

**Ф.П. Шкрабец, проф., д-р техн. наук, А.В. Остапчук, доц., канд. техн. наук,  
Е.П. Месяц, науч. сотр., А.В. Акулов, асп.**

*Государственное высшее учебное заведение "Национальный горный университет"*

## Обеспечение перевода подземного электроснабжения энергоемких шахт на напряжение 35 кВ

Наиболее перспективным при реконструкции системы электроснабжения в связи с разработкой глубоких горизонтов представляется вариант использования глубокого ввода напряжения 35 кВ на горизонты 1000 м и более с установкой подземной подстанции 35/6 кВ и распределением электроэнергии по нижним горизонтам на напряжении 6 кВ. Представлено теоретическое обоснование селективного способа автоматического и непрерывного контроля параметров изоляции электрических сетей напряжением 35 кВ и принципа защитного заземления поврежденной фазы при замыканиях на землю в электрических сетях напряжением 6-35 кВ для целей улучшения условий электробезопасности. **глубокий ввод, безопасность эксплуатации высоковольтных электроустановок, селективный контроль изоляции, заземление поврежденной фазы**

Развитие в Украине добычи полезных ископаемых подземным способом сопровождается углублением шахт, а интенсификация производства, ростом электрических нагрузок подземных потребителей. Уже в настоящее время установленная мощность подземных потребителей на ряде шахт превышает 10 МВт, а глубина залегания разрабатываемых пластов превысила 1000 метров. Если учесть и распределение электроэнергии в подземных выработках, то становятся очевидными нарастающие проблемы обеспечения качества электроэнергии и роста потерь электроэнергии в системах электроснабжения глубоких шахт при напряжении 6 кВ. С учетом перспектив развития отраслей, повышение эффективности электроснабжения глубоких шахт может быть достигнуто за счет перевода на более высокий класс напряжения как минимум питающих (стволовых) шахтных сетей. Указанное мероприятие предусматривает установление непосредственно в шахте подстанции с первичным напряжением 35 кВ, что в свою очередь требует решения комплекса вопросов связанных с технической реализацией и обеспечением безопасности эксплуатации высоковольтных электроустановок в условиях шахт.

Задача применения напряжения 35 кВ для подземного электроснабжения в настоящее время, с точки зрения подаваемых в шахту и распределяемых по шахте электрических нагрузок, а также с точки зрения безопасности эксплуатации системы электроснабжения в условиях шахты, может ставиться только как применение системы глубокого ввода напряжения 35 кВ на энергоемкий горизонт с установкой трансформаторной подстанции (ТП) 35/6 кВ на соответствующем горизонте. При этом предполагается, что электроснабжение электроприемников на основном и ближайших горизонтах будет осуществляться при напряжении распределительных сетей 6 кВ по классическим и апробированным схемам [2]. Принципиальную схему питания подземных трансформаторов 35/6 кВ предлагается реализовать по схеме блока линия – трансформатор (рис.1), что позволит исключить необходимость установки на

подземной подстанции как минимум трех (вводных и секционной) распределительных ячеек напряжением 35 кВ в рудничном исполнении. Последнее будет способствовать как снижению капитальных затрат, так и повышению надежности системы хотя бы за счет уменьшения элементов системы. Применение сухих трансформаторов в исполнении IP54, (серия RESIBLOC, фирма АВВ), имеющих в комплекте заземляющие ножи, позволяет выполнить одно из основных требований отраслевых Правил безопасности также без установки распределительной ячейки.

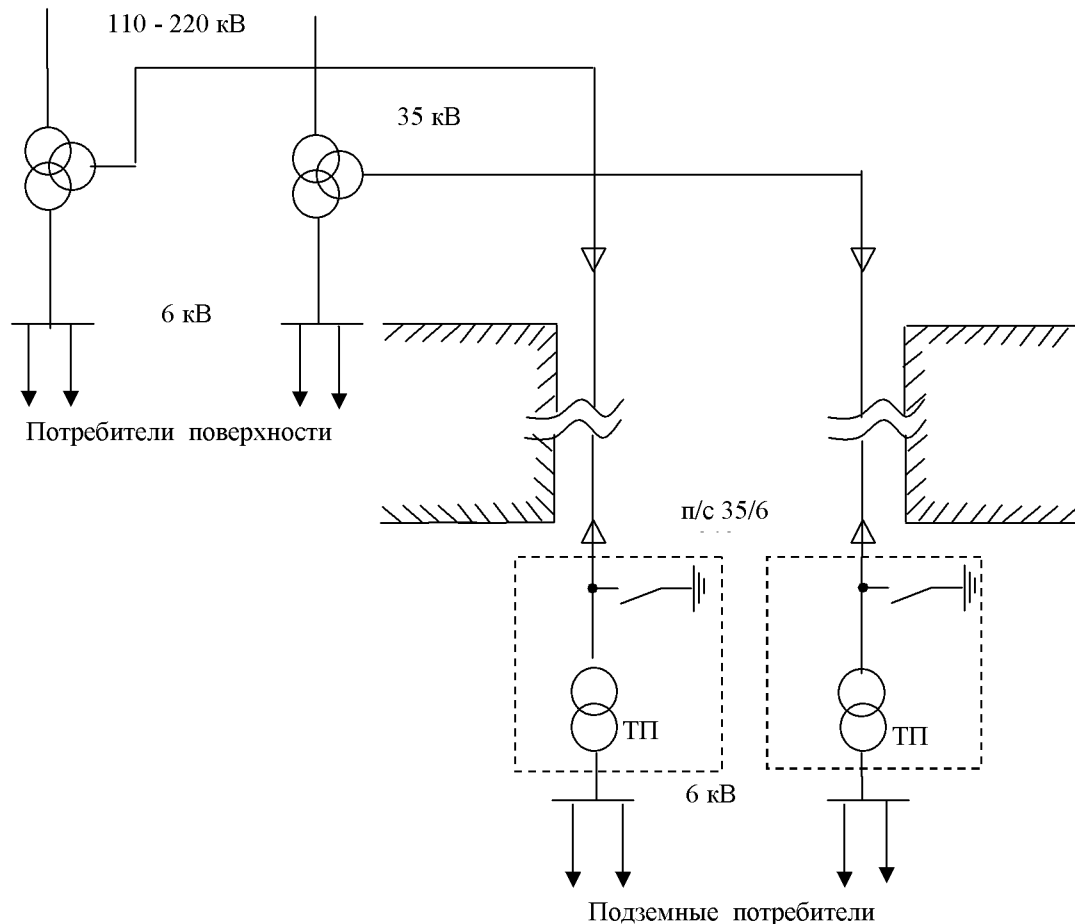


Рисунок 1 – Принципиальная схема питания подземных трансформаторов 35/6 кВ по схеме блок линия – трансформатор

В соответствии с разработанными МакНИИ и согласованными с Госгорпромнадзором. Временные нормативы по безопасности применения напряжения 35 кВ для систем электроснабжения подземных электроприемников в комплектных распределительных устройствах (КРУ), подающих напряжение 35 кВ к подземным электроприемникам, должны осуществляться следующие виды защит:

- от токов короткого замыкания;
- от перегрузки трансформаторов;
- от коммутационных перенапряжений;
- от однофазных замыканий фаз на землю;
- от снижения сопротивления изоляции в отходящем присоединении при отключенном напряжении. Данный вид защиты должен вводиться в эксплуатацию по мере его разработки и освоения серийного выпуска.

Отсюда видно, что применение напряжения 35 кВ определяется успешностью решения дополнительных технических задач, связанных с обеспечением условий электро- и пожаробезопасности в подземных выработках, а именно: минимизация

влияния параметров и режимов работы электрических сетей напряжением 35 кВ поверхности на эксплуатационные характеристики внутришахтных сетей и оборудования; непрерывный контроль состояния изоляции относительно земли электрической сети напряжением 35 кВ или, как минимум, ЛЭП, питающих подземные потребители; уменьшение значений аварийных токов при замыканиях на землю в шахтных кабелях напряжением 35 кВ, что, учитывая значения параметров изоляции разветвленных сетей напряжением 35 кВ (подземных и поверхности), может быть достигнуто путем защитного заземления (закорачивания) поврежденной фазы.

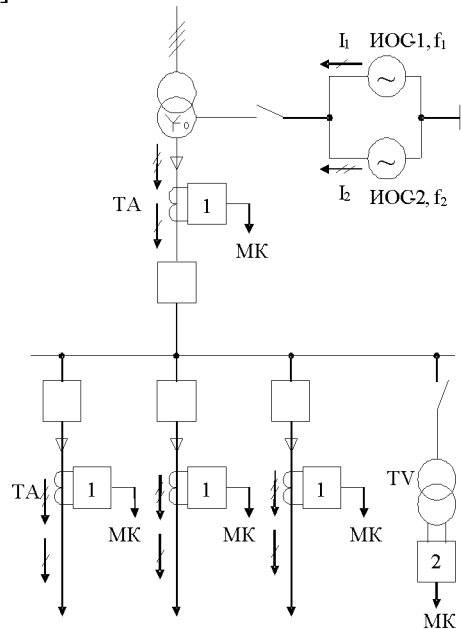
В соответствии с действующими отраслевыми нормативными материалами в угольных шахтах все кабельные линии напряжением выше 1000 В, проложенные в подземных выработках, в стволах и в скважинах, должны оборудоваться защитой от утечек и замыканий на землю мгновенного действия (без выдержки времени). Указанная защита в свою очередь должна обеспечивать отключение линии при появлении однофазной утечки, соответствующей снижению активного сопротивления изоляции относительно земли одной фазы или сети в целом до значений ниже нормативных. Кроме того, правила предполагают предварительный контроль состояния изоляции с запретом на включение поврежденного участка при снижении сопротивления изоляции ниже заданного уровня [2]. Следует отметить, что указанные весьма жесткие требования отраслевых Правил до настоящего времени не реализованы для шахтных сетей напряжением 6 кВ по ряду причин, основной из которых следует считать отсутствие высокочувствительных методов защиты от утечек (контроля изоляции) при одновременном обеспечении селективности (избирательности) действия.

Для целей автоматического и селективного контроля параметров изоляции (активного, реактивного и при необходимости полного сопротивлений изоляции) в распределительных сетях напряжением 35 кВ, питающих подземные потребители, предлагается использовать метод непрерывного измерения значений составляющих сопротивления изоляции сети относительно земли под рабочим напряжением, основанный на использовании наложенных на сеть оперативных токов не промышленной частоты (рис. 2).

Суть предложенного метода непрерывного и оперативного контроля параметров изоляции относительно земли электрической сети и ее элементов состоит в том, что на электрическую сеть одновременно накладываются два оперативных синусоидальных сигнала (источники ИОС-1 и ИОС-2), частоты которых не равны между собой и отличается от промышленной. На контролируемых участках (линии или присоединении), а также в месте подключения оперативного источника устанавливаются устройства, назначением которых является снятие параметров оперативных сигналов и их соответствующая обработка с целью определения в указанных точках значений оперативных токов и напряжений. Зафиксированные (с заданной скважностью сканирования) параметры оперативных сигналов в цифровом виде подаются на входы микроконтроллера *МК*, где используются для вычисления и передачи по заданному адресу непрерывно (регулярно) обновляемых значений параметров изоляции.

Структура и функциональная схема системы непрерывного измерения параметров изоляции относительно земли всей распределительной сети или ее элементов без снятия рабочего напряжения предполагает один канал напряжения и несколько (по количеству контролируемых присоединений) каналов тока. Канал напряжения, на вход которого сигнал поступает с датчика напряжения *TV* (измерительного трансформатора напряжения) подключенного к шинам распределительного устройства, предназначен для снятия, обработки и измерения значений оперативных напряжений  $U_{f1}$  и  $U_{f2}$  и передачи их в вычислительный модуль

для дальнейшего использования. Токковые каналы, на входы которых сигналы поступают от соответствующих датчиков тока  $TA_i$  (измерительных трансформаторов тока) установленных на отходящих (контролируемых) присоединениях, также предназначены для снятия, обработки и измерения значений оперативных токов  $I_{f1}$  и  $I_{f2}$  соответствующих участков распределительной сети и передачи их в вычислительный модуль [3].



1 – устройство выделения и обработки оперативных токов; 2 – устройство выделения и обработки оперативных напряжений

Рисунок 2 – Схема, поясняющая способ непрерывного контроля параметров изоляции распределительной сети

Вычислительный блок на основании одновременно измеренных и зафиксированных значений оперативных токов и напряжений с учетом коэффициентов трансформации измерительных трансформатора напряжения  $k_V$  и трансформаторов тока  $k_{Ai}$  в заданных точках распределительной сети системы электроснабжения производит вычисления:

– активного сопротивления изоляции и суммарной емкости относительно земли трех фаз всей сети или соответствующего контролируемого участка ( $i$ -го присоединения)

$$R_i = \frac{U_1 U_2}{k_V k_{Ai}} \sqrt{\frac{\omega_2^2 - \omega_1^2}{U_2^2 I_{1i}^2 \omega_2^2 - U_1^2 I_{2i}^2 \omega_1^2}}, \quad C_i = \frac{k_V k_{Ai}}{U_1 U_2} \sqrt{\frac{U_2^2 I_{1i}^2 - U_1^2 I_{2i}^2}{(\omega_1^2 - \omega_2^2)}}, \quad (1)$$

где  $I_1, U_1, \omega_1$  – ток, напряжение и частота первого оперативного источника;  
 $I_2, U_2, \omega_2$  – ток, напряжение и частота от второго оперативного источника;  
 $k_V$  – коэффициентов трансформации измерительных трансформатора напряжения;  
 $k_{Ai}$  – коэффициентов трансформации измерительных трансформатора тока.

Однофазные замыкания на землю оказывают существенное негативное влияние на условия электробезопасности при эксплуатации электрических сетей и оборудования в шахтах. Электробезопасность электрических сетей, если не учитывать физиологические особенности и психологическое состояние человека, оценивается в основном значением тока, проходящего через тело человека, значением напряжения прикосновения и временем воздействия указанных величин. Для реальных параметров распределительных и питающих сетей прикосновение человека к одной из фаз сети напряжением 35 кВ, даже без учета переходного процесса, всегда является смертельно опасным.

Степень же опасности распределительных сетей при прикосновении к корпусу электрооборудования, оказавшегося под напряжением, характеризуется значением напряжения прикосновения и временем его воздействия. Одним из логических направлений улучшения условий электробезопасности при эксплуатации электрических сетей напряжением 35 кВ на горных предприятиях является путь снижения негативных показателей процесса однофазного замыкания на землю, а именно:

- уменьшение значения аварийного тока в зоне замыкания на землю;
- уменьшение времени воздействия поражающих величин (аварийного тока и напряжения прикосновения);
- снижение кратности внутренних перенапряжений и, соответственно, уменьшение вероятности развития аварии в распределительной сети.

Решение указанных задач возможно путем автоматического заземления (шунтирования) фазы, на которой появилось однофазное замыкание на землю. Основная идея заземления (закорачивания) поврежденной фазы заключается в том, что при повреждении (ослаблении) изоляции относительно земли одной из фаз распределительной сети поврежденная фаза автоматически соединяется с землей, то есть шунтируется место повреждения, при этом резко уменьшается значение тока, через место повреждения (или человека) и практически за полпериода промышленной частоты затухает переходный процесс. Основным условием эффективности процесса автоматического замыкания (шунтирования) поврежденной фазы является высокое быстродействие системы.

Основными функциональными блоками устройства автоматического заземления поврежденной фазы при однофазных замыканиях на землю (рис. 3) являются: блок выбора (определения) поврежденной фазы (БВПФ), блок заземляющих аппаратов с пофазным управлением (БЗА) и блок управления заземляющими аппаратами (БУЗА).

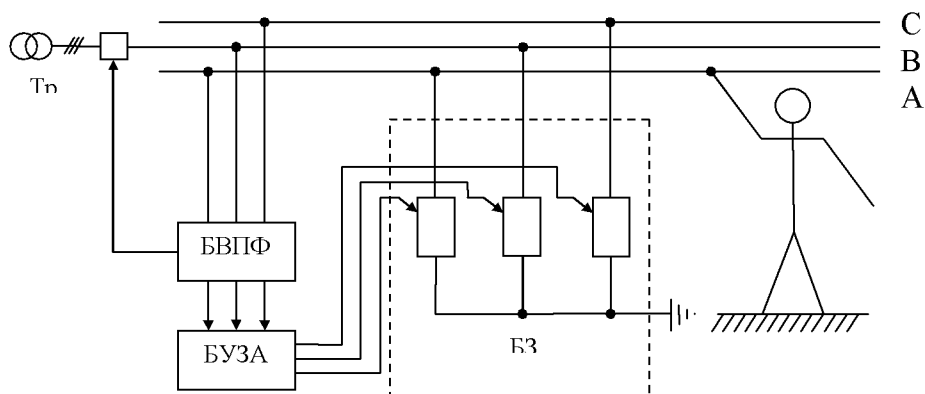


Рисунок 3 – Структура устройства шунтирования поврежденной фазы при замыкании на землю

Жесткие требования по функциональной надежности должны предъявляться к блоку выбора поврежденной фазы БВПФ в части чувствительности (обеспечение

работоспособности при замыканиях на землю через переходное сопротивление, в том числе и через тело человека) и в части правильности определения поврежденной фазы. Ошибка при выборе поврежденной фазы приводит к созданию искусственного двухфазного замыкания через заземляющую сеть, т.е., перевод однофазного замыкания на землю в более опасный для поражения людей и стойкости электрооборудования аварийный режим. Для разветвленных электрических сетей система автоматического заземления поврежденной фазы при однофазных замыканиях на землю должна быть дополнена блоком селективного определения поврежденной линии. Для длинных линий распределительной сети и мощными синхронными или асинхронными электродвигателями в качестве нагрузки следует рассматривать возможность применения двух блоков заземляющих аппаратов с пофазным управлением – в начале линии, в конце линии, для обеспечения защиты от действия напряжения выбега от отключенных от сети электродвигателей.

### **Выводы**

1. Применение напряжения 35 кВ для подземного электроснабжения, с точки зрения подаваемых в шахту и распределяемых по шахте электрических нагрузок, а также с точки зрения безопасности эксплуатации системы электроснабжения, в настоящее время может рассматриваться только как применение системы глубокого ввода напряжения 35 кВ на энергоемкий горизонт с установкой трансформаторной подстанции 35/6 кВ на соответствующем горизонте.

2. Предложен способ непрерывного автоматического и селективного контроля параметров изоляции относительно земли электрической сети напряжением 35 кВ под рабочим напряжением, основанный на наложении на распределительную сеть бичастотных оперативных синусоидальных сигналов непромышленной частоты. В зависимости от места включения измерительных датчиков тока система способна обеспечивает селективное измерение параметров изоляции относительно земли всей электрической сети или соответствующего присоединения.

3. Значительное улучшение условий косвенной электробезопасности в электрических сетях напряжением 35 кВ может быть обеспечено применением защитного заземления поврежденной фазы при замыканиях на землю. Степень функциональной надежности системы защитного заземления поврежденной фазы определяется устройством выбора поврежденной фазы.

### **Список литературы**

1. Пивняк Г.Г. Несимметричные повреждения в электрических сетях карьеров [Текст] : справ. пособие Г.Г. Пивняк, Ф.П. Шкрабец. – М.: Недра, 1993. – 192 с.
2. Правила безпеки у вугільних шахтах: НПАОП 10.0 – 1. 01–05. – К.: Недра, 2005. – 496 с.
3. Шкрабец Ф.П. Автоматический и селективный контроль параметров изоляции в распределительных сетях напряжением выше 1000 В [Текст] / Ф.П. Шкрабец // Взрывозащищенное электрооборудование: сб. науч. тр. УкрНИИВЭ. – Донецк: ООО «Юговосток, Лтд». – 2009. – С.31–39.

*Ф. Шкрабець, О. Остапчук, Є. Місяць, А. Акулов*

### **Забезпечення переведу підземного електропостачання енергоємних шахт на напругу 35 кВ**

Найбільш перспективним при реконструкції системи електропостачання у зв'язку з розробкою глибоких горизонтів представляється варіант використання глибокого введення напруги 35 кВ на горизонти 1000 м і більше з установкою підземної підстанції 35/6 кВ і розподілом електроенергії по нижнім горизонтам на напрузі 6 кВ. Представлено теоретичне обґрунтування селективного способу автоматичного і безперервного контролю параметрів ізоляції електричних мереж напругою 35 кВ і принципу захисного заземлення пошкодженої фази при замиканнях на землю в електричних мережах напругою 6-35 кВ з ціллю поліпшення умов електробезпеки.

*F. Shrabets, O. Ostapchuk, Ye. Misiats, A. Akulov*

**Providing transfer electric power supply of high consumption underground mines on 35 kV voltage**

Using 35 kV voltage deep in-feeding on 1000 m and more geological position with mounting of the 35/6 kV underground substation and distribution of electricity at lower geological position in the 6 kV voltage is the most perspective method for the reconstruction of power supply system. The theoretical justification of the selective method of automatic and continuous monitoring of 35/6 kV electrical grid isolation parameters is presented and on the principle of faulted phase earth protection during ground faults in 6-35 kV electric grids for the purposes of improving the electrical safety condition.

Получено 12.09.12