

**Б.Б. Утегулов, А.Б. Утегулов,  
А.Б. Уахитова, Б.М. Бегентаев**

УДК 621.311

*Павлодарский государственный университет  
им. С. Торайгырова*

## **РАЗРАБОТКА МЕРОПРИЯТИЙ ПО ПОВЫШЕНИЮ УРОВНЯ ЭЛЕКТРОБЕЗОПАСНОСТИ В СЕТЯХ НАПРЯЖЕНИЕМ ДО 1000 В ШАХТЫ «КАПИТАЛЬНАЯ» АО «МАЙКАИНЗОЛОТО»**

*Осы жұмыста электр қондырғыларының қолдағанда электр қауіпсіздік деңгейі жақсарулары мақсатпен оңашалау кедергілері артуымен және төмендеуге жанасу күштенулері және адамның техникалық шаралары өңделген және негізделген.*

*In work designed and motivated technical action on increasing a resistance to insulation and reducing a voltage of touch and step, is hereunder ensured growing of level electrical safety at usages electrical installation.*

В практике эксплуатации электрических сетей с изолированной нейтралью напряжением до 1000 В необходимо знать величины параметров изоляции, которые необходимы при разработке технических мероприятий по обеспечению безопасности производства работ в электроустановках при добыче полезных ископаемых подземным способом.

Для реализации указанных выше требований необходимо периодически производить контроль параметров изоляции, так как именно ухудшение изоляции электрической сети чаще всего приводит к поражению рабочего персонала электрическим током, возникновению пожара, повреждению электрооборудования.

При добыче полезных ископаемых подземным способом вопросы безопасности в шахтных электрических сетях напряжением до 1000 В рассматривались относительно параметров изоляции, которые характеризуются количеством подключенного электрооборудования и протяженности кабельных линий. Однако влияние отклонения напряжения на величину тока ОЗЗ в шахтных электрических сетях не рассматривались.

Повышение напряжения приводит к снижению срока службы электрооборудования и увеличению вероятности аварий в электроустановках, так при величине напряжения  $1,1 \cdot U_{ном}$  срок службы ламп накаливания снижается в 4 раза.

Следует особо отметить, что при повышении напряжения на 1 % потребляемая двигателем реактивная мощность увеличивается на  $3 \div 7$  %. Снижается эффективность работы привода и сети.

Поэтому, ГОСТ 13109-97 устанавливает нормально и предельно допустимые значения установившегося отклонения напряжения на зажимах электроприёмников в пределах соответственно  $\delta U_{унон} = \pm 5\%$  и  $\delta U_{упред} = \pm 10\%$  номинального напряжения сети.

Для регулирования напряжения в шахтной сети напряжением до 1000 В необходимо использовать мощные синхронные электродвигатели вентиляторов. Для этого необходимо использовать тиристорные коммутаторы возбудители синхронных электродвигателей. **Тиристорные коммутаторы** возбудители синхронных электродвигателей обеспечивают оптимального регулирования тока возбуждения для поддержания постоянства  $\cos \phi$ , напряжения на шинах, от которых питается синхронный двигатель.

Для повышения уровня состояния изоляции, и тем самым снижения величины тока однофазного замыкания на землю необходимо произвести исследования отклонения напряжения в питаемой распределительной сети напряжением до 1000 В.

Для разработки мероприятий обеспечения условий электробезопасности в сети с изолированной нейтралью напряжением до 1000 В в шахтах проведены исследования состояния изоляции.

Исследования состояния изоляции в шахте «Капитальная» АО «Майкаинзолото» производилось на основе разработанного метода определения параметров изоляции в трехфазной симметричной электрической сети с изолированной нейтралью напряжением до 1000 В, заключающегося в измерении величин модулей линейного напряжения и напряжения фаз А, В, С относительно земли после подключения активной дополнительной проводимости между фазой А электрической сети и землей.

Исследование состояния изоляции в шахте «Капитальная» АО «Майкаинзолото» разработанным методом, основанного на измерении величин модулей напряжений на вторичной обмотке силового шахтного трансформатора, показало, что отклонения напряжения при эксплуатации шахтного электрооборудования находятся в превышении норм качества напряжения согласно ГОСТ 13109-07. Где согласно ГОСТ 13109-97 превышение напряжения на зажимах электроприемников не должно превышать 10 %.

Результаты исследования отклонения напряжения на подстанциях УПП-1 УПП-2 в шахте «Капитальная» АО «Майкаинзолото» приведены в таблицах 1 и 2.

Таблица 1

Результаты исследования отклонения напряжения на подстанции УПП-1 в шахте «Капитальная» АО «Майкаинзолото»

Параметры напряжения	Количество измерений							
	1	2	3	4	5	6	7	8
Линейное напряжение между фазами В и С – $U_{\tilde{B}, C}$ , В	491	498	528	522	525	517	530	521
Напряжение фазы А – $U_{\tilde{A}, B}$	284	288	306	302	303	299	307	302
Напряжение фазы В – $U_{\tilde{A}, B}$	299	300	295	298	305	304	297	295
Напряжение фазы С – $U_{\tilde{N}, B}$	301	297	302	300	295	300	305	302

Таблица 2

Результаты исследования отклонения напряжения на подстанции УПП-2 в шахте “Капитальная” АО “Майкаинзолото”

Параметры напряжения	Количество измерений							
	1	2	3	4	5	6	7	8
Линейное напряжение между фазами В и С – $U_{\dot{B}C}$ , В	516	520	525	495	521	514	518	497
Напряжение фазы А – $U_{\dot{A}}$ , В	298	300	303	286	301	297	299	287
Напряжение фазы В – $U_{\dot{B}}$ , В	302	299	297	300	295	305	307	301
Напряжение фазы С – $U_{\dot{C}}$ , В	302	300	303	293	298	301	303	296

Для доказательства достоверности, полученных результатов экспериментальных исследований отклонения напряжения на УПП-1 и УПП-2 в шахте “Капитальная” АО “Майкаинзолото” согласно методу малой выборки, изложенных в [1], необходимо произвести не менее четырех измерений. В данном случае принимаем восемь измерений с интервалом между измерениями 0,5 часа.

По методу малой выборки определяются средние значения и среднеквадратичные отклонения единичного результата при  $n = 8$  измерениях величины исследуемого параметра по следующему алгоритму вычислений [2]:

1. Определяются средние значения отклонения напряжения на УПП-1 и УПП-2 в шахте “Капитальная” АО “Майкаинзолото”

$$\bar{X} = \frac{\sum_{i=1}^n X_i}{n} \quad (1)$$

- где:
- $\bar{U}_{\dot{B}C} = 516,50$  В – средние значения линейного напряжения на УПП-1;
  - $\bar{U}_{\dot{A}} = 298,88$  В – средние значения напряжения фазы А на УПП-1;
  - $\bar{U}_{\dot{B}} = 299,13$  В – средние значения напряжения фазы В на УПП-1;
  - $\bar{U}_{\dot{C}} = 300,25$  В – средние значения напряжения фазы С на УПП-1;
  - $\bar{U}_{\dot{B}C} = 513,25$  В – средние значения линейного напряжения на УПП-2;
  - $\bar{U}_{\dot{A}} = 296,38$  В – средние значения напряжения фазы А на УПП-2;
  - $\bar{U}_{\dot{B}} = 300,75$  В – средние значения напряжения фазы В на УПП-2;
  - $\bar{U}_{\dot{C}} = 299,50$  В – средние значения напряжения фазы С на УПП-2;

2. По математической зависимости определяются среднеквадратичные отклонения единичного результата при  $n = 8$  измерениях величины отклонения напряжения на УПП-1 и УПП-2 в шахте “Капитальная” АО “Майкаинзолото”

$$\sigma = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n X_i^2}{n} - \bar{X}_i^2} \quad (2)$$

где:

$\sigma_{U_{л}} = 13,37, \sigma_{U_{\lambda}} = 7,85,$  – среднеквадратичные отклонения напряжения на УПП-1;

$\sigma_{U_{\hat{\lambda}}} = 3,52, \sigma_{U_{\hat{N}}} = 2,90$

$\sigma_{U_{л}} = 10,44, \sigma_{U_{\lambda}} = 5,96,$  – среднеквадратичные отклонения напряжения на УПП-2.

$\sigma_{U_{\hat{\lambda}}} = 3,69, \sigma_{U_{\hat{N}}} = 3,35$

Так как в электрической сети напряжением 0,4 кВ 1% отклонения напряжения фаз электрической сети относительно земли составляет 2,2 В, то процент отклонения напряжения в шахтной электрической сети составляет 29 – 40 %.

Исследования отклонения напряжения в сети напряжением до 1000 В шахты “Капитальная” АО “Майкаинзолото” показало превышение в 29 – 40 % от нормы, что недопустимо ГОСТ 13109-97 качества напряжения.

Так как установившиеся значение тока однофазного замыкания на землю зависят от величины емкости. Емкость сети не зависит от отклонения напряжения, а зависит только от протяженности шахтных кабельных сетей и количества подключенного электрооборудования в узле нагрузки. На основе вышеизложенного следует, что при принятии среднеквадратичного значения емкости сети за постоянную величину определяется изменение тока однофазного замыкания на землю от величины отклонения напряжения по закону Ома.

Изменения тока однофазного замыкания на землю от величины отклонения напряжения по закону Ома для УПП-1 и УПП-2 шахты “Капитальная” АО “Майкаинзолото” приведены на рисунках 1 и 2.

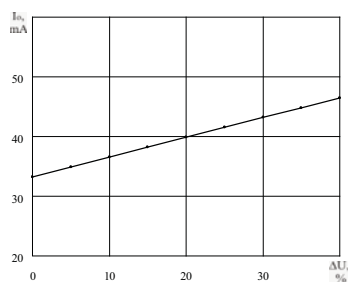


Рисунок 1 – Изменение тока однофазного замыкания на землю от величины отклонения напряжения для УПП-1 шахты “Капитальная” АО “Майкаинзолото”

Анализ графических иллюстраций изменения тока однофазного замыкания на землю от величины отклонения напряжения по закону Ома для УПП-1 и УПП-2 шахты “Капитальная” АО “Майкаинзолото” показало, что если поддерживать автоматически напряжение в питаемой сети в норме в соответствии с ГОСТ 13109-97 по качеству напряжения, то при этом обеспечивается рост безопасности производства работ в шахтных электрических сетях напряжением до 1000 В.

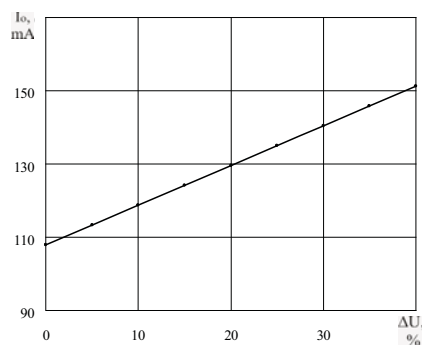


Рисунок 2 – Изменение тока однофазного замыкания на землю от величины отклонения напряжения для УПП-2 шахты “Капитальная” АО “Майкаинзолото”

Установленные графически зависимости изменения тока однофазного замыкания на землю от величины отклонения напряжения для участковых подстанций УПП-1 и УПП-2 шахты “Капитальная” АО “Майкаинзолото” показали, что если поддерживать напряжение в шахтной сети напряжением до 1000 В в соответствии с ГОСТ 13109-97 качества напряжения, то величина тока ОЗЗ на участковой подстанции УПП-1 уменьшится на 10 мА и составит 30 мА, а на участковой подстанции УПП-2 уменьшится на 50 мА и соответственно составит 100 мА.

Уменьшение тока ОЗЗ в сети напряжением до 1000 В на участковых подстанциях УПП-1 и УПП-2 шахты “Капитальная” АО “Майкаинзолото” приводит к увеличению сопротивления изоляции, снижению напряжения прикосновения и шага, тем самым обеспечивается рост уровня электробезопасности при эксплуатации шахтных низковольтных электроустановок.

Для регулирования напряжения в сети 0,4 кВ на участковых подстанциях УПП-1 и УПП-2 шахты “Капитальная” АО “Майкаинзолото” необходимо использовать цифровой регулятор возбуждения синхронных электродвигателей АНИКРОН™ Б-04 (ЦРВД).

Цифровые регуляторы АНИКРОН™ Б-04 (ЦРВД-Б серии 04) предназначены для регулирования тока возбуждения синхронных электродвигателей, снабженных системой возбуждения типа БВУ, при прямом и реакторном пуске, синхронной и аварийной работе.

Техническая характеристика: регулятор возбуждения АНИКРОН™ модели Б-04 обеспечивает:

- автоматическую подачу возбуждения по току статора с кратковременным увеличением тока возбуждения для гарантированной синхронизации двигателя;
- прямой или реакторный пуск двигателя;
- форсировку по току возбуждения в течение 10...50 с. при выходе статорного напряжения за пределы уставок и снятие форсировки при восстановлении напряжения;

- автоматическое регулирование тока возбуждения синхронного двигателя по выбранному закону (пять основных алгоритмов и четыре - для нештатных режимов);
- поддержание заданного значения  $\cos \phi$  двигателя;
- защиту СД от асинхронного хода, защиту ротора от длительной перегрузки, защиту от КЗ в роторе, защиту от потери возбуждения, защиту от затянувшегося пуска, защиту от нерасчетных режимов, защиту от низкого тока статора и защиту от низкого напряжения статора;
- возможность самозапуска и ресинхронизации двигателя;
- ручной режим регулирования и режим опробывания;
- при отказе основного регулятора возбуждения - автоматический переход на резервный регулятор и обратно с заданным током возбуждения;
- осциллографирование (более 500 осциллограмм) всех процессов работы двигателя и ведение протокола событий, что позволяет проводить диагностику и отслеживать статистику работы двигателя на цветном дисплее регулятора или скопировав на персональный компьютер;
- наглядное отображение параметров работы двигателя, состояния защит в аналоговом, цифровом и текстовом виде на ЖКИ дисплее;
- безотказную работу в широком диапазоне питающих напряжений (+ 20%) от постоянного или переменного (могут присутствовать одновременно) напряжения 220В;
- работу в составе автоматизированной системы АСУ ТП;
- основной и резервный регулятор имеют собственные датчики токов и напряжений, все основные блоки регулятора резервированы; при неисправностях автоматически подключается резервный блок.

Регулятор имеет следующие технические особенности:

- регулятор может работать либо только на один двигатель, либо на один из двух двигателей по выбору;
- основное или/и резервное напряжение питания может быть  $\sim 220$  В и/или  $=220$  В;
- основной и резервный регулятор имеют собственные датчики токов и напряжений, все основные блоки регулятора резервированы; при неисправностях автоматически подключается резервный блок;
- регулятор имеет блок готовности к пуску, который контролирует наличие всех питающих напряжений, а также исправность основного и резервного регуляторов и предотвращает включение двигателя на неподготовленный или неисправный регулятор возбуждения.

Разработка, производство, монтаж, наладка и техническое сопровождение цифровых регуляторов возбуждения АНИКРОН (ЦРВД) для синхронных электродвигателей. АНИКРОН (ЦРВД) устанавливаются на новые двигатели и идут на замену морально устаревших регуляторов типа ШДЭ, РВСД и тиристорных возбудителей типа ТЕ, ТВ, ВТЕ и др.

Цифровой регулятор возбуждения синхронных электродвигателей АНИКРОН™ Б-04 автоматически поддерживает уровень напряжения в узле нагрузки и тем самым обеспечивает рост уровня электробезопасности при эксплуатации шахтных электрических сетей напряжением до 1000 В.

При снижении величины тока ОЗЗ на 50 мА на УПП-2 ток ОЗЗ составит 100 мА. Защиту людей от поражения электрическим током в шахтной сети с током замыкания 100 мА необходимо производить с УЗО АСУР-3. А использование УЗО типа УАКИ-380 нецелесообразно. Поскольку УЗО типа УАКИ-380 не производят компенсацию емкост-

тного тока в шахтной сети. В связи с этим целесообразно на участковой подстанции УПП-2 шахты “Капитальная” АО “Майкаинзолото” произвести замену УЗО типа УАКИ-380 на УЗО типа АСУР-3. УЗО типа АСУР-3 обеспечивает защиту людей от поражения электрическим током и компенсацию тока ОЗЗ, и тем самым обеспечивает рост уровня электробезопасности при эксплуатации шахтной электрической сети на участковой подстанции УПП-2 шахты “Капитальная” АО “Майкаинзолото”.

Вывод: в работе разработано и обосновано техническое мероприятие по снижению величины тока ОЗЗ на основе автоматического регулирования напряжения в узле нагрузки путем использования синхронных двигателей вентиляции шахты, что приводит к увеличению сопротивления изоляции и снижению напряжения прикосновения и шага, и тем самым обеспечивается рост уровня электробезопасности при эксплуатации шахтных низковольтных электроустановок.