ЗУ. Оба фактора часто действуют одновременно, вызывая значительные перенапряжения для аппаратуры и изоляции кабелей [2].

Приняв в качестве нормативного параметра ЗУ, выполняющего функцию снижения электромагнитных влияний на вторичные цепи, ЭДС,

© В. Е. Бондаренко, Е. Н. Федосеенко, К. А. Старков, А. И. Ганус, 2018

наводимую во вторичных цепях, можно отметить, что ее значение определяется продольными токами КЗ по горизонтальным естественным и искусственным заземлителям.

Снижение уровней продольных токов, протекающих по заземлителям, обеспечивает, тем самым, снижение уровня электромагнитных воздействий на вторичное оборудование. Решение как этой задачи, так и задачи доведения до нормативных значений параметров ЗУ действующих электроустановок, может быть выполнено с использованием искусственного электрода заземления, обладающего достаточно большой поверхностью, контактирующей с грунтом, при условии его технологичности. Назовем такой электрод электродом заземления повышенной проводимости растеканию тока. Использование электродов повышенной проводимости растеканию возможно при условии получения необходимых технических решений и направлено на оптимизацию конструктивных характеристик сложных ЗУ электроустановок.

Анализ основных достижений и литературы.

Развитие электротехники и непрерывное совершенствование применяемого телекоммуникационного электрооборудования требовали поиска новых технических решений конструкций заземляющих устройств, в том числе для перехода от традиционных к современным модульно-стержневым [3]. Важными условиями надежной работы модульно-стержневых заземлителей являются: применение материалов и конструкций, устойчивых к коррозии [4] и использование решений, повышающих производительность работ.

Вертикальные электроды используют, если соотношение удельных сопротивлений слоев двухслойной расчетной модели земли $\rho_1 / \rho_2 > 0,8$ (при соотношении $0,1 \leq \rho_1 / \rho_2 \leq 0,8$ необходимое значение сопротивления заземления могут обеспечить только горизонтальные электроды). Длину вертикальных электродов целесообразно выбирать в зависимости от толщины верхнего слоя (h) по соотношению $l_v \geq 2h$, но не менее 5 м; здесь: h - мощность верхнего слоя, l_v - длина вертикальных электродов [1]. В работе [5] рекомендуется при выполнении сложных комбинированных заземлителей с соблюдением требований, предъявляемых к их характеристикам, применять вертикальные заземлители повышенной длины, если с глубиной от поверхности земли ее удельное сопротивление снижается. Снижение перенапряжений, обусловленных электромагнитной связью между источником влияния и цепями, подверженными влиянию, рекомендуется [6] за счет установки дополнительных вертикальных электродов заземления или выполнения выносного заземлителя. Работа [7] предлагает техническое решение, согласно которому выполнение вертикальных электродов в ограниченном скважиной объеме технического углерода эффективно улучшает электрические характеристики сложного комбинированного заземлителя. Целесообразность применения

рекомендаций по приведению величин нормируемых параметров заземляющих устройств к допустимым значениям должна быть подтверждена расчетными данными и результатами измерений указанных параметров в условиях действующих электроустановок.

Цель работы. Целью настоящей работы является подтверждение целесообразности применения электродов повышенной проводимости растеканию в условиях действующих электроустановок с точки зрения обеспечения нормативных требований и технологичности выполнения.

Постановка задачи. Приведение величин нормируемых параметров к допустимым значениям выполняется с помощью мероприятий, позволяющих в каждом конкретном случае совершенствовать заземлитель применяя одно из известных конструктивных решений. К числу таких мероприятий принадлежит вариант технического решения по выполнению вертикальных электродов повышенной проводимости.

Результаты исследовательских испытаний по диагностике состояния ЗУ подстанции «Орджоникидзе – 110 кВ» показали, что ЗУ выполнено с соблюдением требований к его сопротивлению, однако, в некоторых местах нарушено конструктивное выполнение заземлителя, обеспечивающее требования техники безопасности по напряжению прикосновения. Результаты выполненных расчетов, согласно протоколу исследовательских испытаний по диагностике состояния заземляющего устройства подстанции показали, что после проведения ремонтно-восстановительных работ для условий однофазного КЗ на территории ОРУ-110 кВ подстанции значение напряжения прикосновения на рабочих местах у оборудования, на котором могут производиться оперативные переключения, снизилось, но превышает допустимое значение.

Вследствие необходимости обеспечения нормативных значений напряжения прикосновения, где оно превышает допустимые значения, была поставлена задача выбора решения по восстановлению параметров ЗУ и подтверждения целесообразности применения выбранного варианта.

Оптимизация конструктивных параметров ЗУ. В работе рекомендовано при выполнении сложных комбинированных заземлителей с соблюдением требований, предъявляемых к их характеристикам, применять вертикальные электроды повышенной проводимости растеканию. Согласно предложенному техническому решению, углубление вертикальных электродов заземления выполняется путем размещения каждого из них в центре скважины диаметром не более 50 диаметров электрода, которая заполняется мелкодисперсным техническим углеродом, причем на поверхности электрода для снижения скорости коррозии предварительно формируется твердая токопроводящая пленка (рис. 1).

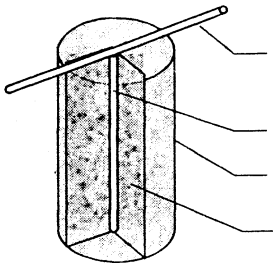


Рис. 1 – Вертикальный электрод заземления в ограниченном объеме технического углерода: 1 - горизонтальные электроды; 2 - вертикальный электрод; 3 - скважина; 4 - мелкодисперсный технический углерод, заполняющий свободный объем скважины.

Рассмотренные технические решения можно рекомендовать как вариант доведения до нормируемых значений параметров ЗУ действующих электроустановок. При этом рекомендуется выполнять с периферийной стороны ЗУ несколько вертикальных электродов в ограниченном объеме технического углерода (рис. 2); на поверхности электродов может быть сформирована токопроводящая защитная пленка. При этом достигается механизация земляных работ – скважина выполняется с помощью ямобура, эксплуатируемого в электрических сетях. Технический углерод широко выпускается промышленностью. Число таких электродов можно определить на основании расчета исходя из реального значения сопротивления растеканию ЗУ подстанции.

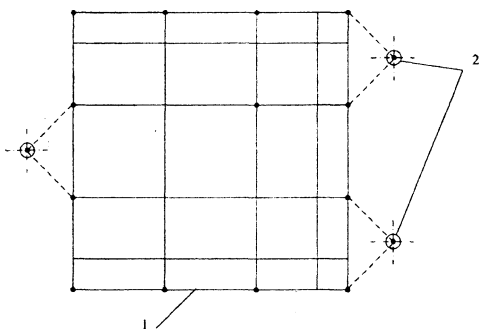


Рис. 2 – Сложный заземлитель электроустановки: 1 – вертикальные и горизонтальные электроды ЗУ электроустановки; 2 – вертикальный электрод в ограниченном объеме технического углерода.

С целью обеспечения нормативных значений напряжения прикосновения, где оно превышает допустимые значения, в дополнение к рекомендациям, согласно протоколу исследовательских испытаний по диагностике состояния заземляющего устройства, на ОРУ-110 кВ были выполнены два вертикальных электрода повышенной проводимости растеканию. В стороне от заземляющей сетки (минимальное удаление от периферийных горизонтальных электродов ЗУ 5,5 м) пробурены две скважины диаметром 0,33 м и глубиной 3 м, расстояние между которыми 5,1 м. В центр каждой скважины помещался электрод из

стальной полосы 40x4 мм² длиной 2,5 м, причем один из электродов имел проводящее антикоррозийное покрытие. Засыпка скважин произведена гранулированным техническим углеродом марки П-803 производства ОАО «Стахановский завод технического углерода». Подсоединение вертикальных электродов повышенной проводимости растеканию выполнено медным изолированным проводом сечением 10 мм². Смонтированные экспериментальные образцы электродов с 17.11.2008 г. находятся в опытно-промышленной эксплуатации.

Результаты численного моделирования. Для определения влияния электродов повышенной проводимости растеканию на распределение потенциалов на территории подстанции «Орджоникидзе» АК «Харьковоблэнерго» произведен расчет ЗУ электроустановки. Для получения характеристик сложного неэквипотенциального ЗУ применяется алгоритм, реализующий математическую модель, основанную на совместном рассмотрении ЗУ как сложной электрической цепи с распределенными параметрами горизонтальных электродов, нелинейно зависящими от проходящего по ним тока, и сосредоточенными параметрами вертикальных электродов; с другой стороны в виде квазистационарного электрического поля в земле [8].

Замещение вертикальных электродов повышенной проводимости растеканию совокупностью линейных электродов, диаметры которых такие же как у соответствующих горизонтальных заземлителей, позволяет использовать возможности указанного алгоритма расчета сложных ЗУ.

Для электродов повышенной проводимости растеканию, выполненных в виде проводника, расположенного в центре скважины с токопроводящим заполнением, в работе [9] предложен способ замещения при расчетах сложных заземляющих устройств электроустановок. С достаточной для практических расчетов точностью вертикальный электрод заземления повышенной проводимости растеканию может быть замещен совокупности из 12 вертикальных электродов разной длины, расположенных таким образом, чтобы глубина их погружения соответствовала очертаниям полуэллипсоида вращения с поверхностью равной поверхности цилиндра, ограниченного размерами скважины в грунте [9].

Определение расчетных значений напряжения прикосновения и распределения потенциала при КЗ на территории подстанции проводилось с использованием программы «Ground», разработанной для численного моделирования аварийных режимов работы ЗУ [10].

Напряжение прикосновения определяем как максимальную (минимальную) разность потенциалов между величиной потенциала на оборудовании в величину потенциала на поверхности земли на расстоянии 0,8 м от оборудования.

В расчетах по определению значений напряжения прикосновения на территории

подстанции в режимах протекания по ЗУ токов КЗ принимаем, что удельное сопротивление почвы составляет для первого слоя глубиной до 0,6 м – 28 Ом·м и для второго слоя глубиной от 0,6 м – 35,5 Ом·м. Расчетные значения сопротивления грунта полученные приведением многослойной структуры земли к двухслойной расчетной модели по результатам вертикального электрического зондирования согласно протоколу исследовательских испытаний НИПКИ «Молния» по диагностике состояния заземляющего устройства подстанции «Орджоникидзе» 110/10 кВ АК «Харьковоблэнерго». Ток однофазного КЗ на открытом распределительном устройстве 110 кВ равен 12,02 кА. Расчет проводим для однофазного КЗ на территории ОРУ-110 кВ.

Распределение потенциалов рассчитываем по всей территории подстанции при различных аварийных ситуациях - во всех возможных точках возникновения КЗ на оборудовании подстанции.

В табл. 1 приведено напряжение прикосновения на оборудовании подстанции при КЗ с учетом и без учета электродов повышенной проводимости растеканию.

Расчет сопротивления растеканию ЗУ подстанции «Орджоникидзе – 110 кВ» применительно к электрическим характеристикам грунта на территории электроустановки, в соответствии с разработанной в [8] методикой дает значение 3,1 Ом и 2,9 Ом до и после установки электродов повышенной проводимости растеканию соответственно.

Таблица 1 – Сравнение расчетных значений напряжения прикосновения на оборудовании подстанции при КЗ на линейном разъединителе ВЛ №1

Наименование оборудования	Напряжение прикосновения U_d , В	
	без учета электродов	с учетом электродов
Трансформатор №1	169,75	160,9
Трансформатор №2	208,7	196,85
Р 21 Т	112	106,95
Р 22 Т	96,3	91,95
Р 23 Т	106,85	102,1
Р 24 Т	98,45	93,95
МВ 2Т	180,35	171,1
ШР 1Т	160,25	151,65
ШР 2Т	174,3	164,85
СР-1	131,05	124,55
СР-2	95,45	89,5
ЛР ВЛ-1	138,2	129,1
ЛР ВЛ-2	169,75	160,9

Анализ результатов рассчитанных значений показал, что отличие составляет 6%. Можно также отметить, что обоснованная расчетная совокупность замещающих электродов [9] обеспечивает достаточный для практических расчетов результат.

Выводы. Полученные результаты подтверждают целесообразность применения электродов повышенной проводимости растеканию в условиях действующих электроустановок с точки зрения обеспечения нормативных требований и технологичности выполнения.

Расчеты однофазного КЗ на территории ОРУ-110 кВ подстанции показали, что величина напряжения прикосновения на оборудовании при

учете электродов повышенной проводимости растеканию отличается от соответствующих значений напряжения прикосновения, определенных без учета указанных электродов. При этом разница между данными величинами варьируется до 6%

Выполненный анализ результатов расчета характеристик сложного ЗУ дал возможность обосновать практическую необходимость разработки технического решения искусственного электрода заземления, обладающего достаточно большой поверхностью, контактирующей с грунтом, то есть электрода заземления повышенной проводимости растеканию, удовлетворяющего требованиям технологичности исполнения, в том числе, в условиях действующих электроустановок.

Список литературы

1. Бургсдорф В.В. Заземляющие устройства электроустановок. / В.В. Бургсдорф, А.И. Якобс. – М.: Энергоатомиздат, 1987. – 480 с.
2. СО 34.35.11-2004. Методические рекомендации по определению электромагнитной обстановки на электрических станциях и подстанциях. – Москва, 2004. – 75 с.
3. Евдокимова О.Г. Анализ развития конструкций заземляющих устройств / О.Г. Евдокимова. // Бюллетень результатов научных исследований. – Санкт-Петербург. 2012. Выпуск 2 (1) с.50-58.
4. Sanchez V. Diseno de la malla de puesta a tierra en la subestacion terminal terrestre / V. Sanchez, A. Rosendo. // Espol. 2015 – Режим доступа : <http://www.dspace.espol.edu.ec/xmlui/handle/123456789/31266>. – Дата обращения : 25 ноября 2017.
5. ГНД 34.20.303–2003. Випробування та контроль стану заземлювальних пристроїв електроустановок. Типова інструкція. – К.: ОЕП «ГРІФРЕ», 2003.
6. Методические указания по определению электромагнитных обстановки и совместимости на электрических станциях и подстанциях. СО 34.35.311-2004. М.: Издательство МЭИ, 2004.
7. Минченко А.А. Спосіб виконання заземлювальних пристроїв електричних станцій та підстанцій / А.А. Минченко, О.М. Федосеєнко, Анд.А. Минченко, В.М. Яровий // Патент України №231105. Бюл. №6. 2007.
8. Федосеєнко Е.Н., Старков К.А. Совершенствование алгоритма расчета сложных неэквипотенциальных заземляющих устройств электроустановок с учетом проводимости естественных заземлителей / Е.Н. Федосеєнко, К.А. Старков // Електротехніка і електромеханіка. – 2017. – №4. – С.66-71. doi:10.20998/2074-272X.2017.4.11
9. Федосеєнко Е.Н., Минченко А.А. Вертикальные электроды заземления повышенной проводимости растеканию и их замещение при расчетах электрических характеристик сложных комбинированных заземлителей / Е.Н. Федосеєнко, А.А. Минченко // Східно-Європейський журнал передових технологій. – Харків: «Технол. центр». – 2007. – №6/5(30) – С. 56-59.
10. Линк И.Ю., Колушко Д.Г., Колушко Г.М. Математическая модель неэквипотенциального заземляющего устройства подстанции, размещенного в двухслойном грунте / И.Ю. Линк, Д.Г. Колушко, Г.М. Колушко // Электронное моделирование. – Киев: ИПМЭ, 2003. – Т.25. №2. С. 99-111.

References (transliterated)

1. Burgsdorf V.V., Yakobs A.I. *Zazemlyayushchie ustroystva elektroustanovok* [Grounding device of electrical installations]. Moscow, Energoatomizdat Publ., 1987. 400 p. (Rus).
2. OS 34.35.11-2004. *Metodicheskie rekomendacii po opredeleniju jelektromagnitnoj obstanovki na jelektricheskijh stancijah i podstancijah*. [Methodical recommendations for determining the electromagnetic situation at electric stations and substations]– Moscow, 2004. – 75 p.
3. Evdokimova O.G. *Analiz razvitiia konstruktsii zazemliaushchikh ustroistv*. [Analysis of the development of grounding

devices designs] *Biulleten' rezul'tatov nauchnykh issledovaniy* [Bulletin of research results]. St. Petersburg, 2012, issue 2 (1), pp.50-58.

4. Sanchez V., Rosendo A. Diseno de la malla de puesta a tierra en la subestacion terminal terrestre // *Espol*. 2015 – Available at: URI: <http://www.dsplace.espol.edu.ec/xmlui/handle/123456789/31266>. – (accessed 25.11.2017).

5. BND 34.20.303–2003. *Viprobuвання та контроль стану заземлювальних пристроїв електроустановок. Типова інструкція*. [Test and control of the grounding devices of electrical installations. Typical instruction] – К.: ОЕП «GRIFRE», 2003.

6. Metodicheskie ukazaniia po opredeleniiu elektromagnitnykh obstanovki i sovместimosti na elektricheskikh stantsiiakh i podstantsiiakh [Methodological guidelines for determining electromagnetic environment and compatibility at power stations and substations]. SO 34.35.311–2004. Moscow: Publishing house MPEI, 2004.

7. Minchenko A.A., Fedoseenko O.M., Minchenko And.A., Iarovii V.M. *Sposib vikonannya zazemliuvальних пристроїв електричних станиць та підстанцій* [Method of grounding devices implementation of

electric stations and substations] Patent of Ukraine No. 23105, Bull No. 6, 2007.

8. Starkov K.A., Fedoseenko E.N. Improved algorithm for calculating complex non-equipotential grounding devices of electrical installations taking into account conductivity of natural groundings. *Electrical engineering & electromechanics*, 2017, no.4, pp. 66-71. doi: 10.20998/2074-272X.2017.4.11.

9. Fedoseenko E.N., Minchenko A.A. Vertikal'nye elektrody zazemleniia povyshennoi provodimosti rastekaniu i ikh zameshchenie pri raschetakh elektricheskikh kharakteristik slozhnykh kombinirovannykh zazemlitelei [Vertical grounding electrodes of increased conductivity and their replacement in calculations of electrical characteristics of complex combined grounding devices] // *Eastern European journal of enterprise technologies*. - Kharkiv: «Technol. Center» – 2007. – no.6 / 5 (30) – pp. 56-59.

10. Link I.Yu., Koliushko D.G., Koliushko G.M. A mathematical model is not an equipotential ground grids substation placed in a double layer *Electronnoe modelirovanie – Electronic modeling*, 2003, vol.25, no.2, pp. 99-111.

Поступила (received) 12.12.2017

Відомості про авторів / Сведения об авторах / About the Authors

Бондаренко Володимир Омелянович (Бондаренко Владимир Емельянович, Bondarenko Volodymyr Omeljanovych) – доктор технічних наук, професор, Національний технічний університет «Харківський політехнічний інститут», завідувач кафедри передачі електричної енергії, м. Харків; тел.: (057) 707-62-46; e-mail: 228ek@i.ua.

Федосеєнко Олена Миколаївна (Федосеєнко Елена Николаевна, Fedoseenko Olena Mykolai'vna) – старший викладач кафедри передачі електричної енергії, Національний технічний університет «Харківський політехнічний інститут», м. Харків; тел.: (057) 707-69-77; e-mail: fedoseenko1@i.ua

Старков Костянтин Олександрович (Старков Константин Александрович, Starkov Kostyantyn Oleksandrovych) – кандидат технічних наук, доцент, заступник начальника виробничо-технічного управління АК «Харківобленерго»; м. Харків; тел.: (057) 740-12-68; e-mail: ptul@obl.kh.energy.gov.ua

Ганус Олексій Іванович (Ганус Алексей Иванович, Ganus Oleksij Ivanovych) – кандидат технічних наук, доцент, Північна електроенергетична система ДП НЕК «Укренерго», начальник служби перспективного розвитку; м. Харків; тел.: (057) 730-25-44; e-mail: ganus.oi@north.energy.gov.ua

Укладач: С. О. Федорчук, аспірант.

ЗМІСТ

<i>Булгаков О. В., Немировський І. А.</i> Визначення витрат теплової енергії будівлею з урахуванням змінного добового графіку внутрішньої температури	3
<i>Воловецький В. Б., Гнітко А. В., Василенко С. В., Щирба О. М., Коцаба В. І., Величко В. В.</i> Експлуатація газоконденсатних свердловин в умовах низьких робочих тисків	7
<i>Головешко О. С., Терещенко А. М., Федорчук С. О.</i> Оцінка можливості використання гідропотенціалу очисних споруд для генерації електричної енергії	14
<i>Горюшко В. В., Данільченко Д. А., Лиціна В. В., Безкостний П. І., Яковенко І. С., Якименко І. В., Ткачев Ю. В., Переверзев Б. Г.</i> Діагностика ліній електропередач за допомогою літального апарату з підвищеною дальністю польоту	19
<i>Довгалик О. М., Безкостний П. І.</i> Дослідження особливостей впровадження сонячних електростанцій в Україні та їх впливу на роботу електроенергетичних систем	24
<i>Довгалик О. М., Лазуренко О. П., Жуков Ю. О., Лухтура М. І., Саїдов Ш. Н.</i> Застосування малих ГЕС для забезпечення резерву потужності в час пік електроенергетичної системи	32
<i>Зайцев Р. В., Кіріченко М. В., Прокопенко Д. С.</i> Високовольтна система відбору потужності для сонячної станції	41
<i>Зайцева Л. В.</i> Ємнісні датчики для довгохвильового акустичного контролю	48
<i>Івахнов А. В., Лазуренко О. П., Федорчук С. О.</i> Системи акумулювання електроенергії, аналіз можливостей та їх поєднання для застосування в енергосистемі	53
<i>Омеляненко Г. В., Качалка Р. Р.</i> Вплив електромагнітного поля на екологію в цілому	60
<i>Ковальова Ю. В.</i> Автоматична компенсація реактивної потужності асинхронного електропривода з тиристорним регулятором напруги	64
<i>Мірошник О. О., Черкашина В. В., Пазій В. Г., Дишлевський А. В.</i> Удосконалення Методики визначення збитків від пошкоджень в розподільних електричних мережах	68
<i>Санин Ю. К.</i> Аналітичні дослідження впливу ультрафіолетового опромінювання на біооб'єкти	72
<i>Семененко Л. В.</i> Проблеми нормування питомих витрат паливно-енергетичних ресурсів в установах бюджетної сфери	76
<i>Бондаренко В. О., Федосєєнко О. М., Старков К. О., Ганус О. І.</i> Використання вертикальних заземлювачів підвищеної провідності розтіканню в умовах діючих електроустановок	82
<i>Зайцев Р. В., Кіріченко М. В., Хрипунок Г. С.</i> Тонкі плівки сульфїду кадмію для гнучких сонячних елементів, отримані методом магнетронного розпилення	87
<i>Шокарев Д. А., Михайличенко Д. А., Риков Г. Ю.</i> Аналіз режимів роботи автономної системи електропостачання на базі асинхронної машини з фазним ротором в якості генератора	92
<i>Язун В. Г., Язун К. В.</i> Застосування оптимізаційних методів для вирішення задач підвищення енергоефективності електроенергетичних систем	98
<i>Маковійчук А. А.</i> Аналіз моделі системи управління двомодульної АЕС з реакторами четвертого покоління типу НТР	106