

УДК 622.8.314.6



А. М. БРЮХАНОВ,
доктор техн. наук
(МакНИИ)



В. П. КОЛОСЮК,
доктор техн. наук
(МакНИИ)



Е. А. ВАРЕНИК,
канд. техн. наук
(УкрНИИВЭ)



В. Н. САВИЦКИЙ,
канд. техн. наук
(УкрНИИВЭ)

Обеспечение бесперебойности электроснабжения газоотсасывающих установок и вентиляторов местного проветривания

Обоснована эффективность обособленного от технологических токоприемников питания газоотсасывающих установок ВМП при использовании модернизированной трансформаторной подстанции ТСВПВ-630/6. Показана социальная и экономическая эффективность.

Чтобы обеспечить условия проветривания высоконагруженных выемочных участков по газовому фактору, на многих шахтах Донбасса метан из погашаемого тупика вентиляционной выработки отводится в исходящую струю участка с помощью газоотсасывающих установок с центробежными электрическими вентиляторами. Отвод метана по жестким трубопроводам с помощью газоотсасывающих установок рекомендуется при метановыделении из выработанного пространства до 1,5 м³/мин установками типа УСМ-02 и до 3 м³/мин установками типа УВГ-1. Условия применения такой технологии, а также схемы отвода приведены в Руководстве [1].

Одна из основных мер безопасности при эксплуатации газоотсасывающих установок – непрерывность их работы.

Известная авария – взрыв метана на шахте «Краснолиманская» 19 июля 2004 г. – произошла из-за отключения напряжения газоотсасывающего вентилятора, вызванного утечкой тока в системе его электроснабжения. По статистическим данным, причина

25 – 30 % всех взрывов газа в шахтах – нарушение проветривания в тупиковых выработках. Поэтому особую актуальность приобретает обеспечение снабжением электроэнергией газоотсасывающих вентиляторов и вентиляторов местного проветривания (ВМП).

В целях исключения случаев загазования выработок вследствие останковки ВМП и газоотсасывающих установок, а также существенного повышения безопасности работ приказом от 12 февраля 2005 г. № 81 Минтопэнерго Украины по результатам расследования аварии на ГП «Краснолиманская» и Постановлением Кабинета Министров Украины от 29 марта 2006 г. № 374 МакНИИ было поручено выполнить научно-исследовательскую работу для бесперебойного электроснабжения ВМП и газоотсасывающих установок.

Для реализации такой концепции МакНИИ совместно с УкрНИИВЭ разработана модернизированная шахтная передвижная подстанция ТСВПВ-630/6 с блоками электрических защит от токов короткого замыкания (КЗ) и уте-

чек тока на землю. Задача избирательного действия защиты от утечек тока решена таким образом, чтобы утечки тока в системе электроснабжения технологических токоприемников не приводили к отключению питания ВМП, газоотсасывающих установок или других приоритетных по бесперебойности питания токоприемников, а емкостные токи утечки компенсировались отдельно для технологических и приоритетных по бесперебойности токоприемников как и отдельный предварительный контроль их изоляции перед включением напряжения (блокировочное реле утечки – БРУ).

Подстанция имеет следующий алгоритм работы: в обычном режиме технологические токоприемники питаются напряжением 690 В от предназначенного для этого вывода I, а ВМП или газоотсасывающая установка – от вывода II, приоритетного по бесперебойности электроснабжения (рис. 1).

Отключение технологических токоприемников в случае необходимости осуществляется с помощью автоматического выключателя технологического вывода трансформаторной подстанции. При этом вентиляторы местного проветривания или газоотсасывающая установка не отключаются и работают в заданном режиме. В рабочем режиме остается и приоритетный по бесперебойности электроснабжения токоприемник, если возникает утечка тока или токов КЗ в сети технологических токоприемников, поскольку вследствие избирательности действия блока защиты от утечек срабатывает только автоматический выключатель технологических токоприемников, выключая их питание, а выключатель приоритетных по бесперебойности токоприемников не отключается.

В случае утечки тока или тока КЗ в сети токоприемников, приоритетных по бесперебойности электроснабжения, срабатывает их автоматический выключатель, отключая напряжение питания. Одновременно отключается и автоматический выключа-

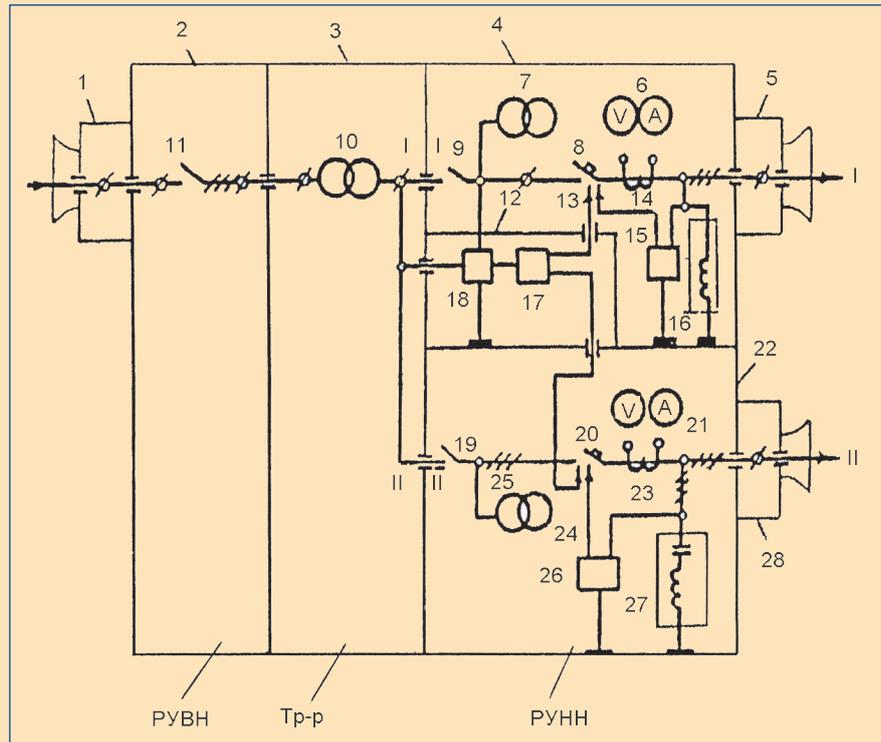


Рис. 1. Структурная схема двухфидерной подстанции с одним устройством для контроля сопротивления изоляции и защитного отключения: 1 – кабельный ввод распреустройства высшего напряжения (РУВН); 2 – взрывонепроницаемое отделение оболочки подстанции для разъединителя стороны РУВН; 3 – взрывонепроницаемые отделения оболочки подстанции для силового трансформатора; 4 и 22 – взрывонепроницаемые отделения оболочки распреустройства низшего напряжения подстанции РУНН; 5 и 28 – отделения выводов оболочки подстанции РУНН; 6 и 21 – измерительные приборы отделения оболочки подстанции РУНН; 7 и 25 – трансформаторы собственных нужд отделения оболочки подстанции РУНН; 8 и 20 – автоматические выключатели отделения оболочки подстанции РУНН; 9 и 19 – трансформаторы тока отделения оболочки подстанции РУНН; 10 – силовой трехфазный трансформатор; 11 – разъединитель (или выключатель); 12 – отделение устройства изоляции защитного отключения; 13 и 24 – выходы блока логики отделения оболочки подстанции РУНН; 14 и 23 – трансформаторы тока отделения оболочки подстанции РУНН; 15 и 26 – блоки предварительного контроля сопротивления изоляции отделения оболочки подстанции РУНН; 16 и 27 – устройство компенсации емкости; 17 – блок логики; 18 – устройство контроля изоляции и защитного отключения.

тель технологических токоприемников. Благодаря такой блокировке, работа технологических токоприемников невозможна, если обесточены и не работают токоприемники, приоритетные по бесперебойности электроснабжения.

Модернизированная передвижная подстанция успешно выдержала приемочные испытания и оставлена на шахте «Ясиновская-Глубокая» ГП «Макеевуголь». Межведомственная комиссия рекомендовала серийное производство модернизирован-

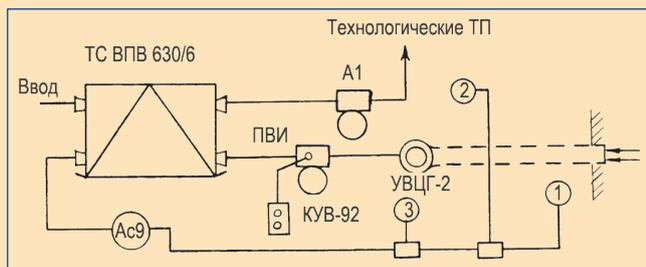


Рис. 2. Схема электроснабжения установки УВЦГ-2 с подстанцией ТСВПВ-630/6: 1, 2, 3 – датчики метана аппаратуры АКМ; Ас9 – аппарат сигнализации аппаратуры АКМ. Стрелками показан забор воздуха из-за перемычки.

ной передвижной подстанции ТСВПВ-630/6 на производственной базе УкрНИИВЭ.

В схеме электроснабжения при использовании такой подстанции газоотсасывающая установка типа УВЦГ-2 (рис. 2) с электродвигателем мощностью 11 кВт питается от магнитного пускателя типа ПВИ-125, который подключается непосредственно к приоритетному по бесперебойности питания выводу подстанции или к автоматическому выключателю, если передвижная подстанция ТСВПВ-630/6 расположена на некотором удалении от пускателя ПВИ (за пределами видимости), но также подключенному к приоритетному выводу.

Установка УВЦГ-2 включается с кнопочного поста дистанционного управления КУВ-92. Технологические токоприемники подключены к автоматическому выключателю А1, который подключается ко второму выводу подстанции, не имеющему приоритета по бесперебойности.

В соответствии с п. 6.1 Руководства [1] необходим контроль концентрации метана в воздухе у перемычки в погашаемом тупике (см. рис. 2, датчик 1), исходящей струе воздуха из лавы (датчик 2) и в вентиляционной выработке в 2 – 3 м от смесителя установки УВЦГ-2 (датчик 3). Схема электроснабжения должна обеспечивать отключение электроснабжения:

- лавы и вентиляционного штрека при неработающей установке УВЦГ-2;
- установки УВЦГ-2 и потребителей вентиляционного штрека при концентрации метана 1,3 % и более в исходящей струе лавы или выемочного участка, а также в 2 – 3 м от смесителя;
- потребителей лавы и вентиляционного штрека, кроме установки УВЦГ-2, при концентрации метана 2 % и более в погашаемом тупике у перемычки.

Такая схема электроснабжения обеспечивает обособленное от технологических токоприемников питание установок отвода метана и повышает бесперебойность их работы, поскольку при срабатыва-

нии защиты от утечек тока или максимальной токовой защиты технологических токоприемников не происходит отключение напряжения газоотсасывающих вентиляторов, равно как и при оперативных отключениях напряжения технологических токоприемников. Этим обеспечивается непрерывность работы газоотсасывающей установки, а также предотвращение скоплений метана и загазирование выработок, подобного загазированию, которое произошло на шахте «Краснолиманская» и явилось главной причиной упомянутого взрыва.

Считая, что в погашаемой выработке имеется метан, формирование опасного события – загазирование S_T возможно при реализации таких опасных состояний:

X1 – газоотсос остановлен из-за выхода из строя установки УВЦГ-2;

X2 и X2' – отключение напряжения из-за утечки тока в технологических токоприемниках и в системе питания установки УВЦГ-2, вызвавшее ее остановку;

X3 и X3' – отключение питания из-за срабатывания максимальной токовой защиты при КЗ в системе питания технологических токоприемников и установки УВЦГ-2, что вызвало ее остановку;

X4 и X4' – отключение напряжения по организационным соображениям технологических токоприемников и в системе установки УВЦГ-2, что привело к ее остановке;

X5 – не закрыта заслонка на газоотводящем трубопроводе обслуживающим персоналом, что грозит поступлением метана;

X6 – неисправность заслонки или наличие утечек из-за дефектов уплотнения, что может привести к поступлению метана.

Формирование опасного события S_T представим в виде разработанного «дерева» опасных состояний. На рис. 3 выделена ветвь дерева – формирования события – отключение установки УВЦГ-2 и прекращение ее работы S_3 , так как существуют отличия при обычной схеме электроснабжения и с использованием подстанции ТСВПВ-630/6. В обычной схеме электроснабжения, когда питание установки УВЦГ-2 не отделено от питания технологических токоприемников, утечка тока или ток КЗ в любой точке системы электроснабжения приводят к отключению общего выключателя подстанции и обесточиванию установки УВЦГ-2. В случае использования подстанции ТСВПВ-630/6 утечки тока или тока КЗ в системе питания технологических токоприемников не вызывают отключения питания установки УВЦГ-2,

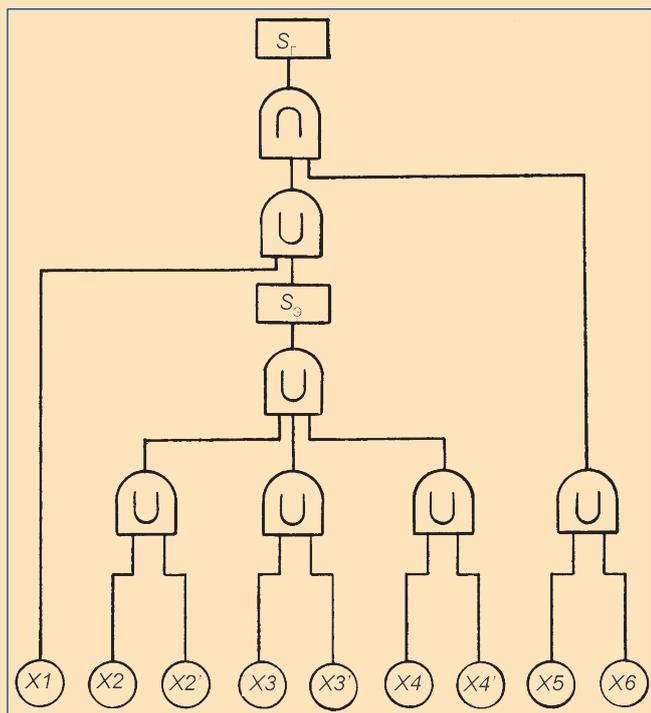


Рис. 3. Дерево формирования события – загазирование.

а отключение происходит только при утечках или токе КЗ в системе питания установки УВЦГ-2.

Проследивая логический переход опасных состояний к опасному событию как схождение отдельных ветвей дерева, учтем, что логическое умножение (пересечение) событий согласно алгебре логики определяется конъюнкцией (логическое умножение – знак \wedge), а логическая одновременность существования событий – дизъюнкцией (логическое сложение – знак \vee) [2].

Таким образом, для дерева (см. рис. 3) формирование события загазирование в случае традиционной системы электроснабжения записывается в виде выражения

$$S_r = \{X1 \vee (X2 \vee X2') \vee (X3 \vee X3') \vee (X4 \vee X4')\} \wedge (X5 \vee X6). \quad (1)$$

Для системы электроснабжения с применением подстанции ТСВПВ-630/6 события X2, X3, X4 невозможны, поскольку установка УВЦГ-2 имеет независимое питание от технологических токоприемников. Событие загазирование представим уравнением

$$S_r' = (X1 \vee X2' \vee X3' \vee X4') \wedge (X5 \vee X6). \quad (2)$$

Возможность событий S_r и S_r' как и каждого из опасных состояний оценивается вероятностью их появления. Обозначим:

Q_1 – вероятность остановки процесса газоотвода из-за выхода из строя газоотсасывающей установки;

Q_2 и Q_2' – вероятность появления утечки тока в системе электроснабжения технологических токоприемников и установки УВЦГ-2;

Q_3 и Q_3' – вероятность возникновения тока КЗ в системе электроснабжения технологических токоприемников и установки УВЦГ-2;

Q_4 и Q_4' – вероятность отключения напряжения из-за необходимости проведения организационных мероприятий для технологических токоприемников и в системе УВЦГ-2;

Q_5 – вероятность того, что по разным причинам обслуживающий персонал не закрыл заслонку в трубопроводе;

Q_6 – вероятность того, что заслонка оказалась неисправной или имеются неплотные стыки.

Характеризуя каждое из событий (состояний), входящих в формулы (1) и (2), вероятностью их возникновения, получим вероятностные математические модели загазирования:

а) при традиционной системе электроснабжения:

$$Q_r = (Q_1 + Q_2 + Q_2' + Q_3 + Q_3' + Q_4 + Q_4') (Q_5 + Q_6); \quad (3)$$

б) при применении подстанции ТСВПВ-630/6:

$$Q_r' = (Q_1 + Q_2' + Q_3' + Q_4') (Q_5 + Q_6). \quad (4)$$

Для анализа эффективности обособленного от технологических токоприемников питания установки УВЦГ-2 достаточно сравнить вероятности загазирования Q_r и Q_r' по известным вероятностям опасных состояний $Q_1 - Q_6$ [3], рассчитанным на периодичность проверки УВЦГ-2, равную 18 ч.

Расчетные параметры опасных состояний

Остановка газоотсасывающей установки из-за отказов электродвигателя и вентилятора Q_1	0,00306
Возникновение утечки тока в системе электроснабжения:	
газоотсасывающей установки Q_2	0,055
технологических токоприемников Q_2'	0,44
Возникновение тока КЗ в системе электроснабжения:	
газоотсасывающей установки Q_3	0,02
технологических токоприемников Q_3'	0,16
Отключение напряжения по организационным причинам:	
газоотсасывающей установки Q_4	0,063
технологических токоприемников Q_4' (при количестве m)	0,063 m
Незакрытие заслонки в газоотсасывающем трубопроводе персоналом Q_5	0,0154

Показатели	Количество m технологических токоприемников, питающихся от подстанции вместе с установкой отвода метана							
	0	1	2	3	4	5	6	7
Вероятность: остановки отвода метана Q'_3	0,138	0,276	0,384	0,552	0,690	0,824	0,552	1,0
загазирования Q_r	0,0024	0,0048	0,0072	0,0095	0,0119	0,0143	0,0167	0,0194
Относительное снижение вероятности загазирования n	1	1,98	2,96	3,93	4,91	5,89	6,87	7,85

Механические дефекты заслонки, не позволяющие герметически перекрыть газоотсасывающий трубопровод Q_6 0,0018

Если газоотводящая установка питается от той же подстанции, что и технологические токоприемники, то с увеличением числа технологических токоприемников возрастает вероятность остановки газоотсоса по причине отключения электроэнергии, вызванного срабатыванием электрических защит, и вероятность загазирования выработок. Если технологических токоприемников более семи, вероятность остановки газоотсоса Q'_3 можно принять равной единице, так как при значениях вероятностей событий S'_2, S'_3, S'_4 (таблица) их сумма равна единице, что означает безальтернативное прекращение работы газоотсасывающей установки. При этих условиях вероятность загазирования оценивается $Q_r = 0,017$.

Представляет интерес, кроме вероятности, оценка эффективности по другому критерию – отношению $n = Q_r / Q'_r$, показывающему, во сколько раз уменьшится вероятность загазирования, если питание газоотсасывающего вентилятора осуществить отдельно от технологических токоприемников. Результат оценки по этому критерию более достоверный, так как большинство вероятностей опасных состояний, входящих в формулы для определения Q_r, Q'_r , фигурируют в числителе и в знаменателе выражения для определения относительного показателя n , что снижает погрешности расчета.

С учетом выражений (3) и (4) имеем

$$n = \frac{[Q_1 + (m+1)Q'_3](Q_5 + Q_6)}{(Q_1 + Q'_3)(Q_5 + Q_6)}, \quad (5)$$

откуда следует

$$n = \frac{Q_1 + (m+1)Q'_3}{Q_1 + Q'_3} = \frac{Q_0}{Q'_0}, \quad (6)$$

где Q_0 и Q'_0 – вероятности остановки газоотсоса по всем причинам соответственно при питании ее совместно с технологическими токоприемниками и при раздельном.

Человеческий фактор одинаково влияет на вероятность загазирования выработок при отводе мета-

на и при оценке относительного снижения вероятности загазирования за счет обеспечения отдельно от технологических токоприемников питания газоотсасывающих вентиляторов, поэтому может не учитываться.

Для удобства расчетов выражение (5) представим в виде

$$n = [(Q_1 / Q'_3) + m + 1] / [(Q_1 / Q'_3) + 1]. \quad (7)$$

Анализ полученного выражения, а также результатов расчетов, выполненных по этому выражению и приведенных в таблице, показывает, что величина n изменяется в зависимости от количества технологических токоприемников по закону прямой линии в виде $n = 1 + m$ в связи с тем, что значение Q_1 / Q'_3 невелико и практически не влияет на результат расчета.

Таким образом, использование модернизированной трансформаторной подстанции ТСВПВ-630/6 с отдельными выводами для газоотсасывающих установок и технологических токоприемников способствует снижению вероятности взрыва метана, накапливающегося в выработанном пространстве или в погашаемых выработках, аналогично снижению вероятности загазирования. Подобным образом можно определить уменьшение вероятности загазирования и взрыва газа в тупиковой выработке, если независимо от технологических токоприемников питать ВМП с помощью подстанции ТСВПВ-630/6.

Подстанция ТСВПВ-630/6 дает возможность реализовать схему электроснабжения тупиковой выработки при резервировании ВМП с питанием от одной подстанции и рабочего, и резервного ВМП, как это предписано ДНАОП 1.1.30-5.2896 «Инструкция по электроснабжению и применению электрооборудования в проветриваемых ВМП тупиковых выработках шахт, опасных по газу». Из рис. 4 видно, что резервный ВМП питается от вывода 1 передвижного участка подстанции (ПУПП), а рабочий ВМП – от вывода 2 этой подстанции. На схеме показано также расстановку электрооборудования и средств контроля метана стационарной аппаратуры АКМ согласно требованиям Правил безопасности в угольных шахтах.

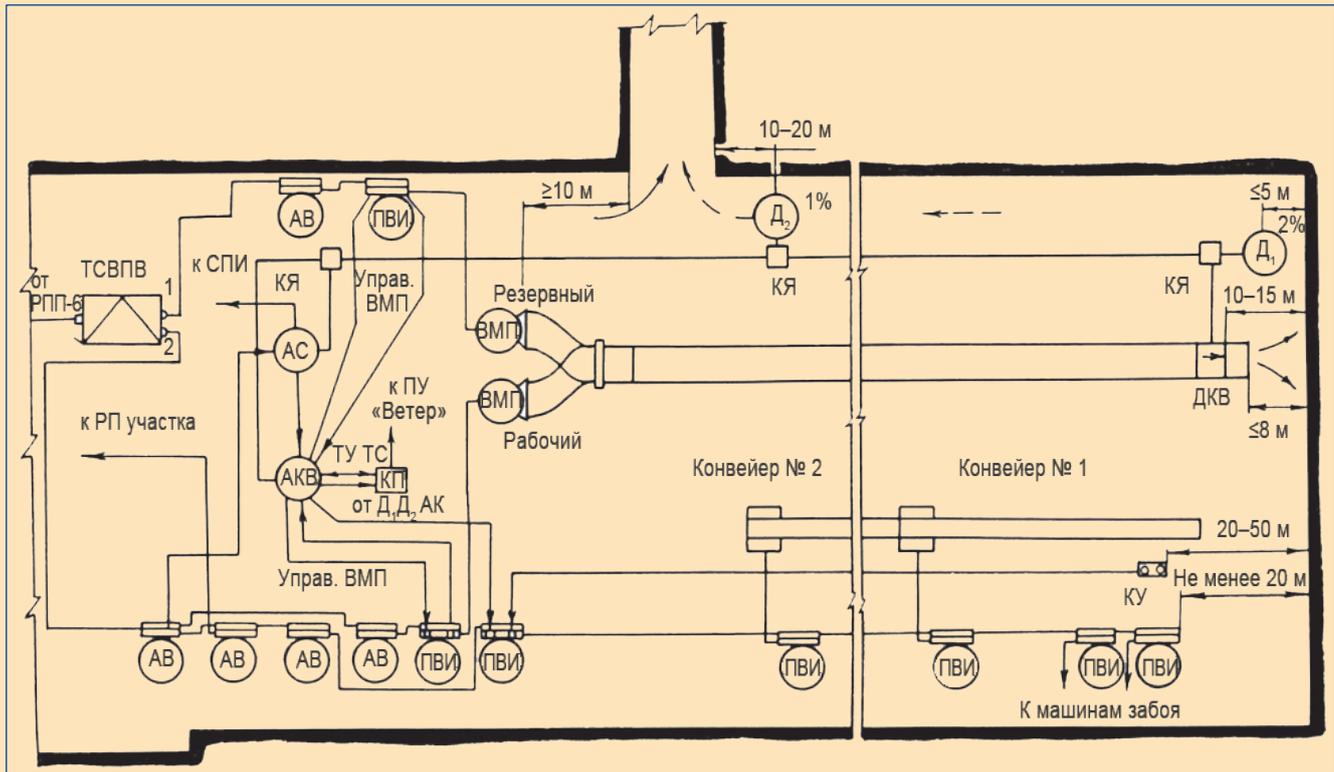


Рис. 4. Схема электроснабжения тупиковой выработки при резервировании ВМП от одной ПУПП с двумя выводами для питания рабочего и резервного ВМП: ПУПП – трансформаторная передвижная подстанция ТСВПВ-630/6; АВ – автоматический выключатель; ПВИ – магнитный пускатель; АС – аппарат газовой защиты; АКВ – аппарат контроля расхода воздуха; КУ – кнопочный пост; ВМП – вентилятор местного проветривания; КП – концентратор приемопередачи; Д – датчики контроля метана; ДКВ – датчик контроля воздуха; КЯ – клеммный ящик; ПУ «Ветер» – пульт управления аппаратуры «Ветер».

Важно, что применение одной ПУПП вместо двух уменьшает затраты на приобретение оборудования и упрощает эксплуатационные затраты на размещение и обслуживание в выработке.

Выводы. Эффективность рекомендованных систем электроснабжения при применении модернизированной подстанции ТСВПВ-630/6 состоит в следующем:

- предотвращение загазования выработок и взрывов метана, происходящих при остановке ВМП и нарушении проветривания;
- повышение производительности проходческих работ за счет уменьшения простоев, вызванных остановкой технологических работ при нарушении проветривания;
- снижение затрат на приобретение оборудования за счет питания рабочего и резервного ВМП от одной подстанции вместо от двух подстанций.

Использование модернизированных передвижных подстанций ТСВПВ-630/6 в схемах электроснаб-

жения газоотсасывающих установок и вентиляторов местного проветривания обеспечивает социальный эффект, т. е. повышает взрывобезопасность угольных шахт, и экономический эффект, который заключается в уменьшении денежных затрат на приобретение и устройство участков передвижных подстанций.

ЛИТЕРАТУРА

1. *Руководство по проектированию вентиляции угольных шахт.* – К., 1991. – 311 с.
2. *Ткачук С. П.* Взрывобезопасность горного оборудования / С. П. Ткачук, В. П. Колосюк, С. А. Ихно. – К.: Основа, 2000. – 695 с.
3. *Колосюк В. П.* Повышение взрывобезопасности выемочных участков угольных шахт, применяющих отвод метана с помощью газоотсасывающих установок / В. П. Колосюк, Ю. В. Товстик, О. Г. Болтунов // Способы и средства создания безопасных и здоровых условий труда в угольных шахтах: сб. науч. тр. / МакНИИ. – Макеевка – Донбасс, 2011. – Вып. 1(27). – С. 68 – 86.