

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 м<sup>3</sup>/мин установками типа УСМ-02 и до 3 м<sup>3</sup>/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.

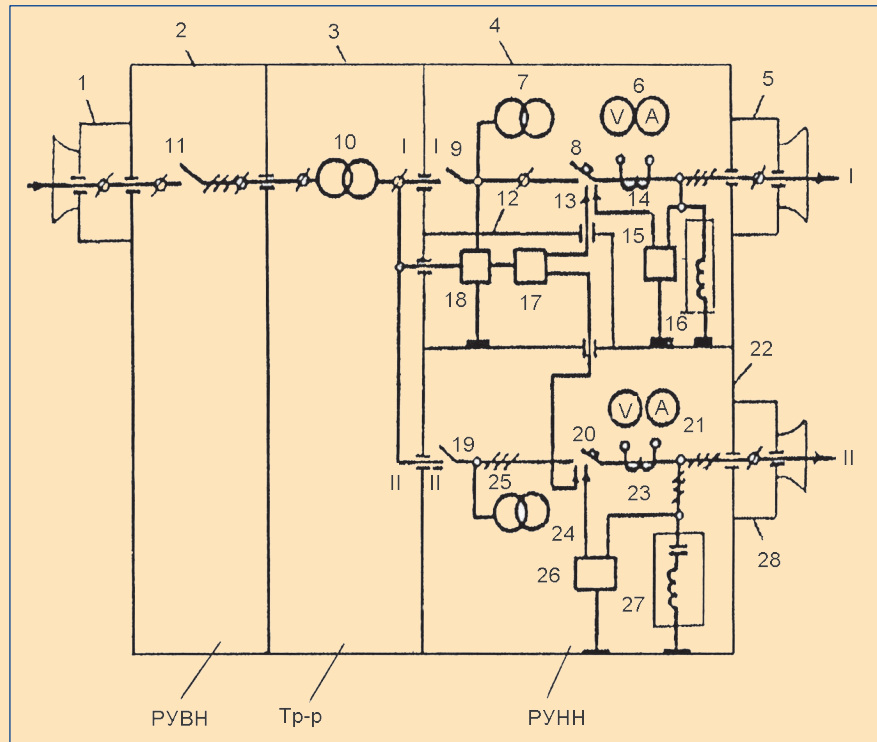
Для реализации такой концепции МакНИИ совместно с УкрНИИВЭ разработана модернизированная шахтная передвижная подстанция ТСВПВ-630/6 с блоками электрических защит от токов короткого замыкания (КЗ) и уте-

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.

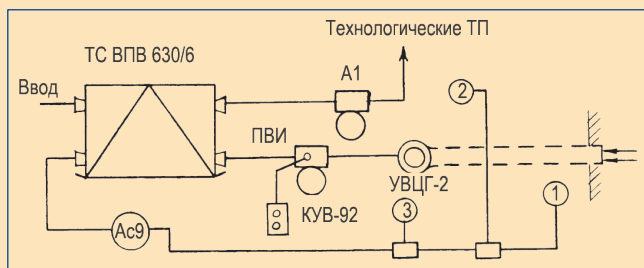
В случае утечки тока или тока КЗ в сети токоприемников, приоритетных по бесперебойности электроснабжения, срабатывает их автоматический выключатель, отключая напряжение питания. Одновременно отключается и автоматический выключа-



**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,

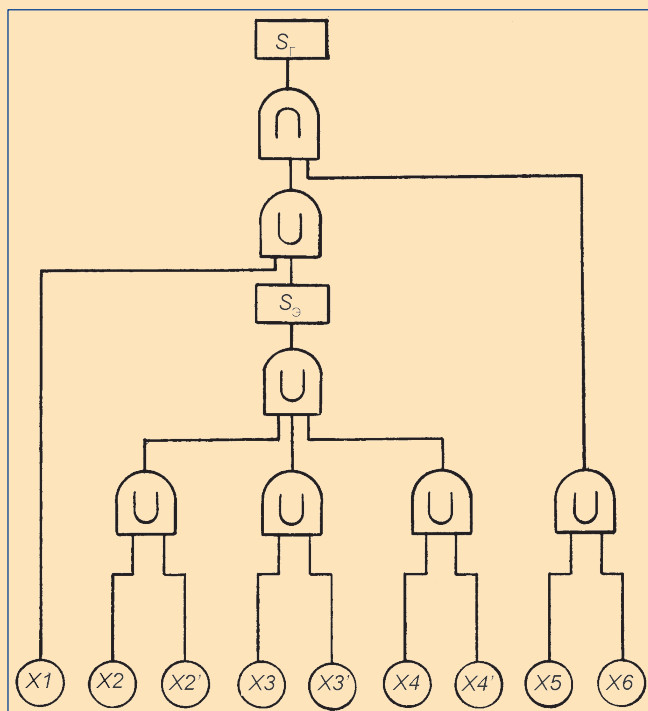


Рис. 3. Дерево формирования события – загазирование.

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 $Q'_3$ загазирования $Q_r$	0,138 0,0024	0,276 0,0048	0,384 0,0072	0,552 0,0095	0,690 0,0119	0,824 0,0143	0,552 0,0167	1,0 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.

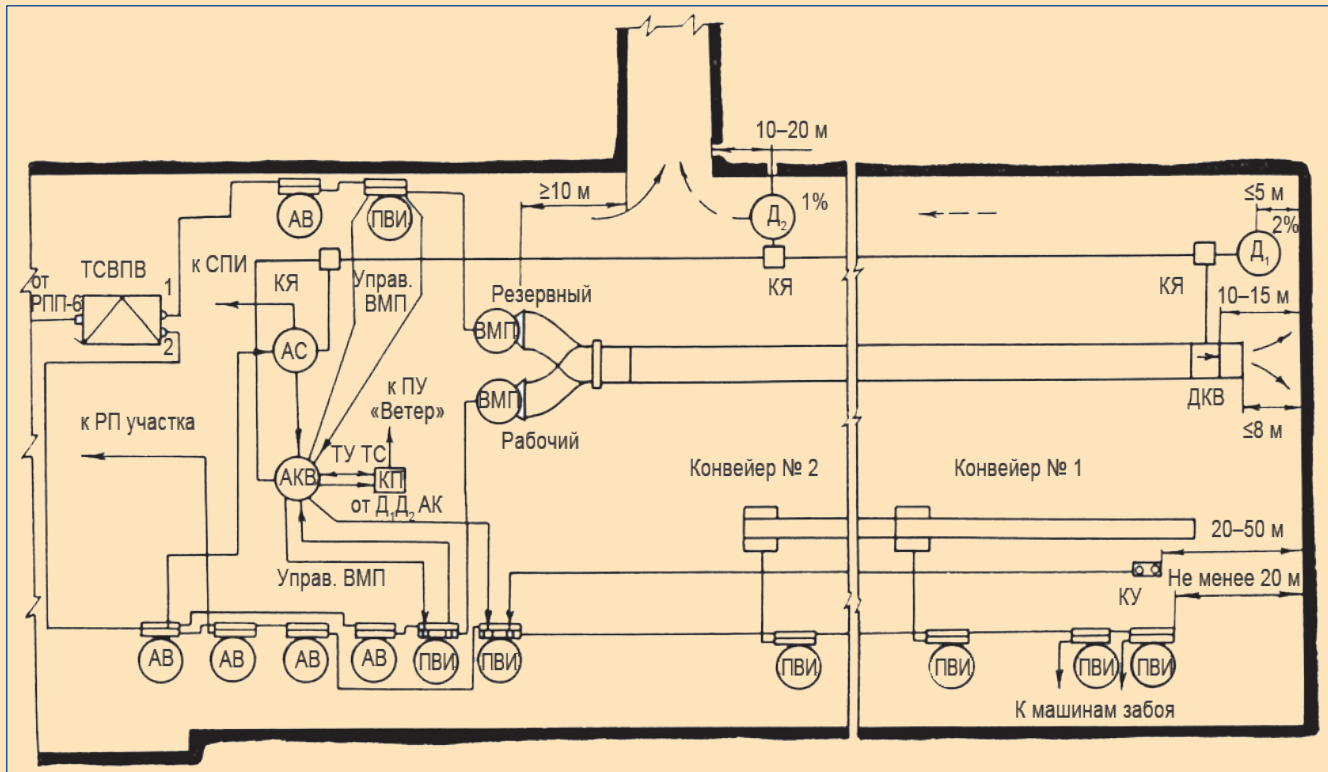
Для удобства расчетов выражение (5) представим в виде

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

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.