

ОРГАНИЗАЦИЯ КОНТРОЛЯ ИЗОЛЯЦИИ В РАСПРЕДЕЛИТЕЛЬНОЙ СЕТИ КАРЬЕРА «ТАРРОР»

Х.Д. Бобоев^{1, 2}, Ю.И. Аверьянов¹, А.В. Богданов¹, И.Л. Кравчук³

¹ Южно-Уральский государственный университет, г. Челябинск, Россия,

² Институт энергетики Таджикистана, г. Бохтар, Республика Таджикистан,

³ Институт горного дела УрО РАН, филиал в г. Челябинске, г. Челябинск, Россия

Надежность работы электрооборудования и безопасность его эксплуатации, а также уровень электробезопасности и пожаробезопасности на горнодобывающих предприятиях непосредственно связаны с состоянием изоляции электрических сетей, прежде всего величиной полного сопротивления изоляции относительно земли. Контроль этих параметров в процессе эксплуатации электрооборудования позволяет повысить эффективность и надежность работы электрооборудования. Освещается актуальная на сегодняшний день проблема выбора методов контроля параметров изоляции фаз сети относительно земли распределительных электрических сетей с изолированной нейтралью. В данной статье рассматриваются краткая характеристика СП «Зеравшан», разработанная для него система контроля изоляции и результаты проверки ее работоспособности на компьютерной модели. Исследования показали, что при номинальной нагрузке в сети погрешность определения полного сопротивления изоляции не превышает 20 %, что доказывает работоспособность предлагаемой системы контроля изоляции фаз сети относительно земли. Таким образом, внедрение в практику эксплуатации распределительных сетей разработанной системы контроля параметров изоляции позволит повысить надежность и безопасность электрооборудования.

Ключевые слова: карьерные распределительные сети, уровень изоляции, система контроля изоляции.

Введение

Обеспечение электробезопасности в условиях открытых горных работ зависит от решения ряда вопросов, среди которых одним из основных является контроль сопротивления изоляции фаз сети относительно земли.

В режиме эксплуатации на изоляцию электрооборудования воздействуют электрические, тепловые, механические и другие нагрузки. Они вызывают в изоляции сложные процессы, следствием которых является постоянное ухудшение свойств, именуемое старением [1–4]. Своевременное обнаружение участков сети с пониженным сопротивлением изоляции является одним из основных мероприятий, позволяющих предотвратить поражение электрическим током и поддержать бесперебойное электроснабжение [1, 5–7].

Кроме того, надежность работы электрооборудования и безопасность его эксплуатации непосредственно связаны с параметрами изоляции электрооборудования и прежде всего величиной емкости и активного сопротивления изоляции относительно земли [1, 6, 8–11]. Контроль этих параметров в процессе эксплуатации электрооборудования позволяет повысить эффективность работы электрооборудования, качество технологического процесса.

При эксплуатации распределительных электрических сетей основными требованиями, предъявляемыми к электрическим установкам, являются надежность снабжения потребителей электрической энергией и безопасность эксплуатации элек-

трооборудования. Безопасность эксплуатации электрооборудования в значительной мере определяется состоянием изоляции электрических сетей и установок [1, 3, 11, 12–17].

Повреждение электрической изоляции между проводом и землей или корпусом электроустановки может быть причиной поражения человека электрическим током при прикосновении к металлическим частям электроприемников, оказавшихся под напряжением в результате повреждения изоляции или в результате воздействия шагового напряжения.

Повреждение электрической изоляции между проводом и землей может быть причиной возникновения токов утечки на землю. Эти токи при определенных условиях могут вызвать воспламенение электрооборудования или взрыв во взрывоопасной среде.

Таким образом, для обеспечения пожаробезопасности, взрывобезопасности и электробезопасности необходимо поддерживать изоляцию сети на высоком уровне. Это требование может быть выполнено применением эффективных методов измерения и устройств контроля за состоянием изоляции.

Актуальность

Различают два вида контроля изоляции при эксплуатации электрооборудования: периодический и непрерывный. Классификация существующих способов периодического контроля изоляции без снятия рабочего напряжения с оценкой досто-

инств и недостатков была рассмотрена на основе литературных источников [11, 18–20].

Проведенные исследования в [1, 21–24] 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 [1]. Из них наиболее приемлемым с точки зрения безопасности и точности измерений, а также надежности электроснабжения является косвенный метод, основанный на подключении к одной из фаз дополнительной проводимости [11, 25–27].

С целью оценки влияния различных факторов на результаты измерения параметров изоляции косвенным методом нами была разработана компьютерная модель карьерной распределительной сети [1, 11, 28, 29], которая позволила получить данные для различных методик косвенного метода измерения параметров изоляции фаз сети относительно земли.

В работах [1, 11, 30–32] рассмотрен метод измерения активной и емкостной составляющих сопротивления изоляции фаз сети относительно земли при подключении к одной из фаз сети дополнительной емкости и измерении напряжений в этой сети. Проведенные исследования показали, что при несимметрии в сети, а также при изменении величин и характера нагрузки погрешность в определении параметров изоляции не превышает 8 % [1, 32].

Периодические проверки состояния изоляции и испытания повышенным напряжением не исключают возможности аварийных повреждений, следовательно, и поражений электрическим током. Чтобы уменьшить вероятность возникновения аварийных ситуаций, необходимо организовать непрерывный контроль изоляции в действующих установках, что особенно важно в сетях с изолированной нейтралью [6, 30].

С течением времени в процессе эксплуатации электроустановок карьеров горных предприятий наблюдаются существенные изменения схемы сетей по протяженности, количеству линий, составу потребителей и качеству изоляции работающих электроустановок. Эти изменения обусловлены действием оперативного персонала, воздействием защитных аппаратов на отдельные элементы электроустановки, старением изоляции и другими факторами. При таких изменениях протяженности сети и состава работающих потребителей изменяются и параметры сопротивления изоляции сети, т. е. полное сопротивление изоляции относительно земли и его активная и емкостная составляющие.

Кроме того, известно, что параметры изоляции электроустановок не являются стабильными во времени. Снижение изоляционных свойств из-

за старения материалов в условиях эксплуатации происходит не только под воздействием факторов окружающей среды, но и в результате электрических процессов, протекающих в электрических сетях [1, 15, 25].

Поэтому и сегодня актуальной является задача обеспечения контроля за состоянием изоляции и своевременное обнаружение и устранение дефектов изоляции до их перерастания в междуфазные и многоместные замыкания на землю. Выполнение этой задачи позволит предотвратить возникновение опасных ситуаций и обеспечить надлежащие условия электробезопасности при ведении горных работ.

Краткая характеристика совместного предприятия (СП) «Зеравшан»

ООО СП «Зеравшан» было создано в 1994 году. Предприятие принадлежит правительству Таджикистана совместно с горнопромышленной компанией «Цзыцзинь». Доля Таджикистана – 30 %, Китая – 70 %. Оно находится в Пенджикентском районе Согдийской области. Основной сырьевой базой являются месторождения «Джилау», «Таррор» и «Хирсхонаи северный». Руды добываются открытым способом. Полезные ископаемые – золото с попутным содержанием серебра [15, 33, 34].

ООО СП «Зеравшан» является типичным представителем золоторудных предприятий с открытой разработкой месторождений полезных ископаемых, основные технологические процессы которых механизированы и электрифицированы. Применение большого количества мощных электропотребителей, тяжелый режим их работы обуславливают жесткие требования, предъявляемые к созданию рациональных схем электроснабжения.

Описание распределительной сети карьера «Таррор»

Таррорское месторождение является самой крупной перспективной сырьевой базой ООО СП «Зеравшан». По нормам технологического проектирования электроприемники карьера по месту электроснабжения относятся к потребителям III категории.

Внешнее электроснабжение карьера осуществляется из ячейки 35 кВ, подстанции 110/35/10 кВ по воздушной линии электропередачи проводом АС-95/18 на металлических опорах с подключением ее к сооруженной на промплощадке карьера блочной комплектной передвижной трансформаторной подстанции Т-9-1х2500 напряжением 35/6 кВ.

Внутрикарьерные ВЛ-6 кВ выполнены проводом АС-70 и А-50 на деревянных передвижных опорах с железобетонными подножниками. Подключение высоковольтных потребителей карьера (экскаваторы и буровые станки) к внутрикарьерным ВЛ-6 кВ предусмотрено через передвижные приключательные пункты типа ЯКНО-6. Пере-

движные комплектные подстанции, расположенные в карьере, запитываются также от внутрикарьерных ВЛ-6 кВ.

Основными потребителями электроэнергии напряжением 6 кВ на карьере являются четыре буровых станка типа SWDA-165С, один экскаватор типа BONNY и водяные насосы. Силовая сеть выполнена кабелями КГ.

На карьере применяются передвижные комплектные трансформаторные подстанции напряжением 6/0, 4/0, 22 кВ с трансформаторами мощностью от 25 до 400 кВА. Для питания и защиты электрооборудования электропотребителей карьера применяются приключательные пункты типа ЯКНО-6. Кроме того, на карьере сооружаются стационарные подстанции напряжением 6/0, 4/0, 22 кВ для электроснабжения отдельных цехов и объектов поверхности, а также РП-6 кВ.

Система контроля изоляции

В настоящее время в карьерных распределительных сетях СП «Зеравшан» отсутствует какая-либо система непрерывного контроля изоляции. Однофазные замыкания на землю в указанных сетях вызывают срабатывание реле напряжения, включенного в обмотку, соединенную в разомкнутый треугольник, трансформаторов напряжения, установленных на питающих подстанциях. Сложившаяся ситуация не может не сказаться на уровне безопасности при ведении открытых горных работ и, в частности, на возникновении электроопасных ситуаций.

Выполненный в [35] анализ показал, что наиболее перспективными системами контроля параметров изоляции фаз сети относительно земли являются те, что основаны на измерении режимных параметров в электрической сети с изолированной нейтралью.

Для карьерных распределительных сетей СП «Зеравшан» нами предлагается система контроля изоляции (СКИ), теоретические основы построения которой изложены в [6].

Система контроля изоляции работает следующим образом.

С измерительных трансформаторов токов и напряжений, расположенных в начале и конце контролируемого участка сети и являющихся штатными элементами этого участка сети, измеренные значения токов и напряжений подаются в автоматическое устройство сбора данных, которое обрабатывает полученные данные (рис. 1, блок 1), а затем передает накопленную информацию по запросу блока 2 (см. рис. 1). На основании рассортированных данных производится автоматическое определение параметров изоляции сети относительно земли для каждого участка блоком 2. Текущее значение параметров изоляции выводится на дисплей (см. рис. 1). При возникновении однофазных замыканий на землю работа системы контроля изоляции блокируется.

Человек как элемент автоматизированной системы управления воспринимает отображаемую информацию и принимает решение о продолжении работы участка сети либо его отключении. На основании полученной информации о состоянии изоляции участка сети диспетчер принимает решение о продолжении его эксплуатации.

Для практического исследования разработанной системы контроля изоляции фаз участка сети относительно земли, а также для проверки ее работоспособности и получения дополнительных сведений о работе СКИ нами была рассмотрена моделирующая схема одной из линий с нагрузкой, принципиальная схема которой приведена на рис. 1.

Следует отметить, что основу составляет компьютерная модель, разработанная на кафедре

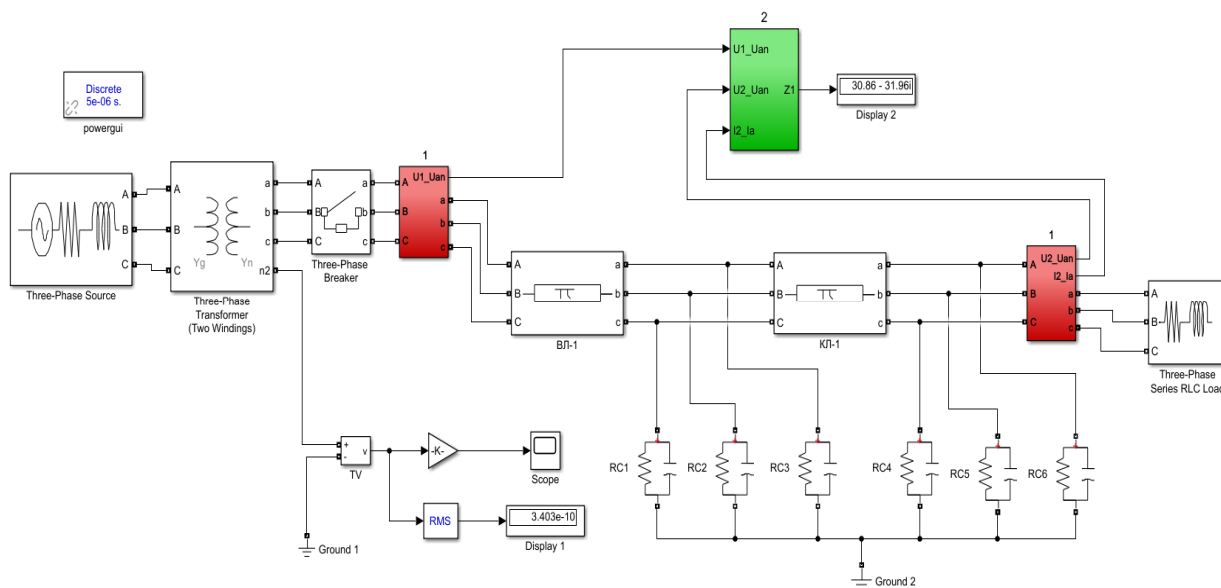


Рис. 1. Проверка работоспособности разработанной СКИ

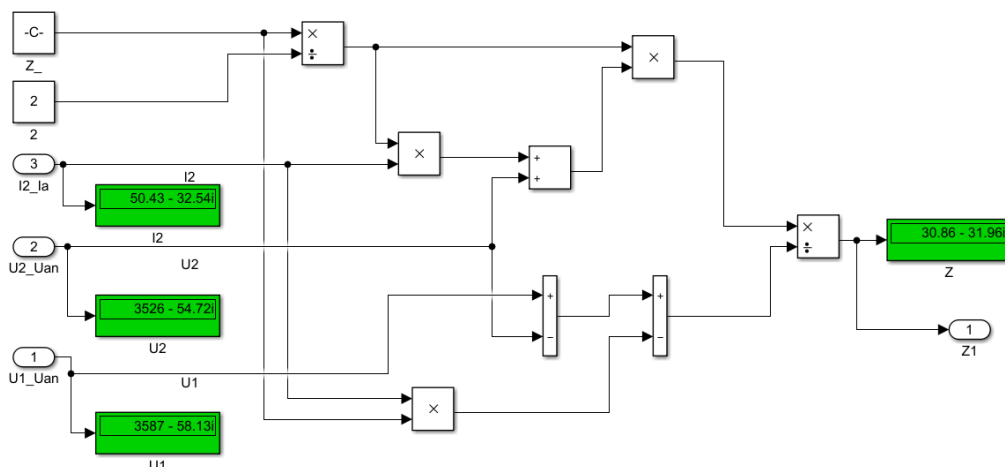


Рис. 2. Содержание блока 2

безопасности жизнедеятельности Южно-Уральского государственного университета [1, 11].

Модель содержит следующие элементы: источник трехфазного напряжения 35 кВ (Three-Phase Source); трехфазный двухобмоточный трансформатор (Three-Phase Transformer (Two Windings)); выключатель, установленный на главной понизительной подстанции (Three-Phase Breaker); воздушная и кабельная линия, отходящие от секции шин с подключенной нагрузкой (ВЛ-1, КЛ-1, Three-Phase Series RLC Load); активное и емкостное сопротивление изоляции фаз сети относительно земли (RC1–RC6); блок 1, определяющий комплексные величины необходимых для вычислений напряжений и токов в начале и конце каждой линии; блок 2, в котором рассчитывается полное сопротивление изоляции фаз сети относительно земли, значение которого выводится на дисплей (рис. 2).

Результаты исследований

Исследование погрешностей предложенной системы контроля изоляции параметров изоляции фаз сети относительно земли заключается в раскрытии зависимостей величин установленного полного сопротивления изоляции сети относительно земли от несимметрии в сети и различных величин и вида нагрузки.

Результаты исследований параметров изоляции фаз сети относительно земли на компьютерной модели приведены в таблице.

Из таблицы следует, что с уменьшением нагрузки в сети погрешность определения полного сопротивления изоляции фаз сети относительно земли увеличивается.

При номинальной нагрузке в сети (от 90 до 110 %) погрешность определения полного сопротивления изоляции не превышает 20 %. Следует отметить, что при минимальной нагрузке относительная

Результаты исследования работы системы контроля изоляции на компьютерной модели карьерной распределительной сети (Z_{ϕ} в модели 39,548 кОм)

| Нагрузка в сети, % | Активная нагрузка в сети | | Реактивная нагрузка в сети | | Полная нагрузка в сети | |
|--------------------|---------------------------|--------------|----------------------------|--------------|---------------------------|--------------|
| | Полученные при измерениях | Погрешность | Полученные при измерениях | Погрешность | Полученные при измерениях | Погрешность |
| | Z_{ϕ} , кОм | δ , % | Z_{ϕ} , кОм | δ , % | Z_{ϕ} , кОм | δ , % |
| 10 | 511 | -92,2 | 854,2 | -95,4 | 438,625 | -91 |
| 20 | 268 | -85,2 | 422,33 | -90,6 | 220,39 | -82 |
| 30 | 172,842 | -77,12 | 280,62 | -86 | 147,177 | -73,13 |
| 40 | 129,918 | -69,55 | 210,15 | -81,2 | 110,546 | -64,2 |
| 50 | 104 | -62 | 167,9 | -76,44 | 88,522 | -55,3 |
| 60 | 86,84 | -54,4 | 139,82 | -71,7 | 73,84 | -46,4 |
| 70 | 74,5 | -47 | 119,79 | -67 | 63,337 | -37,5 |
| 80 | 65,26 | -39,4 | 104,77 | -62,2 | 55,452 | -28,7 |
| 90 | 58,06 | -33 | 93,08 | -57,5 | 49,328 | -20 |
| 100 | 52,29 | -24,3 | 83,75 | -52,77 | 44,427 | -11 |
| 110 | 47,54 | -16,8 | 76,12 | -48 | 40,41 | -2,13 |
| 120 | 43,64 | -9,3 | 69,76 | -43,3 | 37,065 | 7 |
| 130 | 40,3 | -1,8 | 64,34 | -38,5 | 34,236 | 15,5 |
| 140 | 37,45 | 5,6 | 59,78 | -33,8 | 31,81 | 24,3 |

погрешность может достигать 90 %. Необходимо особо отметить, что наличие несимметрии в сети практически не влияет на результаты измерений.

Данные исследования на компьютерной модели участка сети показали работоспособность разработанной системы контроля изоляции фаз сети относительно земли.

Применение системы контроля изоляции позволит своевременно выявлять участок сети, на котором наметилась тенденция повреждения изоляции, и отключать этот участок от источника питания до возникновения аварийной ситуации, что дает возможность исключить воздействие на изоляцию всей электрически связанной сети перенапряжений, возникающих при ОЗЗ. Тем самым обеспечивается ликвидация указанных ранее причин снижения уровня изоляции.

Заключение

1. Для повышения безопасности и надежности электроснабжения горных предприятий со слож-

ным технологическим процессом, повышенной опасностью к пожарам и взрывам необходимо непрерывно контролировать сопротивления изоляции в сетях напряжением 6–10 кВ.

2. Система контроля изоляции позволяет селективно контролировать несколько десятков таких участков. Опрос участков выполняется циклически и при обнаружении снижения сопротивления изоляции какого-либо участка ниже установленного уровня соответствующая информация появляется на блоке отображения, при дальнейшем снижении система отключает аварийный участок.

3. Предлагаемая система контроля сопротивления изоляции сети относительно земли, состоящая из устройства контроля изоляции и устройства автоматического отключения отходящей линии со сниженной изоляцией фаз, обеспечивает минимальную возможность ложного срабатывания устройства контроля и минимальное время перерыва в электроснабжении.

Литература

1. Сидоров, А.И. Исследование погрешностей косвенного метода измерения параметров изоляции фаз сети относительно земли на имитационной модели / А.И. Сидоров, Х.Д. Бобоев // *Безопасность труда в промышленности*. – 2020. – № 9. – С. 24–29.
2. Moloi, K. Power Distribution System Fault Diagnostic Using Genetic Algorithm and Neural Network / K. Moloi, A.A. Yusuff // *2021 Southern African Universities Power Engineering Conference Robotics and Mechatronics/Pattern Recognition Association of South Africa (SAUPEC/RobMech/PRASA)*. – 2021. – P. 1–5. DOI: 10.1109/SAUPEC/RobMech/PRASA52254.2021.9377241
3. Perera N., Rajapakse A.D., Buchholzer T.E. Isolation of Faults in Distribution Networks with Distributed Generators / N. Perera, A.D. Rajapakse, T.E. Buchholzer // *IEEE Transactions on Power Delivery*. – Vol. 23, no. 4. – P. 2347–2355. DOI: 10.1109/TPWRD.2008.2002867
4. *Электробезопасность в горнодобывающей промышленности* / Л.В. Гладиллин, В.И. Щуцкий, Ю.Г. Бацежев, Н.И. Чеботаев. – М.: Недра, 1977. – 327 с.
5. Choudhary, S. Detection of transmission line faults in the presence of thyristor controlled reactor using discrete wavelet transform / S. Choudhary, O.P. Mahela, S.R. Ola // *2016 IEEE 7th Power India International Conference (PIICON)*. – 2016. – P. 1–5. DOI:10.1109/POWERI.2016.8077268
6. Сидоров, А.И. Теория и практика системного подхода к обеспечению электробезопасности на открытых горных работах: дис. ... д-ра техн. наук: 05.26.01 / Сидоров Александр Иванович. – Челябинск, 1993. – 444 с.
7. Лапченков, К.В. Определение параметров изоляции относительно земли с изолированной нейтралью косвенным методом / К.В. Лапченков, А.В. Дубовой, А.И. Сидоров // *Технологии, методы, средства: тез. докл. регион. науч.-техн. конф.* – Норильск: НИИИ, 1996. – С. 42.
8. Liang, M.Y. Insulation status mobile monitoring for power cable based on a novel fringing electric field method / M.Y. Liang, S.Y. Dian, T. Liu // *Lecture Notes in Electrical Engineering 138 LNEE*. – 2012. – P. 987–994.
9. *Электробезопасность на открытых горных работах* / В.И. Щуцкий, А.И. Сидоров, Ю.В. Ситчихин, Н.А. Бендяк. – М.: Недра, 1996. – 266 с.
10. *Электробезопасность на открытых горных работах* / В.И. Щуцкий, А.М. Маврицын, А.И. Сидоров, Ю.В. Ситчихин. – М.: Недра, 1983. – 192 с.
11. Исследование косвенных методов определения параметров изоляции на компьютерной модели / А.И. Сидоров, Х.Д. Бобоев, Ю.В. Медведева, Ш.С. Саъдуллозода // *Вестник Научного центра ВостНИИ по промышленной и экологической безопасности*. – 2021. – № 1. – С. 47–54.
12. Zhang, Q. Diagnosis of inhomogeneous insulation degradation in electric cables by distributed shunt conductance estimation / Q. Zhang, H. Tang // *Control Engineering Practice*. – 2013. – Vol. 21 (9). – P. 1195–1203. DOI: 10.1016/j.conengprac.2013.04.006
13. Krasnykh, A.A. Single-phase earth fault location in a branched distribution network 6–35 kV of overhead

lines / A.A. Krasnykh, I.L. Krivoshein, A.L. Kozlov // 2016 2nd International Conference on Industrial Engineering, Applications and Manufacturing (ICIEAM), Chelyabinsk. – 2016. – P. 1–4. DOI: 10.1109/ICIEAM.2016.7911013

14. Щуцкий, В.И. Метод определения параметров изоляции трехфазных электрических сетей с изолированной нейтралью напряжением выше 1000 В / В.И. Щуцкий, Б.Б. Утегулов // *Электробезопасность на открытых и подземных горных работах*. – Днепропетровск, 1982. – С. 77.

15. Бобоев, Х.Д. Параметры изоляции относительно земли в карьерных распределительных сетях горнодобывающих предприятий Республики Таджикистан / Х.Д. Бобоев, А.В. Богданов // *Вестник ЮУрГУ. Серия «Энергетика»*. – 2021. – Т. 21, № 1. – С. 29–37. DOI: 10.14529/power210103

16. Shinkarenko, G.V. Determination of the Dielectric Characteristics of Electric Equipment Insulation in the Presence of Utility-Frequency Interference Currents / G.V. Shinkarenko // *Power Technology and Engineering*. – 2016. – Vol. 50 (3). – P. 341–346. DOI: 10.1007/s10749-016-0709-4

17. Using ultraviolet imaging method to detect the external insulation faults of electric device / C.Ye Zang, H.H. Lei, S. He, X. Zhao // *Conference on Electrical Insulation and Dielectric Phenomena, CEIDP 5377769*. – 2009. – P. 26–30. DOI: 10.1109/CEIDP.2009.5377769

18. Utegulov, B.B. Analysis of the error of the developed method of determination the active conductivity reducing the insulation level between one phase of the network and ground, and insulation parameters in a non-symmetric network with isolated neutral with voltage above 1000 V / B.B. Utegulov // *International Conference “Actual Problem of Electromechanics and Electrotechnology” Institute of Physics Publishing*. – 2018. – P. 012–015.

19. *Электрификация открытых горных работ: учеб. для вузов* / С.А. Волотковский, В.И. Щуцкий, Н.И. Чеботаев. – М.: Недра, 1987. – 332 с.

20. Сидоров, А.И. *Основы электробезопасности* / А.И. Сидоров. – Челябинск: Изд-во ЮУрГУ, 2001. – 343 с.

21. Сидоров, А.И. Погрешность косвенного способа измерения емкостных проводимостей относительно земли в электрических сетях напряжением 6...10 кВ / А.И. Сидоров, О.А. Петров, И.М. Ушаков // *Электричество*, 1990. – № 10. – С. 33–36.

22. Косоротова, Ю.В. Разработка системы непрерывного контроля изоляции в распределительных электрических сетях 6–35 кВ / Ю.В. Косоротова // *Конкурс грантов студентов, аспирантов и молодых ученых вузов Челябинской области: сб. рефератов науч.-исследоват. работ студентов*. – Челябинск: Изд-во ЮУрГУ, 2002. – С. 67–68.

23. Бобоев, Х.Д. Общая характеристика сопротивления изоляции относительно земли в сетях напряжением 6–10 кВ Республики Таджикистан / Х.Д. Бобоев, А.М. Давлатов, Б.И. Косимов // *Электрооборудование: эксплуатация и ремонт*. – 2021. – № 10. – С. 51–54.

24. Сидоров, А.И. Непрерывный контроль изоляции в распределительных электрических сетях / А.И. Сидоров, В.И. Петуров, Ю.В. Косоротова // *Наука – Производство – Технологии – Экология: сб. материалов всерос. науч.-техн. конф.* – Киров: Изд-во ВятГУ, 2002. – Т. 2. – С. 32.

25. Липченков, К.В. Управление состоянием изоляции в распределительных электрических сетях: автореферат дис. ... канд. техн. наук: 05.26.01 / Липченков Константин Владимирович. – Челябинск, 1998. – 18 с.

26. Boboev, K. Determining Ground Insulation Parameters in Quarry Distribution Networks of Mining Companies in Tajikistan / K. Boboev, A. Sidorov, O. Khanzhina // *Proceedings – 2020 International Ural Conference on Electrical Power Engineering, UralCon 2020, Chelyabinsk, September 22–24, 2020*. – Chelyabinsk, 2020. – P. 344–348. DOI: 10.1109/UralCon49858.2020.9216311

27. Сидоров, А.И. Определение параметров сетей с изолированной нейтралью относительно земли / А.И. Сидоров, Н.А. Бендюк, С.Н. Степанов // *Контроль изоляции в распределительных сетях: тез. докл. науч.-практ. конф.* – Челябинск, 1992. – С. 12.

28. Boboev, K. Evaluation of Indirect Methods for Determining the Isolation Parameters of the Network Phases Relative to the Ground on a Computer Model / K. Boboev, A. Sidorov, A. Davlatov // *2021 International Ural Conference on Electrical Power Engineering (UralCon)*. – 2021. – P. 556–560. DOI: 10.1109/UralCon52005.2021.9559538

29. Сидоров, А.И. Имитационная модель карьерной распределительной сети напряжением 6 кВ / А.И. Сидоров, Х.Д. Бобоев // *Научный поиск: материалы двенадцатой научной конференции аспирантов и докторантов, Челябинск, 17–19 марта 2020 года*. – Челябинск: Издат. центр ЮУрГУ, 2020. – С. 18–23.

30. *Контроль изоляции в распределительных сетях: тез. докл. науч.-практ. конф.* – Челябинск: ЧГТУ, 1992. – 34 с.

31. Сидоров, А.И. Повышение надежности сельских электрических сетей с помощью устройства компенсации токов однофазного замыкания на землю: дис. ... канд. техн. наук: 05.09.03 / Сидоров Александр Иванович. – Челябинск, 1984. – 148 с.

32. Бобоев, Х.Д. Анализ и оценка косвенных методов определения параметров изоляции сетей напряжением выше 1000 В / Х.Д. Бобоев // *Электрооборудование: эксплуатация и ремонт*. – 2021. – № 10. – С. 46–50.

33. Сидоров, А.И. Характеристика горнодобывающих предприятий Республики Таджикистан / А.И. Сидоров, Х.Д. Бобоев // *Безопасность жизнедеятельности в третьем тысячелетии: сб. материалов VII Междунар. науч.-практ. конф., Челябинск, 03–04 октября 2019 года.* – Челябинск: Издат. центр ЮУрГУ, 2019. – С. 166–169.

34. Сидоров, А.И. Анализ методов исследования параметров изоляции электрических сетей напряжением 6 кВ / А.И. Сидоров, Х.Д. Бобоев // *Экология. Риск. Безопасность: материалы Всерос. науч.-практ. конф., Курган, 29–30 октября 2020 года.* – Курган: Курганский государственный университет, 2020. – С. 273–275.

35. Бобоев, Х.Д. Анализ методов контроля изоляции в карьерных сетях напряжением 6 кВ / Х.Д. Бобоев // *Техносферная безопасность в XXI веке: сб. науч. тр. магистрантов, аспирантов и молодых ученых, Иркутск, 26–27 ноября 2019 года.* – Иркутск: ИРНТУ, 2019. – С. 234–239.

Бобоев Хуршедшох Давлаталиевич, аспирант кафедры безопасности жизнедеятельности, Южно-Уральский государственный университет, г. Челябинск; Институт энергетики Таджикистана, г. Бохтар, Республика Таджикистан; khboboev-93@mail.ru.

Аверьянов Юрий Иванович, д-р техн. наук, профессор, профессор кафедры безопасности жизнедеятельности, Южно-Уральский государственный университет, г. Челябинск; aver541710@mail.ru.

Богданов Андрей Владимирович, д-р техн. наук, доцент, профессор кафедры безопасности жизнедеятельности, Южно-Уральский государственный университет, г. Челябинск; bav-64@mail.ru.

Кравчук Игорь Леонидович, д-р техн. наук, профессор, директор, Институт горного дела УрО РАН, филиал в г. Челябинске, г. Челябинск; kravchuk65@mail.ru.

Поступила в редакцию 1 декабря 2021 г.

DOI: 10.14529/power210407

ISOLATION CONTROL IN THE “TARROR” QUARRY DISTRIBUTION NETWORK

Kh.D. Boboev^{1,2}, khboboev-93@mail.ru,
Yu.I. Averyanov¹, aver541710@mail.ru,
A.V. Bogdanov¹, aver541710@mail.ru,
I.L. Kravchuk³, kravchuk65@mail.ru

¹ South Ural State University, Chelyabinsk, Russian Federation,

² Tajikistan Power Energy Institute, Bokhtar, Republic of Tajikistan,

³ Institute of Mining of the UB of RAS, Chelyabinsk branch, Chelyabinsk, Russian Federation

The reliability and operation safety of electrical equipment, as well as the level of electrical and fire safety at mining enterprises are directly related to the state of electrical networks insulation, and particularly the value of the total insulation resistance relative to the ground. Controlling these parameters in the electrical equipment operation allows increasing the efficiency and reliability of such equipment. The paper concentrates on the current problem of selecting methods to monitor the isolation parameters of the network phases relative to the ground in the distribution electric networks with an isolated neutral. It briefly describes “Zeravshan” joint venture, the isolation control system developed for it and the results of its computer model based operability tests. Studies have shown that at rated load in the network, the error in determining the total insulation resistance is under 20%, which proves the operability of the proposed network phase isolation monitoring system relative to the ground. Thus, the implementation of the developed insulation parameter monitoring system in distribution networks operation will improve the reliability and safety of power supply.

Keywords: quarry distribution networks, insulation level, insulation control system.

References

1. Sidorov A.I., Boboev KH.D. [Investigation of the errors of the indirect method of measuring the parameters of the isolation of the phases of the network relative to the ground on a simulation model]. *Occupational safety in industry*, 2020, no. 9, pp. 24–29. (in Russ.)

2. Moloi K., Yusuff A.A. Power Distribution System Fault Diagnostic Using Genetic Algorithm and Neural Network. *2021 Southern African Universities Power Engineering Conference/Robotics and Mechatronics/Pattern Recognition Association of South Africa (SAUPEC/RobMech/PRASA)*, 2021, pp. 1–5. DOI: 10.1109/SAUPEC/RobMech/PRASA52254.2021.9377241
3. Perera N., Rajapakse A.D., Buchholzer T.E. Isolation of Faults in Distribution Networks with Distributed Generators. *IEEE Transactions on Power Delivery*, vol. 23, no. 4, pp. 2347–2355. DOI: 10.1109/TPWRD.2008.2002867
4. Gladilin L.V., Shchutsky V.I., Batsezhev Yu.G., Chebotaev N.I. *Elektrobezopasnost' v gornodobyvayushchey promyshlennosti* [Electrical Safety in the Mining Industry]. Moscow, 1977. 327 p.
5. Choudhary S., Mahela O.P., Ola S.R. Detection of transmission line faults in the presence of thyristor controlled reactor using discrete wavelet transform. *2016 IEEE 7th Power India International Conference (PIICON)*, 2016, pp. 1–5. DOI: 10.1109/POWERI.2016.8077268
6. Sidorov A.I. *Teoriya i praktika sistemnogo podkhoda k obespecheniyu elektrobezopasnosti na otkrytykh gornykh rabotakh: dis. d-ra tekhn. nauk* [Theory and practice of a systematic approach to ensuring electrical safety in open pit mining. Doct. sci. diss.]. Chelyabinsk, 1993. 444 p.
7. Lapchenkov K.V., Dubovoy A.V., Sidorov A.I. [Determination of insulation parameters relative to earth with isolated neutral by an indirect method]. *Tekhnologii, metody, sredstva: Tez. dokl. regional'noy nauchno-tekhnicheskoy konferentsii* [Technologies, methods, means: Abstracts. report regional scientific and technical conference]. Norilsk, 1996, p. 42. (in Russ.)
8. Liang M.Y., Dian S.Y., Liu T. Insulation status mobile monitoring for power cable based on a novel fringing electric field method. *Lecture Notes in Electrical Engineering 138 LNEE*, 2012, pp. 987–994.
9. Shchutsky V.I., Sidorov A.I., Sitchikhin Yu.V., Bendyak N.A. *Elektrobezopasnost' na otkrytykh gornykh rabotakh* [Electrical safety in open pit mining]. Moscow, 1996. 266 p.
10. Shchutsky V.I., Mavritsyn A.M., Sidorov A.I., Sitchikhin Yu.V. *Elektrobezopasnost' na otkrytykh gornykh rabotakh* [Electrical safety in open pit mining]. Moscow, 1983. 192 p.
11. Sidorov A.I., Boboev Kh.D., Medvedeva Yu.V., Sadullozoda Sh.S. [Investigation of indirect methods for determining the insulation parameters on a computer model]. *Bulletin of the Eastern Scientific Research Institute Scientific Center for Industrial and Environmental Safety*, 2021, no. 1, pp. 47–54. (in Russ.)
12. Zhang Q., Tang H. Diagnosis of inhomogeneous insulation degradation in electric cables by distributed shunt conductance estimation. *Control Engineering Practice*, 2013, vol. 21(9), pp. 1195–1203. DOI: 10.1016/j.conengprac.2013.04.006
13. Krasnykh A.A., Krivoshein I.L., Kozlov A.L. Single-phase earth fault location in a branched distribution network 6–35 kV of overhead lines. *2016 2nd International Conference on Industrial Engineering, Applications and Manufacturing (ICIEAM)*, Chelyabinsk, 2016, pp. 1–4. DOI: 10.1109/ICIEAM.2016.7911013
14. Shchutsky V.I., Utegulov B.B. [Method for determining the insulation parameters of three-phase electrical networks with isolated neutral voltage above 1000 V]. *Elektrobezopasnost' na otkrytykh i podzemnykh gornykh rabotakh* [Electrical safety in open pit and underground mining]. Dnepropetrovsk, 1982, p. 77. (in Russ.)
15. Boboev Kh.D., Bogdanov A.V. Parameters of Insulation Relative to the Ground in Quarry Distribution Networks of Mining Enterprises in the Republic of Tajikistan. *Bulletin of the South Ural State University. Ser. Power Engineering*, 2021, vol. 21, no. 1, pp. 29–37. (in Russ.) DOI: 10.14529/power210103
16. 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, vol. 50 (3), pp. 341–346. DOI: 10.1007/s10749-016-0709-4
17. Zang C.Ye, Lei H.H., He S., Zhao X. Using ultraviolet imaging method to detect the external insulation faults of electric device. *Conference on Electrical Insulation and Dielectric Phenomena, CEIDP 5377769*, 2009, pp. 26–30. DOI: 10.1109/CEIDP.2009.5377769
18. Utegulov B. B. Analysis of the error of the developed method of determination the active conductivity reducing the insulation level between one phase of the network and ground, and insulation parameters in a non-symmetric network with isolated neutral with voltage above 1000 V. *International Conference "Actual Problem of Electromechanics and Electrotechnology" Institute of Physics Publishing*, 2018, pp. 012–015.
19. Volotkovsky S.A., Shchutsky V.I., Chebotaev N.I. *Elektrifikatsiya otkrytykh gornykh rabot: uchebnik dlya vuzov* [Electrification of Surface Mining: A University Textbook]. Moscow, 1987. 332 p.
20. Sidorov A.I. *Osnovy elektrobezopasnosti* [Basics of electrical safety]. Chelyabinsk, 2001. 343 p.
21. Sidorov A.I., Petrov O.A., Ushakov I.M. [The error of the indirect method of measuring the capacitive conductance relative to the ground in electrical networks with a voltage of 6...10 kV]. *Elektrichestvo* [Electricity]. 1990, no. 10, pp. 33–36. (in Russ.)
22. Kosorotova Yu.V. [Development of a system for continuous monitoring of insulation in electrical distribution networks 6–35 kV]. *Konkurs grantov studentov, aspirantov i molodykh uchenykh vuzov Chelyabinskoy oblasti: Sbornik referatov nauchno-issledovatel'skikh rabot studentov* [Grant competition for students, graduate

students and young scientists of universities of the Chelyabinsk region: Collection of abstracts of research works of students]. Chelyabinsk, 2002, pp. 67–68. (in Russ.)

23. Boboev Kh.D., Davlatov A.M., Kosimov B.I. [General characteristics of insulation resistance relative to earth in networks with a voltage of 6–10 kV of the Republic of Tajikistan]. *Electrical equipment: operation and repair*. 2021, no. 10, pp. 51–54. (in Russ.)

24. Sidorov A.I., Peturov V.I., Kosorotova Yu.V. [Continuous monitoring of insulation in electrical distribution networks]. *Nepreryvnyy kontrol' izolyatsii v raspredelitel'nykh elektricheskikh setyakh* [Science – Production – Technology – Ecology: Sat. materials of the All-Russian scientific and technical conference.]. Kirov, 2002, p. 32. (in Russ.)

25. Lapchenkov K.V. *Upravleniye sostoyaniyem izolyatsii v raspredelitel'nykh elektricheskikh setyakh: avtoref. dis. kand. tekhn. nauk* [Management of the state of insulation in electrical distribution networks. Abstract of cand. sci. diss.]. Chelyabinsk, 1998. 18 p.

26. Boboev K., Sidorov A., Khanzhina O. Determining Ground Insulation Parameters in Quarry Distribution Networks of Mining Companies in Tajikistan. *Proceedings – 2020 International Ural Conference on Electrical Power Engineering, UralCon 2020*, 2020, pp. 344–348. DOI 10.1109/UralCon49858.2020.9216311

27. Sidorov A.I., Bendyak N.A., Stepanov S.N. [Determination of the parameters of networks with isolated neutral relative to earth]. *Kontrol' izolyatsii v raspredelitel'nykh setyakh: tez. dokl. nauchn-prakt. konf* [Insulation control in distribution networks: abstracts. report scientific and practical. conf]. Chelyabinsk, 1992, p. 12. (in Russ.)

28. Boboev K., Sidorov A., Davlatov A. Evaluation of Indirect Methods for Determining the Isolation Parameters of the Network Phases Relative to the Ground on a Computer Model. *2021 International Ural Conference on Electrical Power Engineering (UralCon)*, 2021, pp. 556–560. DOI: 10.1109/UralCon52005.2021.9559538

29. Sidorov A.I., Boboev Kh.D. [Simulation model of a 6 kV quarry distribution network]. *Nauchnyy poisk: materialy dvenadtsatoy nauchnoy konferentsii aspirantov i doktorantov* [Scientific search: materials of the twelfth scientific conference of graduate students and doctoral students]. Chelyabinsk, 2020, pp. 18–23. (in Russ.)

30. *Insulation control in distribution networks: abstracts of reports. Scientific and practical conferences*. Chelyabinsk, 1992. 34 p.

31. Sidorov A.I. *Povysheniye nadezhnosti sel'skikh elektricheskikh setey s pomoshch'yu ustroystva kompensatsii tokov odnofaznogo zamykaniya na zemlyu: dis. kand. tekhn. nauk* [Improving the reliability of rural electrical networks using a device for compensating single-phase earth fault currents. Cand. sci. diss.]. Chelyabinsk, 1984. 148 p.

32. Boboev Kh.D. [Analysis and assessment of indirect methods for determining the insulation parameters of networks with voltages above 1000 V]. *Electrical equipment: operation and repair*. 2021, no. 10, pp. 46–50. (in Russ.)

33. Sidorov A.I., Boboev Kh.D. [Characteristics of mining enterprises of the Republic of Tajikistan]. *Sbornik materialov VII mezhdunarodnoy nauchno-prakticheskoy konferentsii "Bezopasnost' zhiznedeyatel'nosti v tret'yem tysyachelenii"* [Collection of materials of the VII international scientific and practical conference life Safety in the third Millennium]. Chelyabinsk, 2019, pp. 166–169. (in Russ.)

34. Sidorov A.I., Boboev Kh.D. [Analysis of research methods for the insulation parameters of electrical networks with a voltage of 6 kV]. *Ekologiya. Risk. bezopasnost': materialy Vserossiyskoy nauchno-prakticheskoy konferentsii, Kurgan* [Ecology. Risk. safety: materials of the All-Russian scientific-practical conference, Kurgan]. Kurgan, 2020, pp. 273–275. (in Russ.)

35. Boboev Kh.D. [Analysis of methods of control of isolation in career networks with voltage of 6 kV]. *Tekhnosfernaya bezopasnost' v XXI veke. Sbornik nauchnykh trudov magistrantov, aspirantov i molodykh uchennykh* [IX All-Russian scientific and practical conference “Technosphere security in the XXI century”]. Irkutsk, 2019, pp. 234–239. (in Russ.)

Received 1 December 2021

ОБРАЗЕЦ ЦИТИРОВАНИЯ

Организация контроля изоляции в распределительной сети карьера «Таррор» / Х.Д. Бобоев, Ю.И. Аверьянов, А.В. Богданов, И.Л. Кравчук // Вестник ЮУрГУ. Серия «Энергетика». – 2021. – Т. 21, № 4. – С. 57–65. DOI: 10.14529/power210407

FOR CITATION

Boboev Kh.D., Averyanov Yu.I., Bogdanov A.V., Kravchuk I.L. Isolation Control in the “Tarror” Quarry Distribution Network. *Bulletin of the South Ural State University. Ser. Power Engineering*, 2021, vol. 21, no. 4, pp. 57–65. (in Russ.) DOI: 10.14529/power210407