

УДК 658.8:622.8:621.31

Харитонов А. А., ст. преп.,  
Мельник О. Е., канд. техн. наук,  
Пархоменко Р. О., ст. преп.,  
Ляхова Н. Н., аспирант.

### АНАЛИЗ ЭФФЕКТИВНОСТИ ПРИМЕНЕНИЯ СРЕДСТВ ЭЛЕКТРОБЕЗОПАСНОСТИ В ЭЛЕКТРОУСТАНОВКАХ ДО 1000 ВОЛЬТ ЖЕЛЕЗОРУДНЫХ ШАХТ

*Аннотация.* Проведены натурные испытания электрических сетей 0,4 кВ, эксплуатируемых на шахтах, на соответствие функциональных характеристик аппаратуры защитного отключения нормативам по электробезопасности и исследование влияния ЭДС выбега электродвигателей на условия обеспечения электробезопасности. Выполнены измерения кратковременных токов утечки и количества электричества через тело человека при имитации его прикосновения в действующих электроустановках шахт и сняты экспериментально зависимости кратковременного тока от емкости сети.

**Ключевые слова:** эффективность, защитное отключение, электробезопасность, компенсирующая способность, реле утечки, кратковременный ток.

Kharitonov A. A., Senior Lecturer  
Melnyk O. E., Ph.D.,  
Parkhomenko R. O., Senior Lecturer  
Lyakhova N. N., postgraduate student

### ANALYSIS OF THE EFFICIENCY USE OF ELECTRICAL SAFETY IN ELECTROINSTALLATIONS TO 1000 VOLTS IRON ORE MINES

*Abstract.* Conducted field tests of electric networks 0.4 kV, operated the mines, for compliance of the functional characteristics of the equipment residual current regulations on electrical safety and the study of the influence of the EMF of the coasting motor in terms of electrical safety. Performed short-term measurements of leakage current and quantity of electricity through the human body in imitation of him touching existing electrical systems in mines and removed experimentally. bridge short-term power from the network capacity.

**Keywords:** efficiency, safety shutdown, electrical, compensating capacity, leakage relays, short-time current.

Харитонов О. О., ст. викл.,  
Мельник О. Е., канд. техн. наук,  
Пархоменко Р. О., ст. викл.,  
Ляхова Н. М., аспирант.

### АНАЛІЗ ЕФЕКТИВНОСТІ ЗАСТОСУВАННЯ ЗАСОБІВ ЕЛЕКТРОБЕЗПЕКИ В ЕЛЕКТРОУСТАНОВКАХ ДО 1000 ВОЛЬТ ЗАЛІЗОРУДНИХ ШАХТ

*Анотація.* Проведені натурні випробування електричних мереж 0,4 кВ, що експлуатуються на шахтах, на відповідність функціональних характеристик апаратури захисного відключення нормативам з електробезпеки та дослідження впливу ЕРС вибігу електродвигунів на умови забезпечення електробезпеки. Виконані вимірювання короточасних струмів витіку і кількості електрики через тіло людини при імітації його дотику в діючих електроустановках шахт і зняті експериментально залежності короточасного струму від ємності мережі.

**Ключові слова:** ефективність, захисне відключення, електробезпека, компенсуюча здатність, реле витіку, короточасний струм.

**Введение.** Для устранения основной причины возникновения электротравматизма применяются системы защитного отключения поэтому вопросы эффективности применения средств электробезопасности в электроустановках напряжением до 1000 В на железорудных шахтах Кривбасса требуют пристального внимания.

**Актуальность.** Системы защитного отключения выполняют такие функции, как: селекцию измеряемых сигналов, используемых для контроля сопротивления изоляции и

утечки в находящейся под напряжением сети на фоне силового тока ее нагрузки и сигналов помех; автоматическое отключение защищаемой сети при снижении сопротивления изоляции до критического значения или возникновения утечки через недопустимое сопротивление; блокировка возможности включения сети при сопротивлении изоляции или утечки ниже допустимых значений; предотвращения действия в отключенной сети ЭДС выбега электродвигателей и подавление их самоиндукции; автоматическое по-

второе включение сети после отключения ее защитой. Основным функциональным элементом этих систем является защита от утечек тока. Она обеспечивает контроль предельно допустимых сопротивлений изоляции сети и утечек тока и производит ее отключение.

Исследование эффективности применения устройств защиты от утечек тока в шахтных сетях актуально, так электротравматизм на железорудных шахтах характеризуется не столько абсолютным количеством случаев в общем производственном травматизме (1,5 – 3) %, сколько тяжестью их исхода – электротравмы со смертельным исходом составляют уже порядка (15 – 25) % от числа смертельных производственных травм [1].

**Цель исследований.** Анализ основных причин, снижающих эффективность применения аппаратов защиты в электроустановках до 1000 В железорудных шахт.

**Материалы исследований.** Эффективность применения аппаратуры защиты от утечек зависит от трех показателей: 1) соответствие ее защитной характеристики нормативам по электробезопасности [2]; 2) ее способность сохранять указанное соответствие под воздействием дестабилизирующих факторов производства, именуемая функциональной надежностью [3]; 3) аппаратная надежность реле утечки и коммутационного аппарата сети [4].

Одной из основных причин, снижающих эффективность применения аппаратов защиты, является их относительно невысокая аппаратная надежность [5,6].

Аппаратные и функциональные отказы аппаратуры защиты происходят и под воздействием факторов, определяемых погодноклиматическими и эксплуатационными условиями.

Обзор литературных источников показал, что в контактных сетях электровозной откатки рудных шахт аппаратура защиты от утечек не применялась и даже не испытывалась [7,8].

Натурными испытаниями электрических сетей 0,4 кВ рудных шахт Кривбасса на соответствие функциональных характеристик аппаратуры защитного отключения норма-

тивам по электробезопасности предусматривалось определение статистических показателей надежности работы реле утечки, эксплуатируемых в шахтах и исследование влияния ЭДС выбега электродвигателей на условия обеспечения электробезопасности.

Сведения о ремонтах реле утечки были собраны на 5 шахтах и после обработки данных установлены показатели надежности работы реле утечки типов АЗАК – 380, САЗУ – 2, БЗП – 1, УАКИ – 127 и РУВ - 2 – 380. Анализ данных показал, что лучшие показатели надежности имеют реле утечки типов БЗП-1 и УАКИ-127. Одинаковые, но меньшие показатели надежности у реле утечки типов УАКИ-380 и САЗУ-2.

Проведены измерения кратковременных токов утечки и количества электричества через тело человека при имитации его прикосновения в действующих электроустановках 380 В шахт Кривбасса [9,10]. Некоторые опыты проводились при отключенных реле утечки для оценки эффективности их компенсирующих устройств, испытанных в предыдущих по счету опытах. Для более точной оценки компенсирующей способности существующих реле утечки были сняты экспериментально зависимости кратковременного тока от емкости сети рис. 1.

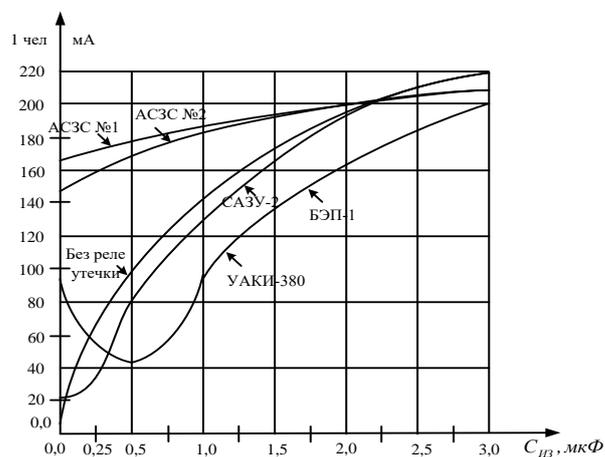


Рис. 1. Графики зависимостей кратковременного тока через тело человека от емкости изоляции сети и внутреннего сопротивления схемы различных реле утечки.

Из полученных данных и графиков на рис. 1. сделан вывод, что компенсирующая способность реле утечки УАКИ-380 и БЗП-1

обеспечивает норматив по кратковременному току 100 мА. Реле утечки САЗУ-2 не содержит компенсирующего дросселя и не обеспечивает норматив по кратковременному току на 50%. Селективная защита от утечек тока АСЗС-2 по принципу работы не может содержать компенсирующие дроссели и должна иметь низкое внутреннее сопротивление схемы для стабилизации уровня утечек тока от емкости сети. Превышение норматива по кратковременному току у защиты АСЗС-2 составляет 80%.

Обобщающая статистическая оценка параметров ЭДС выбега электродвигателей и эффективности применения существующих типов реле утечки по данным натурных экспериментов показала, что полное время затухания ЭДС выбега электродвигателей в сетях 380 В колеблется в пределах 0,7-2,6 с, а среднее его значение равно 1,58 с. Превышение собственного времени срабатывания нормативного значения зафиксировано у реле утечки САЗУ-2 и блоков селективной защиты АСЗС-2, установленных на вводе подстанции. Однако, если у реле утечки САЗУ-2 это объясняется неисправностью, то у АСЗС-2 - принципом работы, требующим для достижения продольной селективности введения выдержки времени второй ступени порядка 0,1 с. Поэтому эффективность существующих реле утечки по ограничению кратковременных токов до нормативных величин в реальных сетях шахт нельзя признать достаточной. Фактические токи составляют 106 – 177% от норматива, при среднем значении – 133,5%.

Для оценки степени опасности поражения за счет ЭДС выбега электродвигателей исследовано эквивалентное увеличение времени протекания кратковременного тока в фазе напряжения сети при фиктивном переносе в эту фазу количества электричества от действия ЭДС. При обобщении количества электричества увеличение интегрального времени протекания кратковременного тока, формируемого напряжением сети, составило от 0,022 до 0,147 с. при среднем его значении 0,0884 с. При нормируемом количестве электричества за весь период протекания тока 50 мА·с, времени отключения сети 0,2 с., величине кратковременного тока 100 мА до-

пустимое время действия ЭДС выбега электродвигателей составляет 0,3 с.

Это значительно больше приведенных выше расчетных данных об интегральном времени действия ЭДС на человека при величине кратковременного тока, сформированном в фазе действия напряжения сети. Статистическая оценка эффективности применения существующих реле утечки по ограничению количества электричества через человека показала, что при существующих параметрах изоляции шахтных сетей и нормируемом времени защитного отключения реле утечки общесетевого действия норматив по количеству электричества обеспечивают со значительным запасом: 52 - 66% от норматива, при среднем значении 36,5%. Селективная защита АСЗС-2 из-за искусственных утечек через ее схему норматив по количеству электричества не обеспечивает – 102%.

Произведя сопоставление эффективности существующих реле утечки по ограничению величин кратковременного тока и количества электричества через человека, можно заключить, что эти нормативы между собой не увязаны. Так защита АСЗС имеет выполнение нормативов: 180% по кратковременному току и 102% по количеству электричества. Такое несоответствие нормативов объясняется неоправданным ужесточением норматива по кратковременному току со 160 до 100 мА, произошедшее при введении ГОСТ 22929-78. Из полученных данных проведенных испытаний можно заключить, что в электрических сетях 380 В рудных шахт решающим условием обеспечения электробезопасности является осуществление их защитного отключения за время не более 0,2 с. Осуществление же компенсации емкости сети при существующих ее значениях является дополнительной мерой, создающей запас надежности в ограничении количества через человека до норматива - не более 50 мА·с.

#### **Выводы.**

1. Надежность применяемых средств электробезопасности на горных работах крайне низкая. Имеет место смертельный травматизм по причине поврежденных реле утечки.

2. Фактические показатели вероятности отказа и наработки на отказ на горнорудных шахтах не достигают у существующих реле утечки, заданных при разработке и соответственно составляют для: САЗУ-2 равными 0,23 и 4,35 года; УАКИ-380 = 0,25 и 4,0 года; БЗП-1 = 0,18 и 5,6 года.

3. В условиях эксплуатации горнорудных производств их функциональные характеристики обеспечивают нормативы электробезопасности следующим образом: кратковременный ток через тело человека повсеместно превышает нормируемое значение в 100 мА, а пределы его изменения и среднее значение в процентах к нормативу соответственно равны (106-177) % и 133,5%. Для групп реле утечки данные о кратковременном токе соответственно составляют: а) снабженных компенсирующим устройством (106-113) % и 109%; б) без компенсации, но с индуктивным фильтром присоединения (119-141) % и 126,2%; в) с искусственным увеличением активных утечек через схему (174-177) % и 176%. Главным условием электробезопасности электрических сетей шахт является выполнение норматива по времени защитного отключения.

### Список использованной литературы

1. Синчук О. Н., Гузов Э. С., Ликаренко А. Г., Животовский А. Г. Электробезопасность рудничной откатки [Текст] / О. Н. Синчук, Э. С. Гузов, А. Г. Ликаренко, А. Г. Животовский // – Киев, Техника : – 2009. – 188 с.

2. Харитонов А. А., Ликаренко А. Г., Мельник О. Е., Ляхова Н. Н. Разработка схемы для контроля сопротивлений утечек адаптированной к изменениям параметров изоляции сети [Текст] / А. А. Харитонов, А. Г. Ликаренко, О. Е. Мельник, Н. Н. Ляхова // Восточно-Европейский журнал передовых технологий. – Харьков: – 2014. – Вып. 5/8(71). – С. 4 - 8.

3. Харитонов А. А., Ликаренко А. Г., Мельник О. Е., Ляхова Н. Н. Усовершенствование методики расчета вентильной схемы контроля изоляции ЗВ с двухобмоточным измерительным реле [Текст] / А. А.

Харитонов, А. Г. Ликаренко, О. Е. Мельник, Н. Н. Ляхова // Журнал «Технологический аудит и резервы производства». – Харьков : – 2014. – Вып. 5/1(19). – С. 17 - 21.

4. Колосюк В. П. Защитное отключение рудничных электроустановок [Текст] / В. П. Колосюк // – Москва, Недра : – 1980. – 463 с.

5. Штепан Ф. Устройства защитного отключения, управляемые дифференциальным током / под ред. В. И. Мозырского. [Текст] / Ф. Штепан // – Прага: – 2001. – 81 с.

6. Цапенко Е.Ф., Шкудин С.З. Электробезопасность на горных предприятиях [Текст] / Е. Ф. Цапенко, С. З. Шкудин // – Москва, МГГУ : – 2008. – 103 с.

7. Зеркалов Д. В. Охорона праці в галузі: Загальні вимоги: навчальний посібник [Текст] / Д. В. Зеркалов // – Київ, Основа : – 2011. – 551 с.

8. Гладылин, Л. В. Электробезопасность в горнодобывающей промышленности [Текст] / Л. В. Гладылин, В. И. Щуцкий, Ю. Г. Бацежев, Н. И. Чеботарев // – Москва, Недра: – 1997. – 327 с.

9. Ляхомский А. В., Синчук О. Н., Харитонов А. А. Физиологическая характеристика горнорабочих железорудных шахт как элемента эрготехнической системы обеспечения электробезопасности [Текст] / А.В. Ляхомский, О. Н. Синчук, А. А. Харитонов // Вестник Криворожского технического университета. – Кривой Рог, КНУ : – 2013. – Вып. 35. – С. 152 - 156.

10. Bondarenko E. A. Determination technique of overload capacity of contact voltage and currents [Текст] / Bondarenko E. A. // European Science and Technology: materials of the 2dn International scientific conference, Wiesbaden, Germany, May 9th-10th, 2012. – Vol. II «Bildungszentrum Rodnik e. V.» – P. 189–193.

Получено 14.04.2016

### References

1. Sinchuk, O. N., Guзов, E. S., Likarenko, A. G., Zhivotovsky, A. G. Elektrobezopasnost' rudnichnoy otkatki [Electrical safety at mine haulage], (2009), Kiev, Technika, 188p. (In Russian)

2. Kharitonov, A.A., Likarenko, A.G., Melnyk, O.E., Lyakhova, N.N. Razrabotka skhemy dlya kontrolya soprotivleniy utechek adaptirovanoy k izmeneniyam parametrov izolyatsii seti [Development of a scheme for monitoring resistance-tiulenii leaks adaptirovano to changes in parameters of network isolation], (2014), *Vostochno-Evropeiskii Zhurnal Peredovykh Tekhnologii*. Kharkov, Ukraine, Vol. 5/8(71). pp. 4 – 8. (In Russian).

3. Kharitonov, A.A., Likarenko, A.G., Melnyk, O.E., Lyakhova, N.N. Uovershenstvovanie metodiki rascheta ventil'noy skhemy kontrolya izolyatsii 3V s dvukhobmotochnym izmeritel'nyim rele [Improved method for calculating the isolation gate control circuit 3B, a two-winding relay measuring], (2014), *Zhurnal «Tekhnologicheskii audit i rezervy proizvodstva»*. Kharkov, Ukraine, Vol. 5/1(19). pp. 17 – 21 (In Russian).

4. Kolosyuk, B. N. Zashchitnoe otklyuchenie rudnichnykh elektroustanovok [Protective shutdown of the mine electrical systems], (1980), Moscow: Nedra, 463p. (In Russian).

5. Shtepan, F.; In: Mozyr, V. I. Ustroystva zashchitnogo otklyucheniya, upravlyaemye differentsial'nyim tokom [Protective cutout Device, controlled by the differential current], (2001), Prague, 81p. (In Russian), url: <http://proektant.org/books/0006-ELE-2000.pdf>.

6. Tsapenko, E. F., Shkundin, S. Z. Elektrobezopasnost' na gornykh predpriyatiyakh [Electrical safety at mines], (2008), Izdatelstvo MNMU, Moscow, 103p. (In Russian)

7. Zerkalov D.V. Okhorona pratsi v galuzi: Zagal'ni vimogi: navchal'niy posibnik [Occupational safety and health in the sphere: Labor protection: general requirements], (2011), Kiev, 551p. (In Ukrainian)

8. Gladilin, L. V., Shchutskiy, V. I., Batsezhev, YU. G., Chebotarev, N. I. Elektrobezopasnost' v gornodobyvayushchey promyshlennosti [Electrical safety in the mining industry], (1997), Moscow, Nedra, 327p. (In Russian)

9. Lyakhomsky A.V., Sinchuk O. N., Kharitonov A.A. Fiziologicheskaya kharakteristika gornorabochikh zhelezorudnykh shakht kak elementa ergotekhnicheskoy sistemy obespecheniya elektrobezopasnosti [Physiological characteristic of miners at ore mines as a part of

the system for maintaining electrical safety], (2013), *Vesnik Krivorozhskogo tekhnicheskogo universiteta*. Krivoy Rog, Ukraine, Vol. 35, pp. 152-156. (In Russian)

10. Bondarenko E. A. Determination technique of overload capacity of contact voltage and currents. European Science and Technology: materials of the 2dn International scientific conference, (2012), Vol. II, Wiesbaden, Germany. «Bildungszentrum Rodnik e. V.», 189-193. (In German)



Харитонов Александр Александрович, Ст. пр. каф. ЭСЭМ, ГВУЗ «Криворожский национальный университет», Украина, г. Кривой Рог ул. XXII партсъезда, 11, E-mail: Ckariton@i.ua



Мельник Ольга Евгеньевна, к. т. н., доцент каф. ЭСЭМ, ГВУЗ «Криворожский национальный университет», Украина, г. Кривой Рог ул. XXII партсъезда, 11, E-mail: blondinka17@ukr.net



Пархоменко Роман Александрович, ст. пр. каф. ЭСЭМ, ГВУЗ «Криворожский национальный университет», Украина, г. Кривой Рог ул. XXII партсъезда, 11, E-mail: parchom@i.ua



Ляхова Надежда Николаевна, аспирантка каф. АЭСПТ ГВУЗ «Криворожский национальный университет», Украина, г. Кривой Рог ул. XXII партсъезда, 11, E-mail: [Sania.ss2013@yandex.ua](mailto:Sania.ss2013@yandex.ua)