

DOI: 10.25558/VOSTNII.2021.32.20.005

УДК 658.382

© А.И. Сидоров, Х.Д. Бобоев, Ю.В. Медведева, Ш.С. Саъдуллозода, 2021

А.И. СИДОРОВ

д-р техн. наук, проф.,
заведующий кафедрой
Южно-Уральский государственный
университет, г. Челябинск
e-mail: bgd-susu@mail.ru



Х.Д. БОБОЕВ

аспирант
Южно-Уральский государственный
университет, г. Челябинск
e-mail: khboboev-93@mail.ru



Ю.В. МЕДВЕДЕВА

канд. техн. наук, доцент
Южно-Уральский государственный
университет, г. Челябинск
e-mail: julyabakal@mail.ru



Ш.С. САЪДУЛЛОЗОДА

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



ИССЛЕДОВАНИЕ КОСВЕННЫХ МЕТОДОВ ОПРЕДЕЛЕНИЯ ПАРАМЕТРОВ ИЗОЛЯЦИИ НА КОМПЬЮТЕРНОЙ МОДЕЛИ

В статье освещается актуальная проблема выбора методов контроля изоляции карьерных распределительных электрических сетей (КРС). Статья посвящена исследованию параметров изоляции фаз сети относительно земли КРС. Рассматривается оценка метода, основанного на подключении дополнительной емкости к одной из фаз для определения косвенным методом параметров изоляции фаз относительно земли сетей с изолированной нейтралью напряжением 6 кВ в программной среде MATLAB/SIMULINK. Приведены результаты анализа влияния различных факторов на точность измерений активной и реактивной составляющих полного сопротивления изоляции фаз сети относительно земли.

Ключевые слова: КАРЬЕРНЫЕ РАСПРЕДЕЛИТЕЛЬНЫЕ ЭЛЕКТРИЧЕСКИЕ СЕТИ, ПАРАМЕТРЫ ИЗОЛЯЦИИ ФАЗ СЕТИ ОТНОСИТЕЛЬНО ЗЕМЛИ, КОМПЬЮТЕРНОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ.

ВВЕДЕНИЕ

Одной из основных причин простоя высокопроизводительных машин и механизмов, а также электротравматизма на горнодобывающих предприятиях является неудовлетворительное состояние изоляции электрооборудования и сетей. При решении вопросов повышения безопасности и надежности электроснабжения необходимо уделять первостепенное внимание контролю изоляции как всей электроустановки, так и ее элементов.

Надежность работы и безопасность обслуживания электроприемников напряжением 6 кВ, работающих в сетях с изолированной нейтралью, зависят от уровня сопротивления их изоляции относительно земли [1–13]. Снижение уровня сопротивления изоляции в карьерной распределительной сети в целом создает предпосылки к образованию аварийных режимов (полного и неполного замыкания на землю).

АКТУАЛЬНОСТЬ

Как известно, исследование состояния изоляции карьерных распределительных электрических сетей (КРС) предусматривает определение ее полного сопротивления и его составляющих (активной и емкостной). Величина полного сопротивления изоляции определяет критерий электробезопасности и величину полного тока однофазного замыкания на землю. Знание величины активной составляющей сопротивления изоляции обеспечивает выбор рациональной величины уставки. Знание емкости сети относительно земли позволит принять правильное решение о необходимости ее компенсации и тока замыкания на землю.

Отсюда следует вывод, для чего необходимо знать указанные выше величины. Их определение может быть осуществлено и расчетным, и экспериментальными методами. Но поскольку для расчетного метода надо знать удельные величины искомых параметров, то предпочтение следует отдать эксперименту [5, 7].

МЕТОДЫ ИЗМЕРЕНИЯ

На практике параметры КРС относительно земли определяют либо прямым, либо косвенным методом. Проведенные исследования в [7, 11, 14, 15] показали, что из известных экспериментов с учетом метрологических требований и необходимости создания безопасных условий для участвующих в них наиболее подходящим будет косвенный метод, обеспечивающий получение необходимых информационных параметров за счет искусственного смещения нейтрали [5].

КОМПЬЮТЕРНАЯ МОДЕЛЬ

Для выявления влияния на результаты измерений естественной несимметрии в КРС, характера и величины нагрузки в ней нами была разработана компьютерная модель реальной КРС с одновременной проверкой ее адекватности [7, 16, 17].

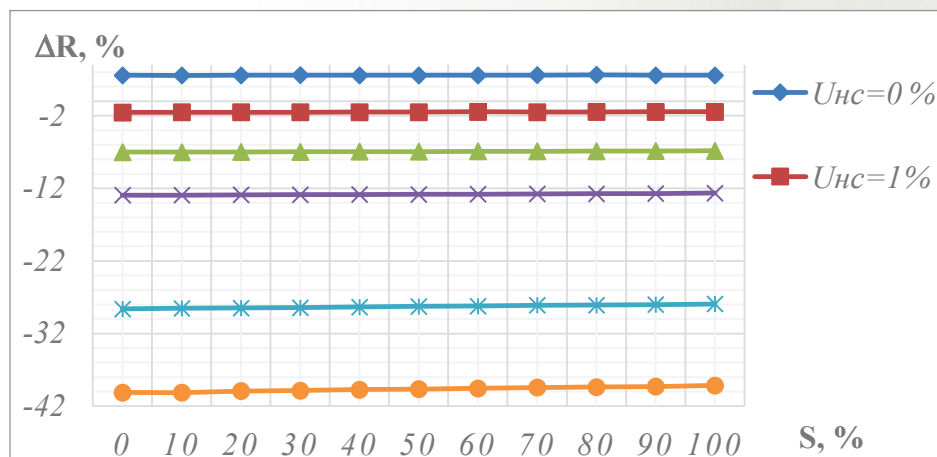
Исследования погрешностей определения параметров изоляции фаз сети относительно земли проводились для методик, основанных на подключении к одной из фаз дополнительной емкости. Выбор дополнительной емкости подробно рассмотрен в [13], а оценка влияния точности выбора этой емкости на искомый результат в [7, 17].

РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

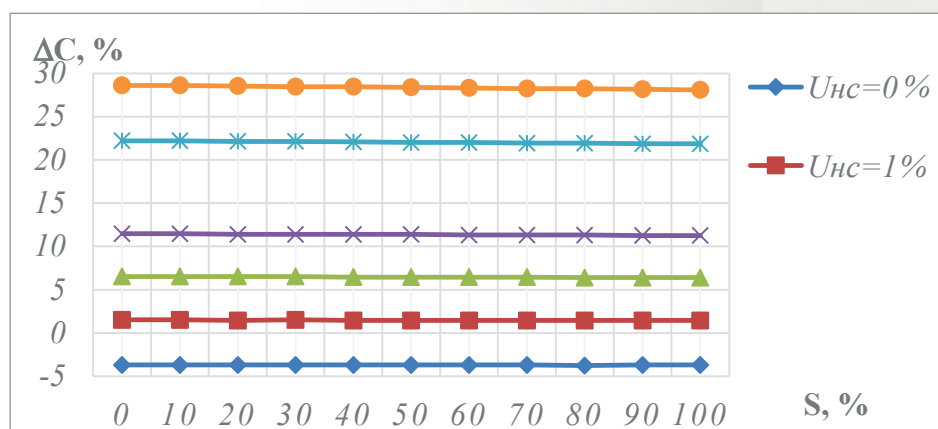
Для принятия окончательного решения по вопросу проведения реальных исследований нами были рассмотрены и исследованы методики, подробно описанные в [5, 13, 18].

При этом мы рассматривали влияние изменения полной нагрузки от 0 до 100 %, а естественной несимметрии — от 0 до 5 % [19]. Несимметрия создается сопротивлениями изоляции фаз сети относительно земли.

На рис. 1 показано влияние величины полной нагрузки при изменении ее от 0 до 100 %, а также несимметрии в сети от 0 до 5 % на результаты определения искомых параметров по методике, приведенной в [13].



а)

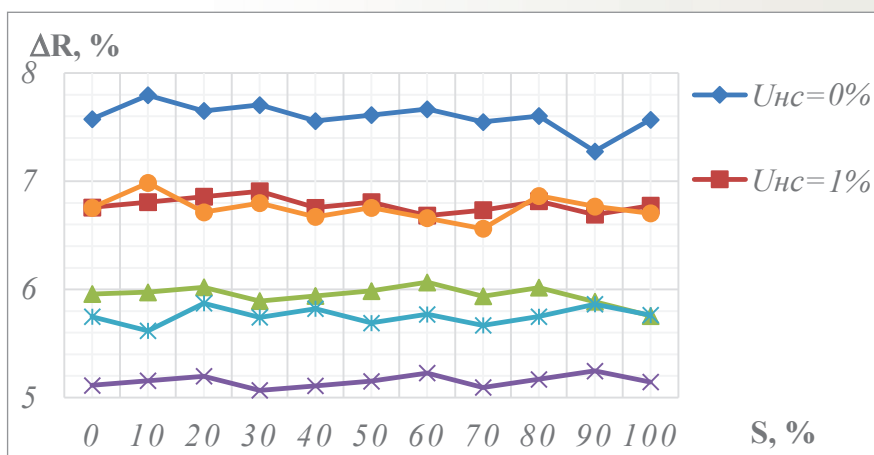


б)

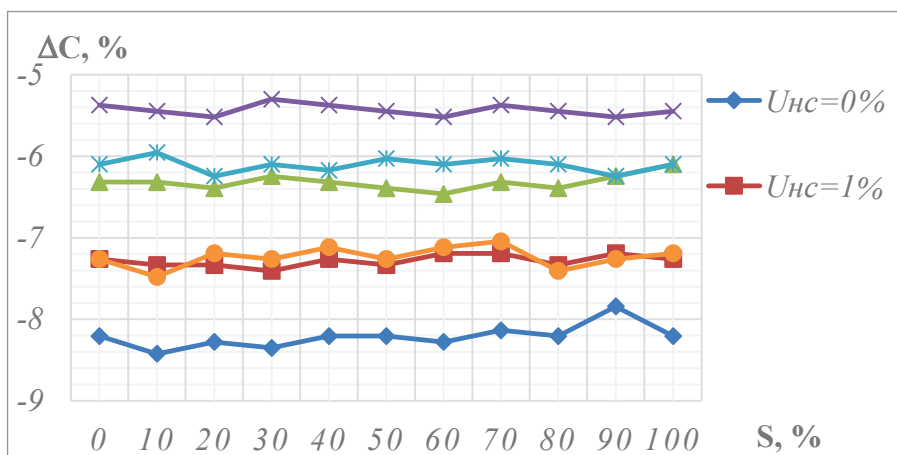
Рис. 1. Зависимости погрешностей δR (а) и δC_{ϕ} (б) при изменении полной нагрузки от 0 до 100 % и несимметрии в сети от 0 до 5 % (методика [13])

Из рис. 1 а и б следует, что при несимметрии в сети от 0 до 5 % и изменении нагрузки в сети от 0 до 100 % ошибка в оценке C_{ϕ} достигает 28 %, а в оценке R_{ϕ} — 40 %.

На рис. 2 показано влияние тех же факторов на интересующие нас параметры, определяемые так, как предложено в [5].



а)



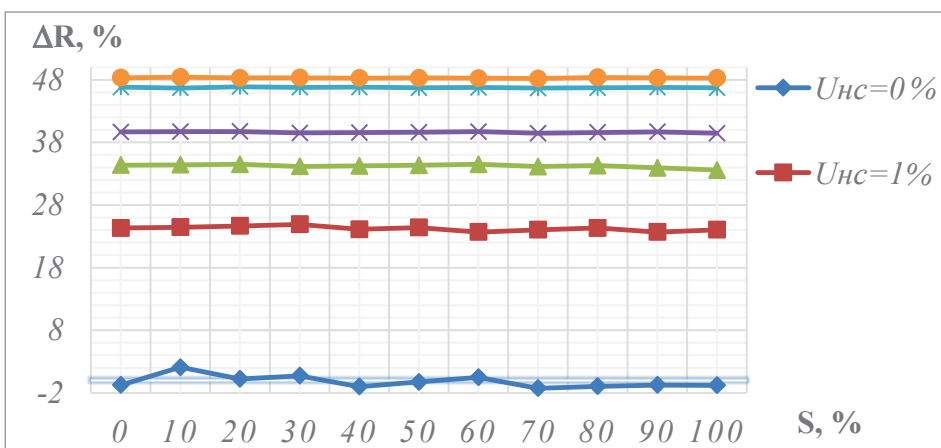
б)

Рис. 2. Зависимости погрешностей δR (а) и δC_{ϕ} (б) при изменении полной нагрузки от 0 до 100 % и несимметрии в сети от 0 до 5 % (методика [5])

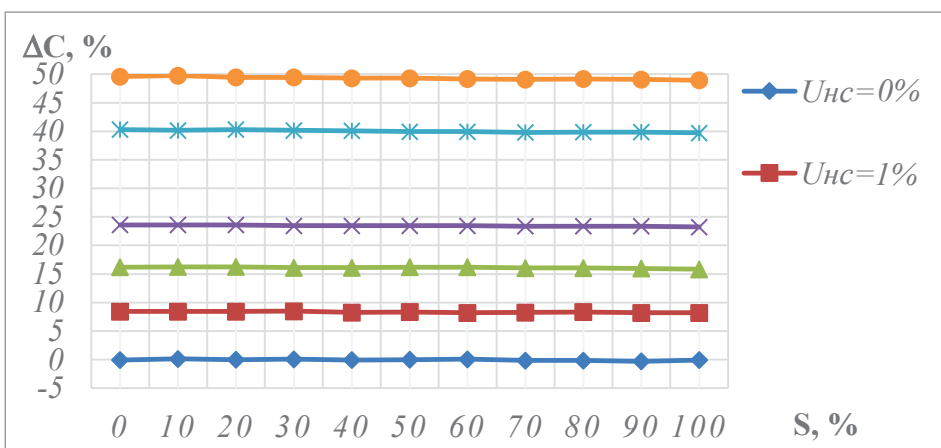
Анализ показывает (рис. 2 а и б), что интересные нас факторы оказывают незначительное влияние на результаты измерений. Погрешность в определении параметров изо-

ляции не превышает 8,3 %.

На рис. 3 показано аналогичное влияние величины полной нагрузки и несимметрии, но по методике, приведенной в [18].



а)



б)

Рис. 3. Зависимости погрешностей δR (а) и δC_{ϕ} (б) при изменении полной нагрузки от 0 до 100 % и несимметрии в сети от 0 до 5 % (методика [18])

Согласно рис. 3 а и б, нахождение исследуемых по этой методике параметров может привести к ошибке в определении C_f и R_f до 50 %.

Анализ экспериментальных данных, представленных в работе, подтверждает теоретические исследования, в которых показано, что при $U_{нс} \leq 1$ % первая и третья методика применимы и дают приемлемые результаты, а при $U_{нс} \geq 1$ % пользоваться необходимо второй методикой.

ВЫВОДЫ

1. Проведенные исследования на компьютерной модели показали, что при несимметрии в сети, а также при изменении величины нагрузки погрешность в определении параметров изоляции не превышает 8,3 %.

2. Сравнительный анализ полученных результатов на компьютерной модели КРС 6 кВ с изолированной нейтралью показал, что вторая методика [5] предпочтительнее и может быть использована в КРС при наличии естественной несимметрии.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Гладилин Л.В., Щуцкий В.И., Бацежев Ю.Г., Чеботаев Н.И. Электробезопасность в горнодобывающей промышленности. М.: Недра, 1977. 327 с.
2. Гуцин Н.Я. Исследования состояния изоляции электроустановок напряжением выше 1000 В с изолированной нейтралью на горнодобывающих предприятиях цветной металлургии: автореф. дис. на соиск. учен. степ. канд. техн. наук / Николай Яковлевич Гуцин; МГИ. М., 1974. 16 с.
3. Щуцкий В.И., Утегулов Б.Б. Метод определения параметров изоляции трехфазных электрических сетей с изолированной нейтралью напряжением выше 1000 В // Электробезопасность на открытых и подземных горных работах. Днепропетровск, 1982. С. 77.
4. Контроль изоляции в распределительных сетях: тезисы доклада научно-практической конференции. Челябинск, 1992. 34 с.
5. Сидоров А.И. Теория и практика системного подхода к обеспечению электробезопасности на открытых горных работах: дис. на соиск. учен. степ. докт. техн. наук: 05.26.01 / Сидоров Александр Иванович. Челябинск, 1993. 444 с.
6. Щуцкий В.И., Сидоров А.И., Ситчихин Ю.В., Бендяк Н.А. Электробезопасность на открытых горных работах. М.: Недра, 1996. 266 с.
7. Сидоров А.И., Бобоев Х.Д. Исследование погрешностей косвенного метода измерения параметров изоляции фаз сети относительно земли на имитационной модели // Безопасность труда в промышленности. 2020. № 9. С. 24–29.
8. Shinkarenko G.V. Determination of the Dielectric Characteristics of Electric Equipment Insulation in the Presence of Utility-Frequency Interference Currents // Power Technology and Engineering. 2016. 50(3). P. 341–346.
9. Zhang Q., Tang, H. Diagnosis of inhomogeneous insulation degradation in electric cables by distributed shunt conductance estimation // Control Engineering Practice. 2013. 21(9). P. 1195–1203.
10. Liang M.-Y., Dian S.-Y., Liu T. Lecture Insulation status mobile monitoring for power cable based on a novel fringing electric field method // Notes in Electrical Engineering. 2012. 138 LNEE. P. 987–994.
11. Сидоров А.И. Бобоев Х.Д. Анализ методов исследования параметров изоляции электрических сетей напряжением 6 кВ // Экология. Риск. Безопасность: материалы Всероссийской научно-практической конференции. Курган, 2020. С. 273–275.
12. Соболев В.Г. Электрическая изоляция рудничного электрооборудования. М.: Недра, 1982. 143 с.
13. Петров О.А., Сидоров А.И., Сельницин А.А. Методика измерения емкостных токов однофазного замыкания на землю в электрических сетях напряжением 6...10 кВ. Челябинск, 1990. 24 с.

14. Бобоев Х.Д. Анализ методов контроля изоляции в карьерных сетях напряжением 6 кВ // Техносферная безопасность в XXI веке. IX Всероссийская научно-практическая конференция. Иркутск, 2019. С. 234–239.

15. Сидоров А.И., Бобоев Х.Д. Оценка косвенных методов контроля изоляции в карьерных распределительных электрических сетях напряжением 6 кВ // Актуальные вопросы агроинженерных наук в сфере энергетики агропромышленного комплекса: теория и практика. Челябинск, 2020. С. 166–171.

16. Сидоров А.И., Бобоев Х.Д. Характеристика горнодобывающих предприятий Республики Таджикистан // VII международная научно-практическая конференция «Безопасность жизнедеятельности в третьем тысячелетии». Челябинск, 2019. С. 166–169.

17. Сидоров А.И. Бобоев Х.Д. Имитационная модель карьерной распределительной сети напряжением 6 кВ // Научный поиск: материалы двенадцатой научной конференции аспирантов и докторантов. Челябинск, 2020.

18. Лапченков К.В. Управление состоянием изоляции в распределительных электрических сетях: дис. на соиск. учен. степ. канд. техн. наук: 05.26.01 / Лапченков Константин Владимирович. Челябинск, 1998. 120 с.

19. ГОСТ 32144–2013. Электрическая энергия. Совместимость технических средств электромагнитная. Нормы качества электрической энергии в системах электроснабжения общего назначения. М.: Стандартинформ, 2014. 20 с.

DOI: 10.25558/VOSTNII.2021.32.20.005

UDC 658.382

© A.I. Sidorov, Kh.D. Boboev, Yu.V. Medvedeva, Sh.S. Sadullozoda, 2021

A.I. SIDOROV

Doctor of Engineering Sciences, Professor,
Head of Department
Southern Ural State University, Chelyabinsk
e-mail: bgd-susu@mail.ru

Kh.D. BOBOEV

Post-Graduate
Southern Ural State University, Chelyabinsk
e-mail: khboboev-93@mail.ru

Yu.V. MEDVEDEVA

Candidate of Engineering Sciences, Associate Professor
South Ural State University, Chelyabinsk
e-mail: julyabakal@mail.ru

Sh.S. SADULLOZODA

Candidate of Technical Sciences, Associate Professor,
First Vice-Rector, Vice-Rector for Academic Affairs
M.S. Osimi Tajik Technical University, Dushanbe
e-mail: saidaliev.ss@mail.ru

INVESTIGATION OF INDIRECT METHODS FOR DETERMINING ISOLATION PARAMETERS ON A COMPUTER MODEL

The article highlights the current problem of choosing methods for monitoring the insulation of quarry distribution electrical networks (KRS). The article is devoted to the study of the parameters of the isolation of the network phases relative to the ground of the cattle. The evaluation of a method based on connecting an additional capacitance to one of the phases for determining the parameters of phase isolation relative to the ground of networks with an isolated neutral voltage of 6 kV in the MATLAB/SIMULINK software environment is considered. The results of the analysis of the influence of various factors on the accuracy of measurements of the active and reactive components of the total insulation resistance of the network phases relative to the ground are presented.

Keywords: QUARRY DISTRIBUTION ELECTRIC NETWORKS, PARAMETERS OF ISOLATION OF NETWORK PHASES RELATIVE TO THE GROUND, COMPUTER MODELING.

REFERENCES

1. Gladilin L.V., Shutsky V.I., Batsezhev Yu.G., Chebotaev N.I. Electrical safety in the mining industry. M.: Nedra, 1977. 327 p. [In Russ.].
2. Gushchin N.Ya. Studies of the state of insulation of electrical installations with a voltage above 1000 V with an isolated neutral at mining enterprises of non-ferrous metallurgy: dissertation abstract for the degree of candidate of technical sciences / Nikolai Yakovlevich Gushchin; MSU. M., 1974. 16 p. [In Russ.].
3. Shutsky V.I., Utegulov B.B. Method for determining the insulation parameters of three-phase electric networks with an isolated neutral voltage above 1000 V // Electrical safety in open and underground mining. Dnepropetrovsk, 1982. 77 p. [In Russ.].
4. Isolation monitoring in distribution networks: abstracts of the scientific-practical conference. Chelyabinsk, 1992. 34 p. [In Russ.].
5. Sidorov A.I. Theory and practice of a systematic approach to ensuring electrical safety in open-pit mining: abstract for the degree of doctor technical sciences: 05.26.01 / Sidorov Alexander Ivanovich. Chelyabinsk, 1993. 444 p. [In Russ.].
6. Shchutsky V.I., Sidorov A.I., Sitchikhin Yu.V., Bendyak N.A. Electrical safety in open mining operations. M.: Nedra, 1996. 266 p. [In Russ.].
7. Sidorov A.I., Boboev Kh.D. Investigation of the errors of the indirect method for measuring the parameters of the isolation of the network phases relative to the ground on a simulation model // Industrial safety [Bezopasnost truda v promyshlennosti]. 2020. No. 9. P. 24–29. [In Russ.].
8. Shinkarenko G.V. Determination of the Dielectric Characteristics of Electric Equipment Insulation in the Presence of Utility-Frequency Interference Currents // Power Technology and Engineering. 2016. 50(3). P. 341–346.
9. Zhang Q., Tang, H. Diagnosis of inhomogeneous insulation degradation in electric cables by distributed shunt conductance estimation // Control Engineering Practice. 2013. 21(9). P. 1195–1203.
10. Liang M.-Y., Dian S.-Y., Liu T. Lecture Insulation status mobile monitoring for power cable based on a novel fringing electric field method // Notes in Electrical Engineering. 2012. 138 LNEE. P. 987–994.
11. Sidorov A.I. Boboev Kh.D. Analysis of research methods for the insulation parameters of 6 kV electrical networks // Ecology. Risk. Safety: materials of the All-Russian scientific and practical conference. Kurgan, 2020. P. 273–275. [In Russ.].
12. Sobolev V.G. Electrical insulation of mine electrical equipment. M.: Nedra, 1982. 143 p. [In Russ.].
13. Petrov O.A., Sidorov A.I., Selnitsin A.A. Method of measuring capacitive currents of single-phase earth fault in electric networks with a voltage of 6 ... 10 kV. Chelyabinsk, 1990. 24 p. [In Russ.].
14. Boboev Kh.D. Analysis of methods of insulation control in open pit networks with voltage of

6 kV // Technosphere safety in the XXI century. IX All-Russian Scientific and Practical Conference. Irkutsk, 2019. P. 234–239. [In Russ.].

15. Sidorov A.I., Boboev Kh.D. Evaluation of indirect methods of insulation control in quarry distribution electric networks with a voltage of 6 kV // Topical issues of agroengineering sciences in the field of energy of the agro-industrial complex: theory and practice. Chelyabinsk, 2020. P. 166–171. [In Russ.].

16. Sidorov A.I., Boboev Kh.D. Characteristics of mining enterprises of the Republic of Tajikistan // VII international scientific and practical conference «Life safety in the third millennium». Chelyabinsk, 2019. P. 166–169. [In Russ.].

17. Sidorov A.I. Boboev Kh.D. A simulation model of a 6 kV career distribution network // Scientific search: materials of the twelfth scientific conference of graduate and doctoral students. Chelyabinsk, 2020. [In Russ.].

18. Lapchenkov K.V. Management of the state of insulation in distribution electric networks: abstract for the degree of candidate of technical sciences: 05.26.01 / Lapchenkov Konstantin Vladimirovich. Chelyabinsk, 1998. 120 p. [In Russ.].

19. GOST 32144-2013. Electrical energy. Compatibility of technical means is electromagnetic. Standards for the quality of electrical energy in general-purpose power supply systems. M.: Standartinform, 2014. 20 p. [In Russ.].