# Электроэнергетика

УДК 658.382 DOI: 10.14529/power210103

# ПАРАМЕТРЫ ИЗОЛЯЦИИ ОТНОСИТЕЛЬНО ЗЕМЛИ В КАРЬЕРНЫХ РАСПРЕДЕЛИТЕЛЬНЫХ СЕТЯХ ГОРНОДОБЫВАЮЩИХ ПРЕДПРИЯТИЙ РЕСПУБЛИКИ ТАДЖИКИСТАН

***Х.Д. Бобоев[1], А.В. Богданов[2]***

*[1] Южно-Уральский государственный университет, г. Челябинск, Россия,*
*[2] Южно-Уральский государственный аграрный университет, г. Челябинск, Россия*

В статье рассматривается краткая характеристика горнодобывающих предприятий Республики Таджикистан, уровень изоляции карьерных распределительных сетей напряжением 6 кВ. Указаны параметры изоляции сети относительно земли, которые были определены расчетным путем на основании методик, разработанных на кафедре «Безопасность жизнедеятельности» Южно-Уральского государственного университета. Выполненные расчеты изоляции относительно земли в карьерных распределительных электрических сетях горнодобывающих предприятий Республики Таджикистан показали, что величина емкостных токов однофазного замыкания на землю лежит в пределах от 0,1 до 0,37 А и зависит от уровня развития предприятия. Активные сопротивления изоляции фаз сети относительно земли находятся в пределах от 18 до 112 кОм с учетом изменения коэффициента успокоения сети. Емкость сети относительно земли лежит в диапазоне от 0,09 до 0,34 мкФ. Полученные данные необходимы для выбора средства обеспечения безопасности и оценки уровня безопасности.

*Ключевые слова: карьерные распределительные сети, уровень изоляции, активное и емкостное сопротивления изоляции сети относительно земли.*

**Введение**

Надежность и безопасность сетей с изолированной нейтралью напряжением 6 кВ во многом зависит от сопротивления изоляции фаз сети относительно земли. Основными параметрами, характеризующими состояние изоляции, являются полное $Z_{из}$, активное $R_{из}$, емкостное $C_{ИЗ}$ и омическое сопротивления изоляции $R_{ом}$ [1]. В распределительных электрических сетях с изолированной нейтралью сопротивление изоляции определяет величину тока однофазного замыкания на землю.

Одним из важных параметров в обеспечении безопасной эксплуатации является уровень активного сопротивления изоляции относительно земли. При исправном электрооборудовании оно велико, но может снижаться при появлении слабых мест в изоляции.

Емкостное сопротивление изоляции карьерной распределительной сети относительно земли в основном определяется ее протяженностью. Следует отметить, что емкость имеется и в сети с поврежденной изоляцией [2].

В процессе эксплуатации горнодобывающей техники изоляция подвергается следующим воздействиям: электрическим, тепловым, механическим, окружающей среды и т. п. [3, 4]. Все вместе эти факторы вызывают старение изоляции [5].

**Актуальность**

Карьерные распределительные сети (КРС) горнодобывающих предприятий Республики Таджикистан (РТ) эксплуатируются в тяжелых климатических условиях: высокие летние температуры, пониженное атмосферное давления, повышенная солнечная радиация и т. д., которые оказывают существенное влияние на состояние изоляции. Кроме того, оборудование самих сетей, электрифицированных горных машин подвергается значительным механическим воздействиям при проведении взрывных работ, при перемещении фронта работ и т. п.

Анализ повреждений изоляции показывает, что в большинстве случаев в питающих линиях до 80 % этих повреждений происходят в виде однофазного замыкания на землю [6–8]. Повреждение изоляции и в воздушных, и в кабельных сетях вызываются, как правило, электрическими и механическими воздействиями.

Уровень изоляции сети относительно земли, несомненно, влияет на вероятность возникновения аварийных режимов, которые впоследствии приводят к электропоражениям [9].

Значение изоляции в предотвращении электропоражений, вызванных появлением напряжения на металлических нетоковедущих частях, подтверждается числом электротравм, которое на открытых горных работах колеблется от 7,6 до 16 % [10],

а для подземного комплекса угольных шахт и рудников соответственно 15,6 и 26,6 % [11].

При этом необходимо подчеркнуть, что разработка способов и методов определения параметров изоляции сетей относительно земли с изолированной нейтралью на горнодобывающих предприятиях остается актуальной.

**Постановка задачи исследования**

Изоляция в электроустановках решает три задачи: обеспечивает надежность, электробезопасность и пожаробезопасность. В [9] отмечается, что электрическая изоляция является весьма ненадежной. Ее влияние на отключение потребителей и перерывы в электроснабжении достигает 40–60 %. Из-за повреждений изоляции до 40 % коммутационных аппаратов и до 90 % электрических машин выходят из строя [10–13]. Поэтому необходимо определение параметров изоляции для получения достоверной информации о ее влиянии на надежность и безопасность электроснабжения [14].

В распределительных сетях карьеров, угольных разрезов междуфазные короткие замыкания приходятся на воздушные части этих сетей, а однофазные замыкания на землю – на питающие кабели экскаваторов [15].

Поддержание на должном уровне изоляции может быть обеспечено ее непрерывным контролем. Для создания системы контроля изоляции необходимо знать фактические параметры изоляции сети относительно земли. Однако ни в одном нормативном документе, например в ПУЭ [16], не приводятся какие-либо нормативные значения для распределительных электрических сетей напряжением выше 1000 В.

В связи с этим ставится следующая задача исследования:

На основании данных по ряду карьерных распределительных сетей Республики Таджикистан выполнить исследование параметров изоляции фаз сети относительно земли. Определение параметров изоляции фаз сети относительно земли провести с помощью методик, разработанных на кафедре «БЖД» ЮУрГУ.

**Краткая характеристика горнодобывающих предприятий РТ**

Республика Таджикистан имеет свои уникальные запасы полезных ископаемых и сырья, включая ртуть, золото, уголь, серебро, нефть, газ, каменную соль, свинец, сурьму, цинк и др. В настоящее время разведано более 600 месторождений и эксплуатируются около 100 месторождений, на которых добываются до 50 видов минерального сырья: топливные, рудные и нерудные ископаемые [17].

Согласно данным Министерства промышленности и новых технологий РТ, в настоящее время работают 302 предприятия, которые получили лицензию на добычу полезных ископаемых. В табл. 1 приведены количество предприятий и виды добываемых ими полезных ископаемых в РТ.

Крупнейшими предприятиями Таджикистана, осуществляющими деятельность в горнодобывающей отрасли, являются компании ООО «Совместное предприятие (СП) «Зеравшан», ООО «Совместное таджикско-канадское предприятие (СТКП) «Апрелевка», Государственное казенное республиканское предприятие (ГКРП) «Тиллои Тоджик», ООО «Таджикско-американское совместное предприятие (ТАСП) «Анзоб», ОАО «Адрасманский ГОК», ООО «ТВЕА Душанбе горная промышленность», ООО «Пакруд», ООО «Таджикско-Китайская горнопромышленная компания» и другие.

ООО «СП «Зеравшан» было создано в 1994 году. Предприятие принадлежит правительству Таджикистана совместно с горнопромышленной компанией «Цзыцзинь». Доля Таджикистана – 25 %, Китая – 75 %. Оно находится в Пенджикентском районе Согдийской области. Основной сырьевой базой являются месторождения «Джилау», «Тарор» и «Хирсхонаи шимоли». Руды добываются открытым способом. Полезные ископаемые – золото с попутным серебром [18, 19].

**Таблица 1**

**Количество горнодобывающих предприятий РТ и добываемые ими полезные ископаемые**

| Количество предприятий | Полезные ископаемые |
|---|---|
| 13 | Драгоценные металлы |
| 17 | Цветные металлы |
| 27 | Каменный гипс и известняк |
| 77 | Суглинок |
| 6 | Кварцевый песок |
| 96 | ПГС (песчано-гравийная смесь) |
| 26 | Облицовочные камни |
| 11 | Соль |
| 11 | Уголь |
| 18 | Нефть и газ |

ГКРП «Тиллои Тоджик» по добыче и производству золота находится в Хатлонской области РТ. Основной сырьевой базой являются россыпные месторождения «Дондушкан», «Сафеддара», «Суони», «Себи копа» и ряд мелких месторождений. В настоящее время добыча осуществляется открытым способом с применением буровзрывных работ. Компания на 100 % находится в собственности РТ.

На базе Кайраккумского рудника 3 апреля 1996 года было создано СТКП «Апрелевка». Доля РТ – 51 %, канадской компании Gulf – 49 %. Предприятие расположено в Согдийской области на севере Таджикистана. Основной сырьевой базой являются месторождения «Апрелевка», «Кызыл-Чеку», «Бургунда», «Иккижелон» и ряд мелких месторождений. Добыча осуществляется открытым способом. Полезные ископаемые – золото с попутным серебром [18].

ОАО «Адрасманский ГОК» расположено в Согдийской области в городе Гулистон. На данной момент предприятие на 100 % находится в казахстанской компании «Казинвестминерак». Основной сырьевой базой является месторождение восточного и западного Конимансура. Добыча осуществляется открытым способом. Полезные ископаемые – свинец и серебро.

**Результаты исследования параметров изоляции в ряде карьерных распределительных электрических сетей РТ**

В табл. 2 [18, 19] показаны характеристики ряда КРС с указанием марки и сечения, длины линий, температуры окружающий среды и основных нагрузок.

При эксплуатации электрической сети значения составляющих сопротивления изоляции фаз относительно земли могут изменяться во времени:

– активные – за счет старения, нагрева, увлажнения, загрязнения, механического повреждения, касания фазы человеком и т. п.;

– емкостные – в силу изменения геометрических параметров составляющих линий сети.

Для расчета параметров изоляции относительно земли используем схему замещения (рис. 1).

На рис. 1 приняты следующие обозначения:

$U_A$, $U_B$, $U_C$ – фазные напряжение соответственно фаз А, В и С;

$R_A$, $R_B$, $R_C$ – активные сопротивления изоляции фаз сети относительно земли;

$C_A$, $C_B$, $C_C$ – емкости фаз сети относительно земли;

0 – потенциальная точка нейтрали сети;

01 – потенциал, который принят равным потенциалу земли.

Определим уровень сопротивления изоляции относительно земли КРС на основе исходных данных о схемах электроснабжения предприятий РТ (ООО «СП «Зеравшан», ООО «СТКП «Апрелевка», ГКРП «Тиллои Тоджик», ОАО «Такобский ГОК» и шахтах «Фон-Ягноб»).

На основе данных о протяженности воздушных и кабельных линий определен уровень изоляции в КРС ряда горнодобывающих предприятий РТ. Вначале рассчитывается ожидаемый емкост-

**Таблица 2**

**Характеристика КРС ряда горнодобывающих предприятий Республики Таджикистан**

| Наименование предприятий | Тип и длина линий, км | Марка и сечение фазных проводников, мм$^2$ | Средняя температура, °С | Основные нагрузки |
|---|---|---|---|---|
| ГКРП «Тиллои Тоджик» | ВЛ – 16,44 | 4×А50 | от –3 до +35 | ЭКГ-5А, СБШ, Насос – ЦНС, Освещение карьера |
| | КЛ – 0,9 | КГ3×35+1×10 | | |
| ООО «СП «Зеравшан» | ВЛ – 10,6 | 4×А50 | от –1 до +35 | ЭКГ-5А, БС – Sunward, Освещение карьера |
| | КЛ – 1,1 | КГ3×35+1×10 | | |
| ООО «СТКП «Апрелевка» | ВЛ – 17,67 | 4×А50 | от –6 до +30 | ЭКГ-5А, СБШ, СБУ, Дробилка – ШКД, Насос – ЦНС, Компрессор – ВП, Освещение карьера |
| | КЛ – 1,95 | КГ3×35+1×10 | | |
| ОАО «Такобский ГОК» | ВЛ – 2,5 | 4×А50 | от –5 до +20 | ШАХТА |
| | КЛ – 0,014 | КГ3×35+1×10 | | |
| Шахта «Фон-Ягноб» | ВЛ – 0,4 | 4×А50 | от –2 до +27 | ШАХТА |
| | КЛ – 0,055 | КГ3×35+1×10 | | |

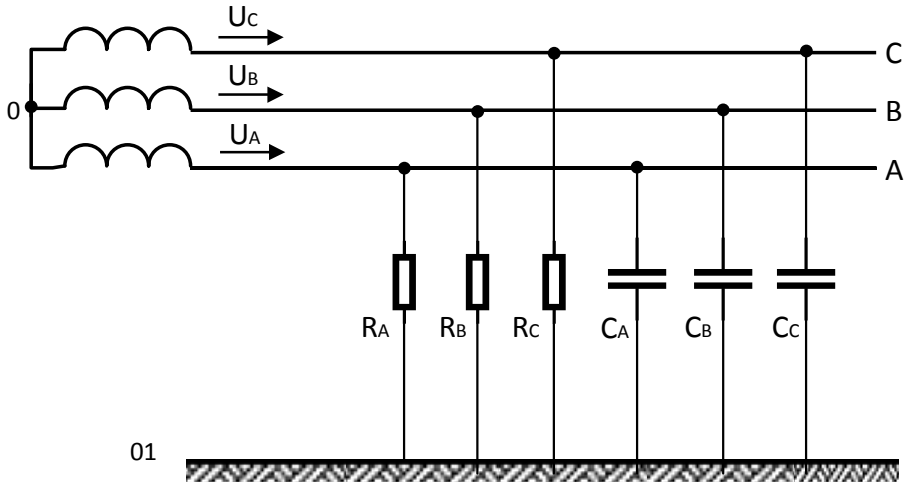



**Рис. 1. Схема замещения трехфазной электрической сети**

ный ток однофазного замыкания на землю по формуле [20, 21]

$$I_C = \frac{U_л}{350} \cdot (35 l_к + l_в), \quad (1)$$

где $U_л$ – линейное напряжение сети, кВ; $l_к$, $l_в$ – суммарная длина электрически связанных кабельных и воздушных линий, км.

Определяем суммарную емкость сети относительно земли по формуле

$$C_\Sigma = \frac{I \cdot 10^6}{\omega \cdot U}, \quad (2)$$

здесь ω – круговая частота напряжения сети, $с^{-1}$.

Параметры сопротивления изоляции сети относительно земли определятся:

$$X_C = \frac{1}{\omega C_\Sigma}; \quad (3)$$

$$R = \frac{1}{d \omega C_\Sigma}, \quad (4)$$

где $X_C$ – реактивное сопротивление изоляции фаз сети относительно земли; $R$ – активное сопротивление изоляции фаз сети относительно земли; $d$ – коэффициент успокоения сети, который зависит от вида сети. Для сетей, состоящих преимущественно из кабельных линий, $d$ = 0,03…0,05, для сетей, состоящих преимущественно из воздушных линий, $d$ = 0,3…0,5 [22].

Уровни сопротивления изоляции в ряде КРС предприятий РТ представлены в табл. 3 [19].

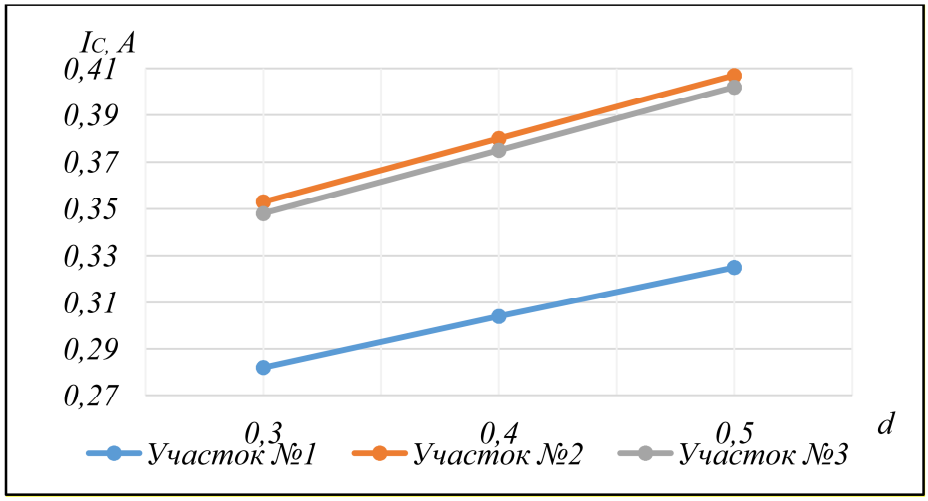
На рис. 2 приведена зависимость емкостного тока от коэффициента успокоения в ряде КРС предприятий РТ.

На рис. 3 приведена зависимость емкостного тока от емкостного сопротивления изоляции относительно земли.

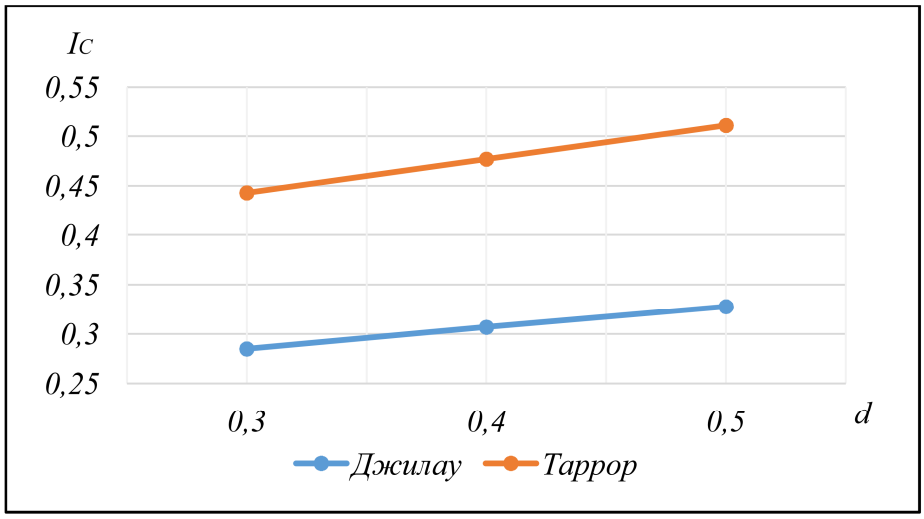
**Таблица 3**

**Параметры изоляции относительно земли в ряде КРС РТ**

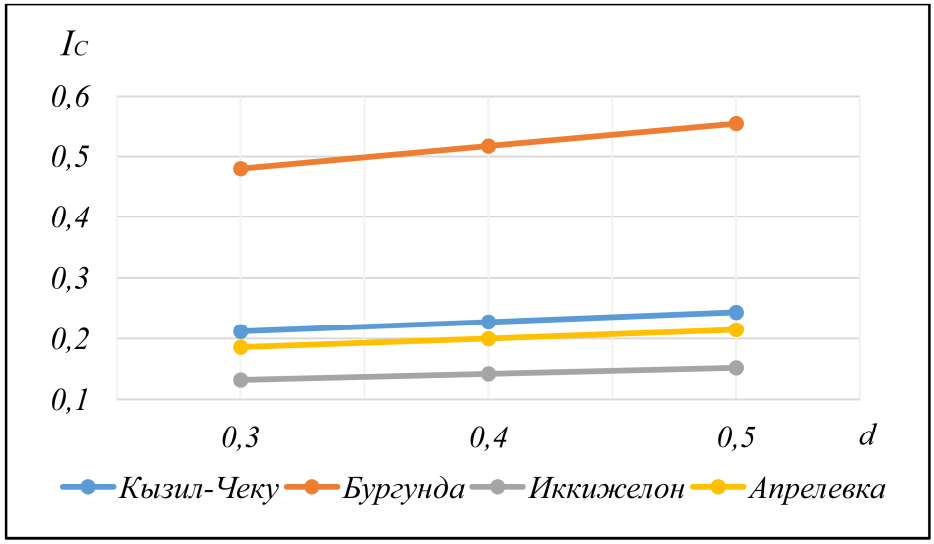
| Месторождение | Значения параметров изоляции фазы сети относительно земли | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | $U_л$, кВ | $I_C$, А | $R$, Ом, при $d$, равном | | | $C_\Sigma$, мкФ | $X_{C\Sigma}$, Ом |
| | | | 0,3 | 0,4 | 0,5 | | |
| ГКРП «Тиллои Тоджик» | | | | | | | |
| Участок № 1 | 6 | 0,222 | 53 078,55 | 39 808,91 | 31 847,13 | 0,2 | 15 923,57 |
| Участок № 2 | 6 | 0,271 | 42 462,84 | 31 847,13 | 25 477,7 | 0,25 | 12 738,85 |
| Участок № 3 | 6 | 0,27 | 42 978,58 | 32 233,94 | 25 787,15 | 0,247 | 12 893,57 |
| ООО «СП «Зеравшан» | | | | | | | |
| Джилау | 6 | 0,22 | 52 553,02 | 39 414,77 | 31 531,81 | 0,202 | 15 765,9 |
| Таррор | 6 | 0,342 | 33 807,99 | 25 355,99 | 20 284,79 | 0,314 | 10 142,39 |
| ООО «СТКП «Апрелевка» | | | | | | | |
| Кызил-Чеку | 6 | 0,167 | 70 771,4 | 53 078,55 | 42 462,84 | 0,15 | 21 231,42 |
| Бургунда | 6 | 0,368 | 31 222,68 | 23 417,01 | 18 733,61 | 0,34 | 9366,8 |
| Иккижелон | 6 | 0,103 | 112 933,1 | 84 699,82 | 67 759,85 | 0,094 | 33 879,93 |
| Апрелевка | 6 | 0,144 | 80 422,05 | 60 316,54 | 48 253,23 | 0,132 | 24 126,61 |




а)




б)




в)

**Рис. 2. Зависимость емкостного тока от коэффициента успокоения для ГКРП «Тиллои Тоджик» (а), ООО «СП «Зерафшан» (б), ООО «СТКП «Апрелевка» (в)**

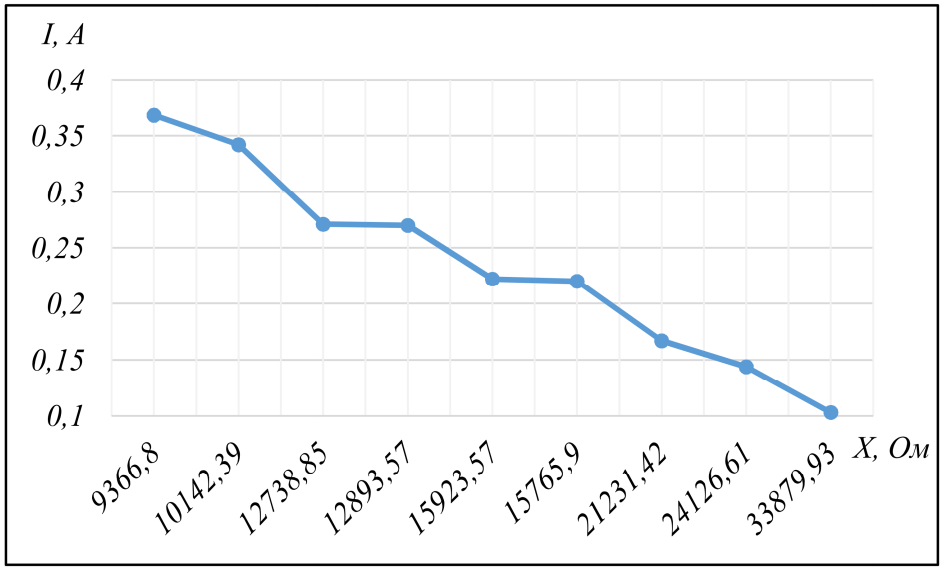



**Рис. 3. Зависимость емкостного тока от емкостного сопротивления изоляции относительно земли**

**Заключение**

1. Выполненные расчеты показали, что величина емкостных токов однофазного замыкания на землю на предприятиях, занятых добычей драгметаллов, лежит в пределах от 0,1 до 0,37 А и зависит от степени развития предприятия.

2. Активные сопротивления изоляции сети относительно земли изменяется от 18 до 112 кОм с учетом изменения коэффициента успокоения сети.

3. Емкость сети относительно земли лежит в диапазоне от 0,09 до 0,34 мкФ.

4. Полученные значения являются приблизительными, поскольку не учитывают высоковольтное оборудование (высоковольтные двигатели, силовые трансформатора, ошиновку на подстанциях и т. д.). Поэтому необходимо провести инструментальные замеры в указанных сетях, чтобы определиться с уставками для устройств защиты от замыканий на землю.

***Литература***

*1. Электробезопасность в горнодобывающей промышленности / Л.В. Гладилин, В.И. Щуцкий, Ю.Г. Бацежев, Н.И. Чеботаев. – М.: Недра, 1977. – 327 с.*

*2. Щуцкий, В.И. Защитное отключение электроустановок потребителей / В.И. Щуцкий, О.Н. Белюстин, А.А. Бурлаков. – М.: Энергоатомиздат, 1994. – 160 с.*

*3. Электробезопасность на открытых горных работах / В.И. Щуцкий, А.И. Сидоров, Ю.В. Ситчихин, Н.А. Бендяк. – М. Недра, 1996. – 266 с.*

*4. Техника высоких напряжений: Изоляция и перенапряжения в электрических системах / В.В. Базуткин, В.П. Ларинов, Ю.С. Пинталь и др. – 3-е изд. переработ. и доп. – М.: Энергоатомиздат, 1986. – 464 с.*

*5. Бендяк, Н.А. Анализ повреждений изоляции в распределительных электрических сетях / Н.А. Бендяк, Е.Б. Петрашва, М.Н. Хомутова, К.В. Лапченков // Безопасность жизнедеятельности: сб. науч. тр. – Челябинск: ЧГТУ, 1986. – С. 10–16.*

*6. 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, pp. 1–4. DOI: 10.1109/ICIEAM.2016.7911013*

*7. Хакимзянов, Э.Ф. Измерительный орган сопротивления, выявляющий двойное замыкание на землю в распределительных сетях 6–35 кВ / Э.Ф. Хакимзянов, Р.Г. Мустафин // Релейная защита и автоматизация. – 2014. – № 03. – С. 29–35.*

*8. Шуин, В.А. Централизованное направленное устройство сигнализации однофазных замыканий на землю с исследованием переходных процессов / В.А. Шуин, А.Г. Гусенков, А.И. Дроздов // Электрические станции. – 1993. – № 9. – С. 53–57.*

*9. Утегулов, Б.Б. Разработка способа определения активной проводимости, снижающей уровень изоляции между одной из фаз сети и землей в электроустановках напряжением 6–20 кВ / Б.Б. Утеглов // Вестник науки Казахского агротехнического университета им. С. Сейфуллина. – 2015. – № 4 (87). – С. 107–111.*

*10. Электробезопасность на открытых горных работах / В.И. Щуцкий, А.М. Маврицын, А.И. Сидоров, Ю.В. Ситчихин. – М.: Недра, 1983. – 192 с.*

*11. Кутепов, А.Г. Анализ электротравматизма на предприятиях горной отрасли / А.Г. Кутепов, А.В. Ляхомский // Горный информационно-аналитический бюллетень. – 2018. – № S7. – С. 3–9.*

*12. Бендяк, Н.А. Принципы управления состоянием изоляции в электрических комплексах/ Н.А. Бендяк, А.И. Сидоров, К.В. Лапченков // Безопасность жизнедеятельности: сб. науч. тр. – Челябинск: ЧГТУ, 1996. – С. 7–10.*

*13. Самойлович, И.С. Режимы нейтрали электрических сетей карьеров / И.С. Самойлович. – М.: Недра, 1976. – 175 с.*

*14. Федоров, А.А. Электроснабжение промышленных предприятий / А.А. Федоров, Э.М. Ристхейн. – М.: Энергия, 1981. – 360 с.*

*15. Добровольская, Л.А. Автоматический контроль состояния изоляции при мониторинге низковольтной распределительной сети / А.Л. Добровольская, А.Е. Черевко // Вестник Приазовского государственного технического университета. Серия: Технические науки. – 2016. – № 3. – С. 141–146.*

*16. Правила устройства электроустановок / Главгосэнергонадзор России. – 7-е изд., перераб. и доп. – М.: ЗАО «Энергосервис», 2003.*

*17. 2-й Национальный отчет о реализации инициативы прозрачности деятельности добывающих отраслей в Республике Таджикистан за 2015–2016 гг. – Душанбе, 2017.*

*18. Сидоров, А.И. Общая характеристика горнодобывающих предприятий Республики Таджикистан / А.И. Сидоров, Х.Д. Бобоев // Сборник материалов VII международной научно-практический конференции «Безопасность жизнедеятельности в третьем тысячелетии». – Челябинск, 2019. – С. 166–169.*

*19. 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, 2019. – С. 234–239.*

*20. Маврицын, А.М. Электроснабжение угольных разрезов / А.М. Маврицын, О.А. Петров. – М.: Недра, 1977. – 184 с.*

*21. Петров, О.А. Методика измерения емкостных токов однофазного замыкания на землю в электрических сетях напряжением 6–10 кВ / О.А. Петров, А.И. Сидоров, А.А. Сельницин. – Челябинск,1990. – 24 с.*

*22. Петров, О.А. Режимы нейтрали электрических сетей систем электроснабжения промышленных предприятий / О.А. Петров, А.М. Ершов. – Челябинск: ЧПИ, 1990. – 67 с.*

**Бобоев Хуршедшох Давлаталиевич**, аспирант кафедры «Безопасность жизнедеятельности», Южно-Уральский государственный университет, г. Челябинск; khboboev-93@mail.ru.

**Богданов Андрей Владимирович**, д-р техн. наук, профессор, кафедра «Технический сервис машин, оборудования и безопасность жизнедеятельности», Южно-Уральский государственный аграрный университет, г. Челябинск; bav-64@mail.ru.

***Поступила в редакцию 6 ноября 2019 г.***

---

**DOI: 10.14529/power210103**

# PARAMETERS OF INSULATION RELATIVE TO THE GROUND IN QUARRY DISTRIBUTION NETWORKS OF MINING ENTERPRISES IN THE REPUBLIC OF TAJIKISTAN

***Kh.D. Boboev***[1], *khboboev-93@mail.ru,*
***A.V. Bogdanov***[2], *bav-64@mail.ru*
[1] *South Ural State University, Chelyabinsk, Russian Federation,*
[2] *South Ural State Agrarian University, Chelyabinsk, Russian Federation*

The article discusses a brief description of the mining enterprises of the Republic of Tajikistan, the insulation level of 6 kV quarry distribution networks. The parameters of network insulation relative to the ground are indicated as determined on the basis of the methods developed at the Department of Life Safety, South Ural State University. The performed calculations of insulation relative to the ground in quarry electrical distribution networks of mining enterprises in the Republic of Tajikistan showed that the value of the capacitive currents of

a single-phase earth fault lies in the 0.1–0.37 A range and depends on the level of development of the enterprise. Considering the change in the network quiescence coefficient, the active insulation resistances of the network phases relative to the ground are in the 18–112 kΩ range. The network capacity relative to the ground is in the 0.09–0.34 μF range. The data obtained is necessary for selecting a security tool and evaluating the level of security.

*Keywords: quarry distribution networks, insulation level, active and capacitive resistance of the network's phase insulation relative to the ground.*

**References**

1. 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.

2. Shchutsky V.I., Belyustin O.N., Burlakov A.A. *Zashchitnoye otklyucheniye elektroustanovok potrebiteley* [Protective disconnection of electrical installations of consumers]. Moscow, Energoatomizdat Publ., 1994. 160 p.

3. 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.

4. Bazutkin V.V., Larinov V.P., Pintal Yu.S. et al. *Tekhnika vysokikh napryazheniy: Izolyatsiya i perenapryazheniya v elektricheskikh sistemakh* [High voltage engineering: Isolation and overvoltage in electrical systems], third edition. Moscow, Energoatomizdat Publ., 1986. 464 p.

5. Bendyak N.A., Petrashva E.B., Khomutova M.N., Lapchenkov K.V. [Analysis of insulation damage in distribution electrical networks]. *Bezopasnost' zhiznedeyatel'nosti: sbornik nauchnykh trudov* [Life safety: collection of scientific papers]. Chelyabinsk, ChSTU Publ., 1996, pp. 10–16. (in Russ.)

6. 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

7. Khakimzyanov E.F., Mustafin R.G. [Measuring body of resistance detecting double earth fault in distribution networks of 6–35 kV]. *Relay protection and automation-2014*, 2014, no. 3, pp. 29–35. (in Russ.)

8. Shuin V.A., Gusenkov A.G., Drozdov A.I. [Centralized directional device for signaling single-phase earth faults with the study of transients]. *Power plant*, 1993, no. 9, pp. 53–57. (in Russ.)

9. Utegulov B.B. [Development of a method for determining active conductivity that reduces the level of isolation between one of the network phases and the ground in electrical installations with a voltage of 6-20 kV]. *Bulletin of science of the Kazakh agrotechnical University named after S. Seifullin*, 2015, pp. 107–111. (in Russ.)

10. Shchutsky V.I., Mavritsin A.M., Sidorov A.I., Sitchikhin Yu.V. *Elektrobezopasnost' na otkrytykh gornykh rabotakh* [Electrical safety in open-pit mining]. Moscow, 1983. 192 p.

11. Kutepov A.G., Lakomski A.V. [Analysis of electrical accidents in the mining industry]. *Mining information-analytical Bulletin*, 2018, no. S7, pp. 3–9. (in Russ.)

12. Bendyak N.A., Sidorov A.I., Lapchenkov K.V. [Principles of managing the state of insulation in electrical complexes]. *Bezopasnost' zhiznedeyatel'nosti: sbornik nauchnykh trudov* [Life safety: collection of scientific papers]. Chelyabinsk, ChSTU Publ., 1996 pp. 7–10. (in Russ.)

13. Samoilovich I.S. *Printsipy upravleniya sostoyaniyem izolyatsii v elektricheskikh kompleksakh* [Modes of neutralization of electric networks of quarries]. Moscow, 1976. 175 p.

14. Fedorov A.A., Risthein E.M. *Elektrosnabzheniye promyshlennykh predpriyatiy* [Power Supply of industrial enterprises]. Moscow, Energiya Publ., 1981. 360 p.

15. Dobrovolskaya L.A. [Automatic control of the insulation state when monitoring a low-voltage distribution network]. *Bulletin of the Priazovsky state technical University. Series: technical Sciences*, 2016, no. 3, pp. 141–146. (in Russ.)

16. *Pravila ustroystva elektroustanovok / Glavgos·energonadzor Rossi* [Rules for electrical installations / Glavgosenergonadzor Rossi]. 7th ed., Moscow, ZAO "Energoservice" Publ., 2003.

17. *2-y Natsional'nyy ot·shet o realizatsii initsiativy prozrachnosti deyatel'nosti dobyvayushchikh otrasley v Respublike Tadzhikistan za 2015–2016 gg.* [2nd National report on the implementation of the extractive industries transparency initiative in the Republic of Tajikistan for 2015–2016]. Dushanbe, 2017.

18. Sidorov A.I., Boboev Kh.D. [Characteristics of mining enterprises of the Republic of Tajikistan]. *Sbornik materialov VII mezhdunarodnoy nauchno-prakticheskiy 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.)

19. 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 uchenykh* [IX All-Russian scientific and practical conference "Technosphere security in the XXI century"]. Irkutsk, 2019, pp. 234–239. (in Russ.)

20. Mavritsyn A.M., Petrov O.A. *Elektrosnabzheniye ugol'nykh razrezov* [Power Supply of coal mines]. Moscow, Nedra Publ., 1977. 184 p.

21. Petrov O.A., Sidorov A.I., Selnitsin A.A. *Metodika izmereniya emkostnykh tokov odnofaznogo zamykaniya na zemlyu v elektricheskikh setyakh napryazheniyem 6–10 kV* [Method of measuring capacitance currents of single-phase earth fault in electric networks with a voltage of 6–10 kV]. Chelyabinsk, 1990. 24 p.

22. Petrov O.A., Ershov A.M. *Rezhimy neytrali elektricheskikh setey sistem elektrosnabzheniya promyshlennykh predpriyatiy* [Modes of neutral electric networks of power supply systems of industrial enterprises]. Chelyabinsk, 1990. 67 p.

***Received 6 November 2019***

**ОБРАЗЕЦ ЦИТИРОВАНИЯ**

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

**FOR CITATION**

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