

РАЗРАБОТКА ПЛАНА ОТСЕИВАЮЩЕГО ЭКСПЕРИМЕНТА ПО ИССЛЕДОВАНИЮ ВЛИЯНИЯ РАЗЛИЧНЫХ ФАКТОРОВ НА ПРОЦЕСС КОРРОЗИИ ЗАЗЕМЛЯЮЩИХ УСТРОЙСТВ

А.И. Сидоров, Р.Т. Абдуллоев

Южно-Уральский государственный университет, г. Челябинск

Состояние элементов заземляющих устройств во многом определяется процессом коррозии. Анализ существующих методов контроля состояния элементов заземляющих устройств показал их основные недостатки, связанные с необходимостью периодического вскрытия грунта над заземлителем для визуальной оценки его коррозионного состояния. В статье приводятся результаты лабораторных исследований влияния ряда факторов на процесс коррозии. В качестве исследуемых факторов были приняты влажность грунта, его водородный показатель pH, химико-минеральный состав и наличие блуждающих токов. На основании теории планирования эксперимента было определено минимально необходимое количество опытов и составлена матрица отсеивающего эксперимента, по которой выделены факторы, существенно влияющие на процесс коррозии заземляющих устройств. Результаты исследования показали, что процесс коррозии заземляющих устройств определяется, в основном, влажностью грунта и наличием блуждающих токов.

Ключевые слова: заземляющее устройство, коррозия, влажность грунта, наличие блуждающих токов, отсеивающий эксперимент, управляемые факторы.

Введение

Коррозия является одним из основных факторов, существенно влияющих на техническое состояние заземлителей. В результате коррозии происходит снижение надежности и рост сопротивления растеканию тока заземляющих устройств (ЗУ).

Проверка коррозионного состояния элементов заземлителей согласно нормативно-технической документации проводится путём измерения основных параметров ЗУ и проведением визуальных осмотров [1–4]. Определение состояния элементов ЗУ по существующим методикам требует дополнительных затрат и времени для вскрытия грунта и применения различных приборов (микроомметр, омметр, микрометр или штангенциркуль для измерения толщины коррозии вокруг заземляющих электродов) [5, 6].

В лабораторных условиях было проведено исследование влияния различных факторов (влажности грунта, его водородного показателя, концентрации ионов сульфата и хлорида и наличия блуждающих токов) на процесс коррозии элементов ЗУ на разработанной нами экспериментальной установке [7–11].

На рис. 1 представлены зависимости потери массы металла, использованного для изготовления элементов ЗУ, от влажности грунта (а), водородного показателя (б), концентрации ионов сульфата (в), концентрации ионов хлорида (г) и наличия блуждающих токов (д). В данном случае потеря массы металла характеризует результаты коррозии.

Из анализа зависимостей (см. рис. 1) следует, что наибольшее влияние на коррозию элементов ЗУ оказывают влажность грунта и наличие блуждающего тока.

Для определения минимального числа опытов

(длительность каждого из них составляет не менее 240 часов) воспользуемся теорией планирования многофакторного отсеивающего эксперимента, что позволит минимизировать трудовые и временные затраты [12, 13].

Постановка задачи исследования

На начальном этапе планирования необходимо решить следующие задачи:

- выявить характеристики грунта, влияющие на процесс коррозии элементов ЗУ;
- классифицировать факторы по способу управления и определить их уровни;
- составить матрицу отсеивающего эксперимента.

Для построения математической модели объекта исследования применим кибернетическую систему, называемую «черным ящиком» [14, 15], где исследуют только воздействия на систему и реакции системы на эти воздействия (рис. 2).

Теоретическая часть исследования

Все факторы, воздействующие на систему, разбиваем по группам X, Z, q , (табл. 1):

X – факторы, которые влияют на поведение системы и которыми мы можем управлять по определенным законам (матрицам);

Z – факторы, которые влияют на поведение системы, но управлять ими вследствие ограничений (технических, технологических, экономических, социальных и др.) не представляется возможным;

q – факторы, которые влияют на поведение системы, но управление ими на данном этапе развития цивилизации невозможно.

y – реакции системы на воздействия, параметры оптимизации, целевые функции.

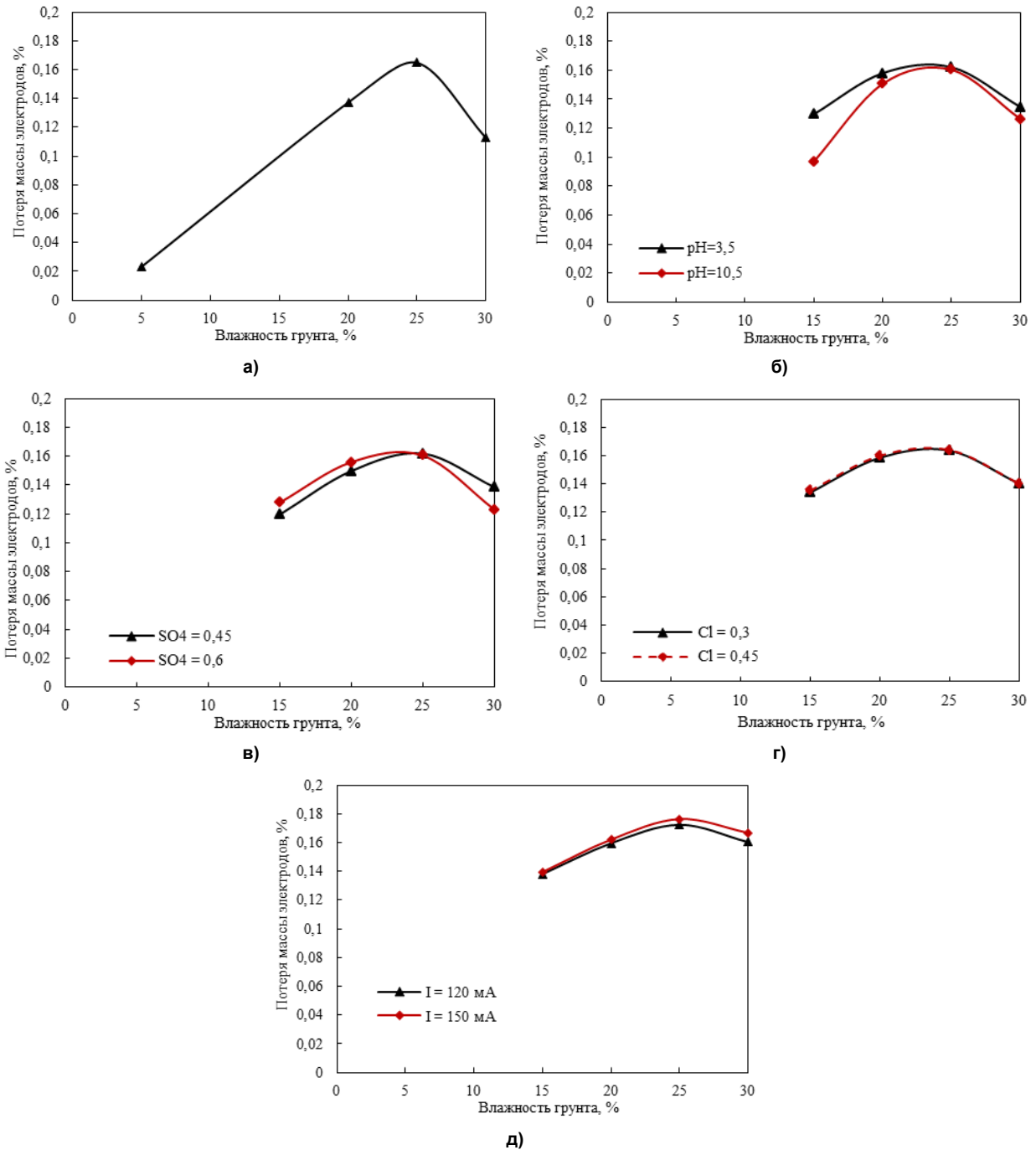


Рис. 1. Зависимость потери массы электродов от влажности грунта (а), его pH (б), концентрации ионов сульфата (в) и ионов хлорида (г), и наличия блуждающих токов (д)

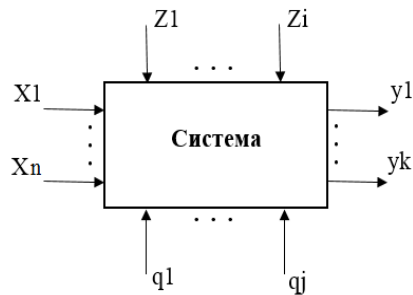


Рис. 2. Система черного ящика

Факторы, воздействующие на систему «черный ящик»

№ п/п	Номер фактора	Классификация факторов	Расшифровка и диапазон варьирования регулируемых факторов
1	r_1	X_1	Влажность грунта (5–30 %)
2	r_2	X_2	Водородный показатель грунта (3,5–10,5)
3	r_3	X_3	Концентрация ионов сульфата (0,45–0,65 %)
4	r_4	X_4	Концентрация ионов хлорида (0,3–0,45 %)
5	r_5	X_5	Наличие блуждающих токов (120–150 мА)
6	r_6	Z_1	Температура грунта, °С
7	r_7	Z_2	Электропроводность грунта, Ом·м
8	r_8	Z_3	Вид грунта
9	r_9	q_1	Бактериальный состав грунта
10	r_{10}	q_2	Газовый состав грунта
11	r_{11}	Z_4	Частота приложенного напряжения, 50 Гц
12	r_{12}	Z_5	Объем диэлектрической ванны (0,37 м ³)
13	r_{13}	Z_6	Глубина диэлектрической ванны (165 мм)
14	r_{14}	Z_7	Место расположения электродов
15	r_{15}	Z_8	Форма электродов (цилиндрическая)
16	r_{16}	Z_9	Глубина залегания электродов (35 мм)
17	r_{17}	Z_{10}	Площадь электродов (990 мм ²)
18	r_{18}	Z_{11}	Материал электродов (сталь без антикоррозионного покрытия)
19	r_{19}	Z_{12}	Геометрическая форма контура (прямоугольная)
20	r_{20}	Z_{13}	Площадь контура (351 см ²)
21	r_{21}	Z_{14}	Глубина расположения контура (3 мм)
22	r_{22}	Z_{15}	Материал контура (сталь без антикоррозионного покрытия)
23	r_{23}	Z_{16}	Обратный провод (медная фольга)
24	r_{24}	Z_{17}	Площадь фольги (112 см ²)
25	r_{25}	Z_{18}	Источник блуждающих токов
27		Y_1	Потеря массы электродов, %
26		Y_2	Сопротивление растеканию тока заземляющих электродов, Ом

Каждый фактор может принимать в опыте одно из нескольких значений.

При решении задачи будем использовать математические модели объекта исследования. Под математической моделью мы понимаем уравнение, связывающее параметр оптимизации с факторами. Это уравнение в общем виде можно записать так:

$$y = f(X) + e_1 + e_2,$$

$$Z = \text{const}; q = \text{const},$$

где y, X, Z, q – совокупность соответствующих элементов «черного ящика»;

e_1, e_2 – погрешности системы 1-го и 2-го рода (систематические и случайные).

В качестве констант для Z и q рекомендуется принимать наилучшие значения этих факторов [16–19].

В качестве отклика, характеризующего систему, примем:

y_1 – потеря массы заземляющих электродов, мкг;

y_2 – сопротивление растеканию тока заземляющих электродов, Ом.

Как видно из классификации факторов, на

скорость коррозии ЗУ влияют 7 управляемых факторов, то есть те, которые отнесены к группе X .

Для определения наиболее значимых факторов необходимо провести отсеивающий эксперимент на основе плана Плакетта–Бермана [20]. Выбранный план является одним из самых экономичных по числу опытов и эффективным для дисперсионного анализа. В данном случае необходимо будет провести $N = 8$ опытов для 5 факторов.

Опираясь на данные табл. 1, составим план Плакетта–Бермана (табл. 2) с кодированными и физическими факторами, обозначая их знаками «+», «-» и диапазон физического значения каждого из них.

По результатам исследований, проведенных по планам Плакетта–Бермана, была построена диаграмма рассеяния выделения существенных факторов (рис. 2) [21].

Практическая значимость результатов

Полученные результаты исследования влияния вышеуказанных факторов на процесс коррозии элементов заземлителя могут применяться для построения математической модели с целью прогнозирования состояния элементов ЗУ.

Таблица 2

План Плакетта – Бермана

№ опыта	Уровни факторов										Отклики	
	X_1		X_2		X_3		X_4		X_5		$Y_1, \%$	$Y_2, \text{Ом}$
	код	физ.	код	физ.	код	физ.	код	физ.	код	физ.		
1	+	30	+	10,5	-	0,45	+	0,45	-	120	0,1604	-
2	-	5	+	10,5	+	0,6	-	0,3	+	150	0,1381	-
3	-	5	-	3,5	+	0,6	+	0,45	-	120	0,1352	-
4	+	30	-	3,5	+	0,6	+	0,45	+	150	0,1724	-
5	-	5	+	10,5	-	0,45	+	0,45	+	150	0,1359	-
6	+	30	-	3,5	-	0,45	-	0,3	+	150	0,1721	-
7	+	30	+	10,5	+	0,6	-	0,3	-	120	0,1345	-
8	-	5	-	3,5	-	0,45	-	0,3	-	120	0,0233	-

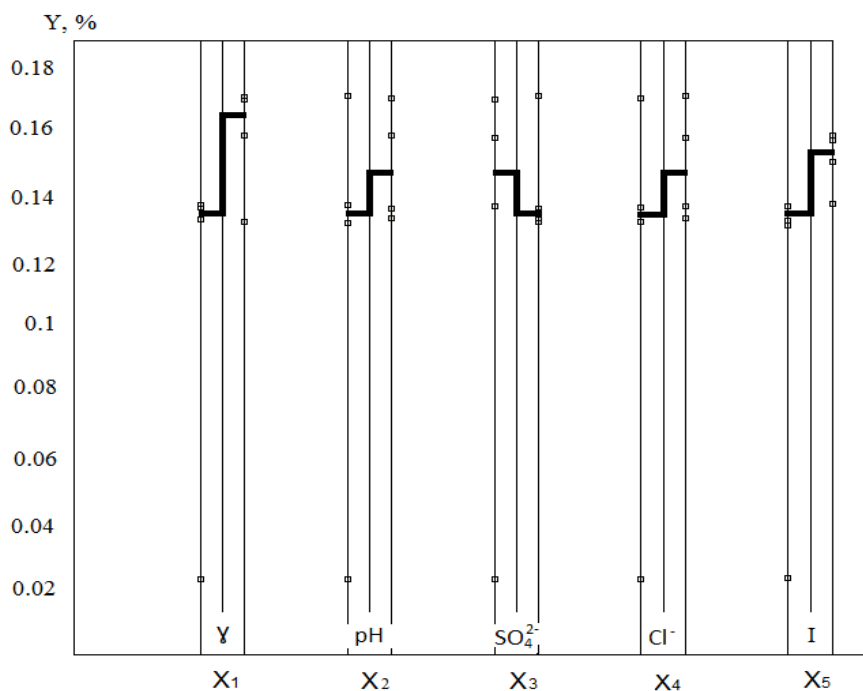


Рис. 2. Диаграмма рассеяния результатов первого этапа выделения существенных эффектов

Выводы

Наиболее существенными факторами, влияющими на процесс коррозии ЗУ, являются влажность грунта и наличие блуждающих токов. Остальные факторы (водородный показатель грунта и концентрация химических минералов) на процесс коррозии не оказывают существенного влияния. Разработанный план отсеивающего эксперимента позволил минимизировать количество экспериментов по исследованию влияния различных факторов на процесс коррозии ЗУ.

Литература

- СТО 56947007-29.130.15.105-2011. Методические указания по контролю состояния заземляющих устройств электроустановок. Стандарт организации АО «ФСК ЕЭС». – www.fskees.ru/upload/docs/STO_56947007-29.130.15.105.-2011.pdf.
- Методические указания по контролю со-

стояния заземляющих устройств электроустановок. – М: НГТУ, МЭИ ТУ, НПФ ЭЛНАП, АО «Фирма ОРГРЭС», 2000. – 54 с.

3. РД -153-34.0-20.525-00 Методические указания по контролю состояния заземляющих устройств электроустановок. – <http://www.russgost.ru/catalog/item43217>.

4. Сидоров, А.И. О проблеме непрерывного контроля состояния заземляющего устройства / А.И. Сидоров, А.Б. Тряпицын // Материалы 65-й научной конференции. Секции технических наук: в 2 т. – Челябинск: Издат. центр ЮУрГУ, 2013. – Т. 1. – С. 241–244.

5. Сидоров, А.И. Технические средства для определения состояния заземляющих устройств / А.И. Сидоров, А.Б. Тряпицын, Р.Т. Абдуллоев // Безопасность жизнедеятельности в третьем тысячелетии: сб. материалов VI-й Междунар. науч.-практ. конф.: в 2 т. / под. ред. А.И. Сидоро-

ва. – Челябинск: Издат. центр ЮУрГУ, 2015. – Т. 1. – С. 243–245.

6. Абдуллоев, Р.Т. Особенности работы заземляющих устройств тяговых подстанций / Р.Т. Абдуллоев, А.А. Вершинина // Безопасность жизнедеятельности глазами молодежи: сборник материалов III-й Всероссийской студенческой конференции (с международным участием) / под ред. А.И. Сидоров. – Челябинск: Издат. центр ЮУрГУ, 2014. – С. 4–5.

7. Пат. 161812 Российская Федерация: МПК G01R 19/45 (2006.01). Установка для исследования влияния факторов окружающей среды и блуждающих токов на процесс коррозии заземляющих устройств / Р.Т. Абдуллоев, А.И. Сидоров, А.Б. Тряпицын. – № 2015145568/28; заявл. 22.10.2015; опубл. 10.05.2016, Бюл. № 13-2016. – 2 с.

8. Абдуллоев, Р.Т. Стенд для исследования заземляющих устройств / Р.Т. Абдуллоев, А.Б. Тряпицын // Материалы ЛШ международной научно-технической конференции «Достижения науки – агропромышленному производству» / под ред. д-ра техн. наук П. Г. Свечникова. – Челябинск: ЧГАА, 2014. – Ч. IV. – С. 98–103.

9. Абдуллоев, Р.Т. Моделирование заземляющих устройств / Р.Т. Абдуллоев. // Материалы VI Международной заочной научно-практической конференции «Энергетика в современном мире». – Чита: ЗабГУ, 2013. – С. 30–33.

10. Абдуллоев, Р.Т. Особенности конструктивного выполнения заземляющих устройств тяговых подстанций / Р.Т. Абдуллоев, А.Б. Тряпицын, А.И. Сидоров // Материалы 66-й научной конференции. «Наука ЮУрГУ» [Электронный ресурс]: Секции технических наук. – Челябинск: Издат. центр ЮУрГУ, 2014 – С. 551–554.

11. Абдуллоев, Р.Т. Физическое моделирование элементов заземлителей при учете электромагнитных процессов / Р.Т. Абдуллоев, А.И. Сидоров // Материалы 67-й научной конференции. «Наука ЮУрГУ» [Электронный ресурс]: Секции технических наук. – Челябинск: Издат. центр ЮУрГУ, 2015. – С. 467–473.

12. Абдуллоев, Р.Т. Планирование эксперимента по исследованию влияния внешних факторов на техническое состояние заземляющих устройств

/ Р.Т. Абдуллоев, А.И. Сидоров, А.Б. Тряпицын // *Электробезопасность*. – 2015. – № 2. – С. 38–42.

13. Адлер, Ю.П. Планирование эксперимента при поиске оптимальных условий / Ю.П. Адлер, Е.В. Макарова, Ю.В. Грановский. – 2-е изд., перераб. и доп. – М.: Наука, 1976. – 279 с.

14. Хартман, К. Планирование эксперимента в исследовании технологических процессов / К. Хартман, Э. Лецкий, В. Шефер; под ред. Э.К. Лецкого. – М.: Мир, 1977. – 552 с.

15. Коржов, А.В. Выявление факторов, определяющих величину тока утечки, протекающего через тело человека, обусловленного влиянием электрического поля промышленной частоты / А.В. Коржов, Н.И. Горбунов // *Электробезопасность*. – 2015. – № 2–3. – С. 26–31.

16. Зыкина, Е.В. Планирование эксперимента по исследованию влияния шума на электрическое сопротивление тела человека / Е.В. Зыкина // Материалы 63-й научной конференции. Секции технических наук: в 2 т. – Челябинск: Издат. центр ЮУрГУ, 2011. – Т. 2. – С. 25–29.

17. Адлер, Ю.П. Введение в планирование эксперимента / Ю.П. Адлер. – М.: Металлургия, 1968. – 155 с.

18. Мельников, С.В. Планирование эксперимента в исследованиях сельскохозяйственных процессов / С.В. Мельников, В.Р. Алешкин, П.М. Роцин; под ред. С.В. Мельникова. – 2-е изд. перераб. и доп. – Л.: Колос, 1980. – 168 с.

19. Налимов, В.В. Статические методы планирования экстремальных экспериментов / В.В. Налимов, Н.А. Чернова. – М.: Наука, 1965. – 340 с.

20. Зыкина, Е.В. Разработка плана проведения отсеивающего эксперимента по исследованию влияния шума на электрическое сопротивление тела человека / Е.В. Зыкина // *Научный поиск. Технические науки: материалы третьей науч. конф. аспирантов и докторантов*. – Челябинск: Издат. центр ЮУрГУ, 2011. – Т. 1. – С. 19–22.

21. Крупин, А.Е. Отсеивание факторов при планировании эксперимента / А.Е. Крупин, Д.В. Зуйков // *Вестник НГИЭИ. Серия «Экономика и экономические науки*. – 2014. – Вып. № 4 (35). – С. 62–70.

Сидоров Александр Иванович, д-р техн. наук, профессор, зав. кафедрой «Безопасность жизнедеятельности», Южно-Уральский государственный университет, г. Челябинск; bgd-susu@mail.ru.

Абдуллоев Рамазон Толибжонович, аспирант кафедры «Безопасность жизнедеятельности», Южно-Уральский государственный университет, г. Челябинск; art.tj@bk.ru.

Поступила в редакцию 29 апреля 2016 г.

DEVELOPMENT OF PLAN FOR SCREENING EXPERIMENT AIMED TO EXAMINE INFLUENCE OF VARIOUS FACTORS ON CORROSION OF GROUNDING DEVICES

A.I. Sidorov, bgd-susu@mail.ru,

R.T. Abdulloev, art.tj@bk.ru

South Ural State University, Chelyabinsk, Russian Federation

Conditions of grounding elements is highly influenced by corrosion. The analysis of existing methods of grounding component condition control has showed their main drawbacks associated with the need for a periodic earth lead exposure for visual inspection of its corrosion state. The article presents the results of laboratory studies of the influence of some factors on the corrosion process. The factors under study included soil moisture, its pH, chemical and mineral composition and presence of ground currents. Based on the theory of experiment planning, a minimum number of trials has been determined and the matrix of screening experiments has been elaborated, in which factors significantly affecting corrosion of grounding devices have been emphasized. The results show that present moisture and ground currents mainly facilitate corrosion of grounding devices.

Keywords: grounding device, corrosion, soil moisture, presence of ground currents, screening experiments, controllable factors.

References

1. *Standart organizatsii 56947007-29.130.15.105-2011. Metodicheskie ukazaniya po kontrolyu sostoyaniya zazemlyayushchikh ustroystv elektroustanovok* [Methodical Instructions on Control of a Condition of the Grounding Devices of Electroinstallations], 2011.
2. *Metodicheskie ukazaniya po kontrolyu sostoyaniya zazemlyayushchikh ustroystv elektroustanovok* [Methodical Instructions on Control of a Condition of the Grounding Devices of Electroinstallations]. Moscow, the NSTU, MSI TU ELNAP APF and JSC "Firm ORGRES", 2000. 54 p.
3. *Rukovodyashchiy document 153-34.0-20.525-00 Metodicheskie ukazaniya po kontrolyu sostoyaniya zazemlyayushchikh ustroystv elektroustanovok* [Methodical Instructions on Control of a Condition of the Grounding Devices of Electroinstallations].
4. Sidorov A.I., Tryapitsyn A.B. [About a Problem of Continuous Control of a Condition of the Grounding Device]. *Materialy 65-y nauchnoy konferentsii. Sektsii tekhnicheskikh nauk* [Materials of 65th the Scientific Conference. Section of Technical Sciences: in Two Volumes]. Chelyabinsk, SUSU Publishing center, 2013, vol. 1, pp. 241–244. (in Russ.)
5. Sidorov A.I., Tryapitsyn A.B., Abdulloev R.T. [Technical Means for Definition of a Condition of the Grounding Devices]. *Bezopasnost' zhiznedeyatel'nosti v tret'em tysyacheletii: sbornik materialov VI-y Mezhdunarodnoy nauchno-prakticheskoy konferentsii* [Materials of Health and Safety in the Third Millennium: Collection of the Materials VI of the International Scientific and Practical Conference], vol. 2, Sidorova A.I. (Ed.), Chelyabinsk, SUSU Publishing Center, 2015, vol. 1, pp. 243–245. (in Russ.)
6. Abdulloev R.T., Vershinina A.A. [Features of Grounding Devices Traction Substations]. *Bezopasnost' zhiznedeyatel'nosti glazami molodezhi: sbornik materialov III-y Vserossiyskoy studencheskoy konferentsii* [Materials of Health and Safety Through the Eyes of Young People: a Collection of Materials III-rd All-Russian Student Conference (with International Participation)], A.I. Sidorov (Ed.), Chelyabinsk, SUSU Publishing Center, 2014, pp. 4–5. (in Russ.)
7. Abdulloev R.T., Sidorov A.I., Tryapitsyn A.B. *Ustanovka dlya issledovaniya vliyaniya faktorov okruzhayushey sredy i bluzhdayuschiy tokov na protsess korrozii zazemlyayuschiy ustroystv* [Installation for Research of Influence of Factors of Environment and the Wandering Currents on Process of Corrosion of the Grounding Devices]. Patent RF, no. 161812, Bull. no. 13-2016.
8. Abdulloev R.T., Tryapitsyn A.B. [Stand for Investigations of Grounding Devices]. *Materialy LIII mezhdunarodnoy nauchno-tekhnicheskoy konferentsii "Dostizheniya nauki – agropromyshlennomu proizvodstvu"* [Materials LIII International Scientific and Technical Conference "Advances in Science – Agricultural Production"], Edited by: Dr. of technical sciences P.G. Svechnikova, Chelyabinsk, CSAA Publ., 2014, chapter IV, pp. 98–103.
9. Abdulloev R.T. [Modeling of Grounding Devices]. *Materialy VI Mezhdunarodnoy zaachnoy nauchno-prakticheskoy konferentsii "Energetika v sovremennoy mire"* [Energy in the Modern World. VI International Correspondence Scientific-Practical Conference]. Chita, Transbaikalian State University Publ., 2013, pp. 30–33.

10. Abdulloev R.T., Tryapitsyn A.B., Sidorov A.I. [Features Constructional Fulfillment of Grounding Devices of Traction Substations]. *Materialy 66-y nauchnoy konferentsii. "Nauka YUrGU"* [Materials of the 66th Scientific Conference. Section of Technical Sciences]. Chelyabinsk, SUSU Publishing center, 2014, pp. 551–554. (in Russ.)
11. Abdulloev R.T., Sidorov A.I. [Physical Modeling of Elements Grounding, Taking into Account the Electromagnetic Processes]. *Materialy 67-y nauchnoy konferentsii. "Nauka YUrGU"* [Materials of the 66th Scientific Conference. Section of Technical Sciences]. Chelyabinsk, SUSU Publishing center, 2015, pp. 467–472. (in Russ.)
12. Abdulloev R.T., Sidorov A.I., Tryapitsyn A.B. [Planning of Experiment on Research of Influence of External Factors on Technical Condition of the Grounding Devices]. *Elektrobezopasnost'* [Electrosafety], 2015, no. 2, pp. 38–42. (in Russ.)
13. Adler Yu.P., Makarova E.V., Granovsky Yu.V. *Planirovanie jeksperimenta pri poiske optimal'nyh uslovij* [Planning of Experiment by Search of Optimum Conditions]. 2nd ed., Revised. and ext. Moscow, Nauka Publ., 1976. 279 p.
14. Hartman K., Letsky E., Schaefer V. *Planirovanie jeksperimenta v issledovanii tekhnologicheskikh protsessov* [Planning of Experiment in Research of Technological Processes]. E.K. Letsko (Ed.). Moscow, Mir Publ., 1977. 552 p.
15. Korzhov A.V., Gorbunov N.I. [Identifying the Factors that Determine the Magnitude of the Leakage Current Flowing Through the Human Body Due to the Influence of the Electric Field of Industrial Frequency]. *Elektrobezopasnost'* [Electrosafety], 2015, no. 2–3, pp. 26–31. (in Russ.)
16. Zykina E.V. [Planning an Experiment for Studying Effects of Noise on the Electrical Resistance of the Human Body]. *Materialy 66-y nauchnoy konferentsii. "Nauka YUrGU"* [Materials 63rd Scientific Conference. Section of Technical Sciences]. Chelyabinsk, SUSU Publishing center, 2011, vol. 2, pp. 25–29. (in Russ.)
17. Adler Yu.P. *Vvedenie v planirovanie jeksperimenta* [Introduction to Experiment Planning]. Moscow, Metallurgy Publ., 1968. 155 p.
18. Melnikov S.V., Aleshkin V.R., Roshchin P.M. *Planirovanie jeksperimenta v issledovaniyakh sel'skokhozyaystvennykh protsessov* [Planning of Experiment in Researches of Agricultural Processes], S.V. Melnikova (Ed.), 2nd ed. Revised. and ext. Leningrad, Kolos Publ., 1980. 168 p.
19. Nalimov V.V., Chernova N.A. *Statische metody planirovaniya ekstremal'nykh jeksperimentov* [Static Methods of Planning of Extreme Experiments]. Moscow, Nauka Publ., 1965. 340 p.
20. Zykina E.V. [The Development Plan for the Screening Experiments to Study the Effects of Noise on the Electrical Resistance of the Person]. *Materialy tret'ej nauchnoj konferencii aspirantov i doktorantov. "Nauchnyj poisk"* [Materials of the Third Scientific Conference of Post-graduate and Doctoral Students]. Chelyabinsk, SUSU Publishing Center, 2011, vol. 1, pp. 19–22. (in Russ.)
21. Krupin A.E., Zuikov D.V. [Elimination of Factors when Planning Experiment]. *Bulletin Nizhny Novgorod State University. Ser. Economy and economic sciences*, 2014, Issue no. 4 (35), pp. 62–70. (in Russ.)

Received 29 April 2016

ОБРАЗЕЦ ЦИТИРОВАНИЯ

Сидоров, А.И. Разработка плана отсеивающего эксперимента по исследованию влияния различных факторов на процесс коррозии заземляющих устройств / А.И. Сидоров, Р.Т. Абдуллоев // Вестник ЮУрГУ. Серия «Энергетика». – 2016. – Т. 16, № 2. – С. 52–58. DOI: 10.14529/power160207

FOR CITATION

Sidorov A.I., Abdulloev R.T. Development of Plan for Screening Experiment Aimed to Examine Influence of Various Factors on Corrosion of Grounding Devices. *Bulletin of the South Ural State University. Ser. Power Engineering*, 2016, vol. 16, no. 2, pp. 52–58. (in Russ.) DOI: 10.14529/power160207
