

ОГРАНИЧЕНИЕ ЕМКОСТНЫХ ТОКОВ ЗАМЫКАНИЯ НА ЗЕМЛЮ, КАК МЕРА БОРЬБЫ С АВАРИЙНОСТЬЮ ЭЛЕКТРОУСТАНОВОК НА ШАХТАХ

А. П. ЗУБАРЕВ

Электроснабжение угольных шахт, опасных по газу и пыли, осуществляется, как известно, сетями с изолированными нейтралью при наиболее распространенном первичном напряжении 6 кВ.

Основанием к выбору этого вида сетей послужило то условие, что при аварийном заземлении в них одной из фаз, при некоторых параметрах не возникает открытой электрической дуги. Однако хорошо также известно, что в таких сетях при емкостном токе замыкания на землю — $I_c > 5a$ вышеуказанный аварийный режим сопровождается уже появлением электрической дуги перемежающегося характера. Если при значениях I_c от 5а до 10а данное явление наблюдается сравнительно редко, то при $I_c > 10a$ оно уже не бывает исключением и становится почти неизбежным.

Помимо своей непосредственной опасности для шахт, перемежающаяся электрическая дуга возбуждает одновременно в сети резонансные перенапряжения, достигающие $3,5U_{\text{фаз}}$, которые и вызывают аварийные пробой на корпус изоляции электрооборудования с дальнейшим выходом его из строя, что подтверждается рядом случаев на шахтах Кузбасса.

Особую опасность представляют здесь вторичные пробой на корпус в других фазах, приводящие сети уже к тяжелым междуфазным коротким замыканиям.

За последние 10—15 лет в угледобыче имеет место широкое применение электрификации, и это обстоятельство привело к большому развитию электросетевого хозяйства. На многих крупных шахтах общая протяженность 6 кВ электрически связанных сетей достигает теперь 10 км и более. Не оценивать это изменение было бы явной ошибкой, так как произошло соответствующее увеличение емкостного тока I_c , который с достаточной точностью определяется по известной формуле:

$$I_c = \frac{U_\lambda}{350} \left[35 \sum l_k + \sum l_s \right],$$

где U_λ — линейное напряжение сети, кВ,
а $\sum l_k$ и $\sum l_s$ — протяженности кабельных и воздушных сетей, км.

Особенно серьезное положение представляет питание группы близко расположенных шахт от общей питательной сети 6 кВ (см. рис. 1). Такие схемы имеют уже протяженность сетей, достигающей 100 и более км.

Поясним это примером. На рис. 1 показан часто встречающийся вариант электроснабжения группы шахт.

Допустим, что общая протяженность электрически связанных воздушных и кабельных сетей представляется данными, приведенными в табл. 1.

Таблица 1

№ по пор.	Наименование линии или шахты	Длина сети (км)		Напряжение линии (кв)
		каб.	возд.	
1	ЛЭП-район. п.ст.—шахта I	—	4,5	6,4
2	Шахта I	5,5	12,0	—
3	ЛЭП между шахтами I и II	—	3,5	6,35
4	Шахта II	7,5	18,0	6,35
5	ЛЭП между шахтами II и III	—	4,5	6,35
6	Шахта III	7,0	13,0	6,4
7	ЛЭП-район. п.ст.—шахта III	—	2,5	6,4
8	Шахта IV	—	3,5	6,4
9	Шахта IV	8,5	14,0	6,4
10	ЛЭП между шахтами IV и V	—	5,0	6,35
11	Шахта V	6,5	13,0	6,35
12	ЛЭП между шахтами V и VI	—	4,5	6,35
13	Шахта VI	9,0	15,0	6,4
14	ЛЭП-район. п.ст.—шахта VI	—	3,0	6,4
Итого		44,0	116,0	—

Емкостный ток замыкания на землю такой группы, при среднем линейном напряжении 6,3 кв (с учетом потери в сетях шахт), составит:

$$I_c = \frac{6,3}{350} [35,44 + 116] \cong 30 \text{ а.}$$

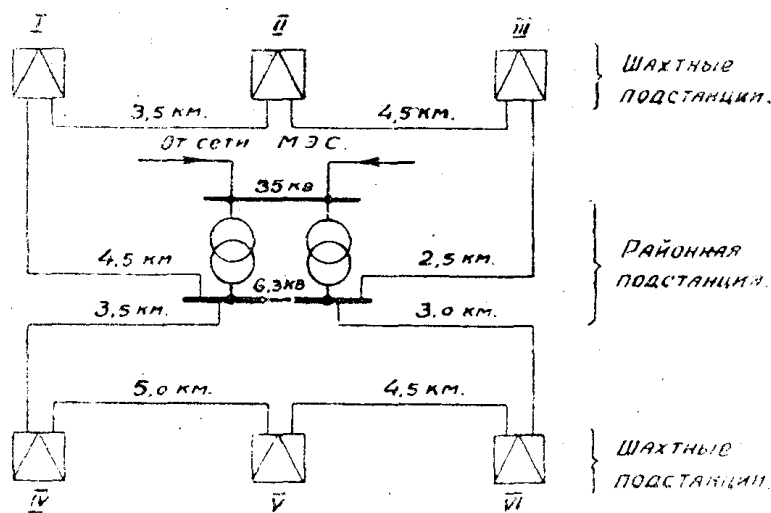


Рис. 1. Схема типовой электроснабжения группы шахт, расположенных близко от районной п.ст.

Как видно, приведенная схема электроснабжения безусловно будет способствовать появлению дуговых перенапряжений при замыканиях на землю одной из фаз, со всеми вытекающими последствиями. Следует заметить, что в кабельных сетях данное явление, вызванное первичным пробоем фазовой изоляции, в свою очередь, сравнительно легко вызывает вторичные множественные пробоя как сетевые, так и в электрооборудовании. Это имеет место особенно там, где по условиям производства изоляция подвергается повседневному систематическим повреждениям и ухудшениям (механические удары, сырость, пыль и т. п.).

Изучение существующих схем электроснабжения ряда районов Кузнецкого бассейна показывает, что емкостный ток замыкания на землю у большинства промышленных групп превышает $10a$, а этого уже достаточно для появления серьезных аварийных последствий.

Перспективное развитие действующих шахт Кузнецкого бассейна, а также и некоторых других идет в основном по пути освоения нижних горизонтов. Это обстоятельство во многих случаях потребует безусловного увеличения протяженности подземных высоковольтных кабельных сетей. Питание электроэнергией новых выработок через скважины от поверхностных участковых подстанций низким напряжением имеет известный экономический предел и для нижних горизонтов не будет рентабельно как по потерям электроэнергии, так и по расходу меди в кабелях.

Учитывая данную тенденцию в развитии шахтных кабельных сетей высокого напряжения, следует считать вполне своевременным и необходимым осуществление ряда профилактических мероприятий по снижению емкостных токов замыкания на землю, как средств сохранения и защиты дорогостоящего высоковольтного электрооборудования. Следует заметить, что аварийный выход из строя данного электрооборудования, как правило, имеющего большую мощность, кроме нанесения непосредственного ущерба угледобыче, требует значительных затрат от шахты на его восстановление, причем последнее не обеспечивается требуемым качеством даже в условиях ремонтных заводов комбинатов, располагающих в большинстве своем примитивной технологией.

Все вышесказанное подтверждает необходимость серьезного обследования существующего электросетевого хозяйства на шахтах в направлении изучения и определения величин емкостных токов замыкания на землю. В первую очередь это должно быть произведено комбинатами в тех трестах, в которых уже зафиксированы случаи пробоя высоковольтного электрооборудования и кабельных сетей.

Обследование и анализ существующего электросетевого хозяйства угольных трестов и шахт, хотя и не представляет особой сложности, но требует все же соблюдения известного порядка, а именно:

По уточненным действующим схемам и планам определяются протяженности и типы отдельных участков сетей по каждой шахте в отдельности, полученные данные вносятся в сводные ведомости, по которым определяются значения соответствующих емкостных токов замыкания на землю по приведенной выше формуле.

Мероприятия по борьбе с резонансными перенапряжениями в существующих шахтных сетях 6 кВ можно разделить на два основных вида: на профилактику эксплуатационного ухудшения изоляции сетей и на ограничение емкостных токов замыкания на землю.

К первому виду мероприятий нужно отнести такие, как, например:

1) внедрение на шахтах систематического кенотронирования всего высоковольтного электрооборудования и кабельных сетей на поверхности, а при возможности и под землей;

2) установку на центральной подстанции чувствительной релейной защиты от однофазных замыканий на землю.

Мероприятия же второго вида могут быть рекомендованы следующие:

1) устройство „рассечки“ электросетей;

2) устройство электроснабжения шахт по принципу „глубокого“ ввода напряжением 35 кВ ;

3) установка дугогасящих катушек типа ЗРОМ-6 в цепях нейтралей с их последующим заземлением.

Рассмотрим все это более подробно.

Вопрос о профилактических испытаниях изоляции высоковольтного электрооборудования и кабельных сетей выпрямленным током высокого

напряжения не требует особых пояснений, так как достаточно хорошо освещен в технической литературе и точно регламентирован ПТЭЭПП 1947/1951 гг. Недооценка этого вопроса со стороны работников шахт заслуживает лишь порицания.

Характер и порядок „рассечки“ электросетей большой протяженности определяются по конкретным данным той или иной схемы существующего электроснабжения обследуемой группы шахт. В частности, при радиальной и магистральной схемах электроснабжения горных предприятий I и II категорий указанная „рассечка“ может быть осуществлена за счет раз-

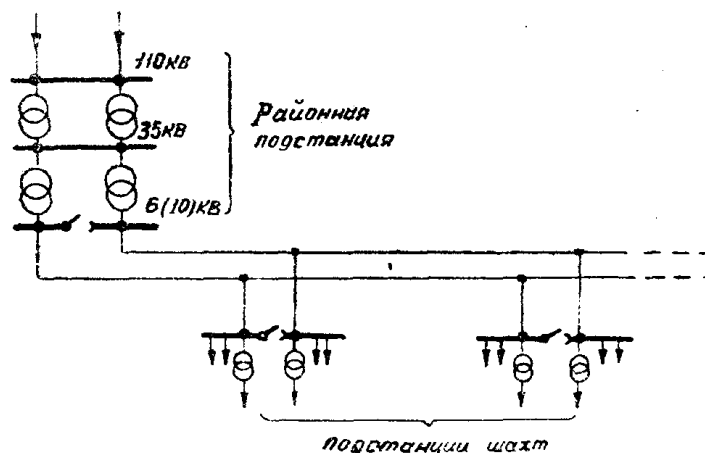


Рис. 2. Схема „рассечки“ при магистральном электроснабжении шахт.

дельной работы силовых трансформаторов районной подстанции и разделения нагрузок на сборных шинах подстанций промпредприятий по самостоятельным секциям (см. рис. 2). Этой операцией можно достигнуть резкого снижения емкостных токов. Одновременно с увеличением реактанса будут уменьшены и токи коротких замыканий.

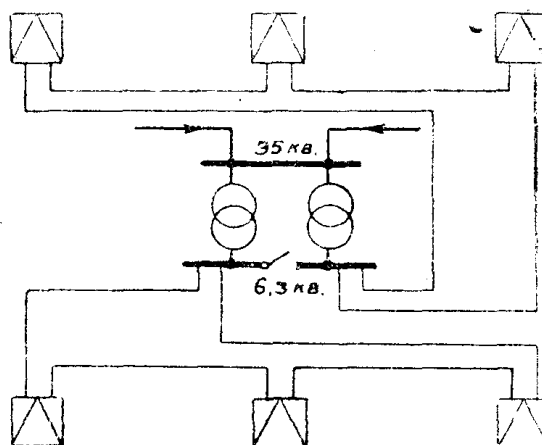


Рис. 3. Схема „рассечки“ по I варианту при кольцевом электроснабжении шахт.

В кольцевой сети (см. рис. 1) „рассечку“ можно осуществлять по двум вариантам. Как видно из схемы первого варианта, „рассечка“ произведена путем разделения всей группы шахтных подстанций на две части, которые и подключаются к разным секциям 6 кВ распределительных шин районной подстанции (см. рис. 3).

Во втором варианте (см. рис. 4) кольцевая схема электроснабжения всего узла остается неизменной, но „рассечка“ на две подгруппы обеспечивается установкой двух трансформаторов Т с $K_{тр} = 1$. Эта схема имеет ту положительную сторону, что кроме „рассечки“ дает возможность подачи нормального или повышенного напряжения на удаленные подстанции потребителей. Отрицательная же сторона заключается в необходимости установки дополнительного оборудования, которое одновременно будет являться и индуктивной нагрузкой. Последняя, как известно, увеличит несколько потери в сети и в некоторых случаях вызовет частичное понижение $\cos \varphi$ данной группы предприятий. Однако учитывая сравнительно легкую возможность компенсации $\cos \varphi$ в условиях района и незначительность „удельного веса“ дополнительных потерь от трансформаторов, схема „рассечки“ по II варианту вполне допустима в эксплуата-

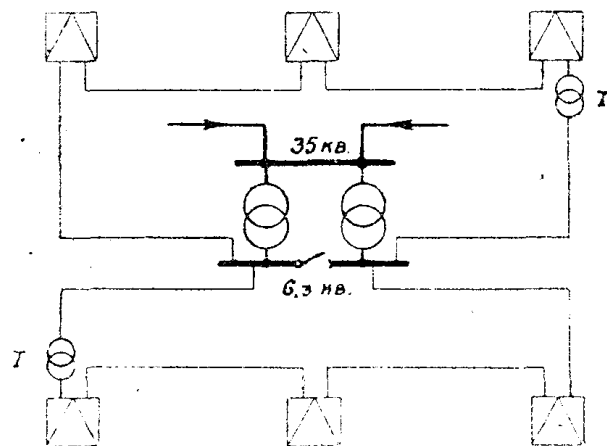


Рис. 4. Схема „рассечки“ по II варианту при кольцевом электроснабжении шахт.

ции, в особенности при питании от мощной энергетической системы, когда одновременно требуется также и снижение токов коротких замыканий.

Вопрос об устройстве релейной защиты от однофазных замыканий на землю в сетях 6 кВ с изолированной нейтралью в данное время разрешен при помощи токовых реле большой чувствительности, выпускаемых с 1952 г. заводом „Энергоприбор“.¹⁾

Безусловно, необходимо широкое распространение этой защиты, обеспечивающей к тому же и полную селективность действия. В некоторых же случаях можно использовать схему контроля изоляции, имеющуюся на каждой подстанции, для автоматической „рассечки“ сетей. Схема такой релейной защиты (рис. 5) с использованием реле напряжений может обеспечить автоматическую „рассечку“ сетей, показанных на рис. 2 и 3, причем для этого требуется лишь заменить секционные разъединители на масляные выключатели там, где это нужно.

В схеме магистрального электроснабжения (рис. 2) данное мероприятие необходимо осуществить на всех подстанциях учитываемой группы шахт, в том числе и на районной.

В схеме кольцевого электроснабжения по 1 варианту (рис. 3) секционный масляный выключатель потребуется только на районной подстанции.

¹⁾ См. журнал „Электрические станции“, № 11 за 1951 г., статья С. Я. Гельфанд, И. Н. Попов и Г. В. Субботина „Чувствительные токовые защиты от замыканий на землю и опыт их эксплуатации“; „Электричество“, № 3 за 1952 г., статья И. Н. Попова „Чувствительная защита от замыканий на землю с кабельным трансформатором тока“.

Приведенная схема релейной защиты (рис. 5) срабатывает при повышении потенциалов в любых двух фазах относительно „земли“.

Проще всего осуществляется данная защита при наличии на подстанции пятистержневого измерительного трансформатора напряжения с компенсационной обмоткой. В этом случае необходимо лишь одно реле напряжения и соответственно реле времени. Последнее устанавливается в каждой схеме для предотвращения от ложного срабатывания в случае коротко-временных замыканий на землю. В связи с необходимостью контроля состояния изоляции в сетях с изолированной нейтралью, установка „группы“ или 3 шт. однофазных трансформаторов напряжения или одного пяти-стержневого во всех случаях не будет являться дополнительным оборудовани-ем. Установка же комплекта реле напряжений и времени не составит больших затрат для шахт и прочих предприятий. Надо полагать, что данное мероприятие по предотвращению аварийности в высоковольтном электро-хозяйстве от дуговых перенапряжений будет вполне рациональным.

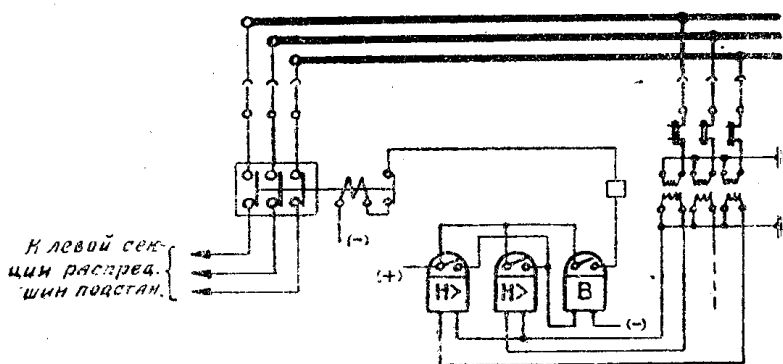


Рис. 5. Схема автоматической „рассечки“.

Переход на электроснабжение шахт по принципу „глубокого“ ввода напряжением 35 кВ по своей целесообразности во многих случаях вряд ли будет вызывать возражение со стороны работников предприятий.

„Глубокий“ ввод 35 кВ коренным образом изменяет состояние промышленных сетевых узлов. В данном случае каждая шахта имеет уже только свое 6 кВ электрохозяйство, не связанное электрически с другими. Это, безусловно, приведет к желаемому резкому снижению емкостных токов до величин малоопасных или не способных вызвать появление перемежающихся дуг, а следовательно, и перенапряжений, порождающих аварии. Одновременно „глубокий“ ввод позволит резко снизить потери электроэнергии, расход цветных металлов и обеспечить нормальное рабочее напряжение на шинах центральных подстанций шахт. Следует заметить, что напряжение первичных питательных сетей 35 кВ ни в какой мере не устраняет возможность применения принципа „рассечки“ в сетях вторичного распределения электроэнергии 6 кВ на шахтах, если в этом возникнет необходимость.

Наконец, об использовании дугогасящих катушек типа ЗРОМ. Применение этого средства, обеспечивающего вполне надежную компенсацию емкостных токов, имеет достаточно широкую практику в СССР даже в сетях 6—10 кВ. При эксплуатации последних с $I_c \leq 20a$ значительно меньшую опасность представляют шахтные сети с заземленной нейтралью через дугогасящую катушку ЗРОМ. Отказ Министерства угольной промышленности от данной системы защиты больше „традиционный“, чем обоснованный.

ВЫВОДЫ

1. Электросетевое хозяйство угольных шахт при существующем развитии требует неотложного обследования и изучения в отношении выяснения величин емкостных токов замыкания на землю.

2. В целях снижения аварийности необходимо внедрить систематическое кенотронирование электрооборудования и кабельных сетей 6 кВ поверхностных установок.

3. Необходимо всемерно снижать емкостные токи замыкания на землю в сетях 6—10 кВ „рассечкой“ последних или устройством „глубокого“ ввода 35 кВ на шахты. В качестве предупредительных мер от аварийных перенапряжений целесообразно установить высокочувствительную токовую релейную защиту от однофазных замыканий на землю и применить автоматическую „рассечку“ схем электроснабжения при помощи схем контроля изоляции. Следует использовать и опыт эксплуатации дугогасящих катушек ЗРОМ.

Осуществление приведенных мероприятий будет являться одним из факторов, способствующих повышению угледобычи и рентабельности предприятий угольной промышленности.

ЛИТЕРАТУРА

1. Сиротинский Л. И. Перенапряжения и защита от перенапряжений в электрических установках, ОНТИ, 1937.

2. Кузнецов А. И. Техника безопасности в электрических установках, ГЭИ, 1952.

3. Баптиданов Л. Н. и Тарасов В. И. Электрооборудование электрических станций и подстанций, ГЭИ, 1952. Правила безопасности в угольных и сланцевых шахтах. Углетехиздат, 1951.