
УДК 622.817.4**Б.П. ЮРЧЕНКО, ст. науч. сотрудник,****Е.А. ЯКОВЕНКО, зав. лаб.,****Н.Л. ТИМОФЕЕВА, науч. сотрудник,****С.С. МАТВЕЕВ, науч. сотрудник; МакНИИ, г. Макеевка****ОПТИМИЗАЦИЯ ПАРАМЕТРОВ ГАЗОПРОВОДА
ПРИ ДЕГАЗАЦИИ ВЫРАБОТАННОГО ПРОСТРАНСТВА**

Обоснована необходимость и предложен расчет параметров отростков газопровода, прокладываемых параллельно основной трубе, обеспечивающих достаточную эффективность дегазации выработанного пространства при столбовой системе разработки угольных пластов и схеме проветривания выемочного участка типа I-M.

Ключевые слова: выработанное пространство, отросток газопровода, эквивалентный диаметр, метановоздушная смесь, эффективность дегазации.

При столбовой системе разработки угольных пластов и возвратно-точном проветривании выемочных участков, когда выработки за очистным забоем не сохраняют и дегазация сближенных пластов не обеспечивает нужной эффективности, рекомендуется применять способ отвода метана из выработанного пространства отростками газопровода, которые устанавливаются по мере подвигания очистного забоя [1]. При этом предусмотрено два варианта: вертикальные отростки – “свечи”, монтируемые на основной газопровод и отростки газопровода длиной 30 м, прокладываемые параллельно основной трубе и присоединяемые к ней через тройники при проходе последних очистным забоем. Второй вариант имеет значительное преимущество в повышении эффективности дегазации выемочного участка, так как ближайшая к очистному забою “свеча”, устанавливаемая на основной газопровод, может отбирать 30% и более каптируемой дегазационной системой метановоздушной смеси (МВС) с низкой концентрацией метана вблизи очистного забоя. При использовании второго варианта ближайший к очистному забою отросток начинает каптировать МВС на расстоянии 30 м за очистным забоем, где концентрация метана значительно выше.

В [1] (Приложение Е.2) приводится расчет параметров и режимов дегазации отростками газопровода – “свечами”, которые устанавливаются на основной газопровод. Метод расчета параметров дегазации отростками газопровода, прокладываемых параллельно основной трубе, в нормативных документах отсутствует.

Целью работы является оптимизации параметров отролков газопровода, прокладываемых параллельно основной трубе, обеспечивающих достаточную эффективность дегазации выработанного пространства при столбовой системе разработки угольных пластов при схеме проветривания выемочного участка 1-М.

Рассмотрим расчет параметров отролков газопровода на примере 420-ой южной лавы пласта l_3 ОП “Шахта им. А.Г.Стаханова”. Отработка этой лавы осуществлялась по столбовой системе разработки по восстанию пласта на глубине 1108–1020 м. Длина выемочного столба 1000 м. Длина лавы 200 м. Планируемая нагрузка на очистный забой 1240 т/сут. Средняя вынимаемая мощность пласта в пределах выемочного участка – 1,35 м. Выемка угля производилась комбайном РКУ–10 с механизированным комплексом 2КД–90. Минимальная площадь поперечного сечения призабойного пространства – 3,0 м². Управление кровлей – полное обрушение. Схема проветривания выемочного участка – возвратноточная с выдачей исходящей струи на массив угля – типа 1-М-Н-г-вт. На участок подавалось 997 м³/мин воздуха.

Ожидаемое метановыделение на планируемую нагрузку рассчитано по лаве-аналогу – 419-ой южной лаве пласта l_3 и составило 16,36 м³/мин. Газовый баланс выемочного участка определен по методике прогноза газобильности на ПЭВМ по программе “Газ”, с учетом фактического метановыделения в очистную выработку (табл. 1).

Таблица 1

Газовый баланс выемочного участка

Источник метановыделения	Среднее ожидаемое метановыделение, м ³ /мин	Доля метановыделения, %
Разрабатываемый пласт, $\bar{I}_{Оч}$	3,32	20,3
Угольные пласты в кровле, $\bar{I}_{с.п.кр}$	6,89	42,1
Угольные пласты в почве, $\bar{I}_{с.п.п}$	1,71	10,5
Породы, $\bar{I}_{пор}$	4,44	27,1
Всего по участку, $\bar{I}_{уч}$	16,36	100

Метановыделение из выработанного пространства ($\bar{I}_{вн}$) определим по формуле:

$$\bar{I}_{вн} = \bar{I}_{уч} - \bar{I}_{Оч}, \quad \bar{I}_{вн} = 16,36 - 3,32 = 13,04 \text{ м}^3/\text{мин}. \quad (1)$$

На участок подавалось в среднем $997 \text{ м}^3/\text{мин}$ воздуха. С учётом воздуха, отводимого дегазационной системой $Q_{дег}$ при минимальной длине газопровода (полученного в дальнейших расчетах), его расход в исходящей струе участка составляет:

$$Q_{исх} = Q_{уч} - Q_{дег} = 997 - 80 = 917 \text{ м}^3/\text{мин}. \quad (2)$$

Средний дебит метана в исходящей струе участка с учетом его неравномерности должен быть не более:

$$\bar{I}_{исх.дон} = \left(\frac{Q_{уч}}{194} \right)^{1,16} = \left(\frac{917}{194} \right)^{1,16} = 6,06 \text{ м}^3/\text{мин}. \quad (3)$$

Средствами дегазации необходимо каптировать:

$$\bar{I}_{дег} = \bar{I}_{уч} - \bar{I}_{исх.дон} = 16,36 - 6,06 = 10,3 \text{ м}^3/\text{мин}. \quad (4)$$

Рассчитаем расход газовой смеси и метана в выработанном пространстве по мере удаления от очистного забоя.

Расчёт изменения расхода газовой смеси и метана в выработанном пространстве 420-й южной лавы выполнен по формулам (Е3) - (Е6) [1]:

$$Q_{см.х} = Q_x + \bar{I}_x; \quad C_{вн.х} = \frac{\bar{I}_x}{Q_x + \bar{I}_x}, \quad (5)$$

где Q_x и \bar{I}_x – расход воздуха и дебит метана в выработанном пространстве на расстоянии X от очистного забоя, $\text{м}^3/\text{мин}$, соответственно;

$C_{вн.х}$ – концентрация метана в выработанном пространстве на расстоянии X от очистного забоя, %;

$$Q_x = Q_{ym.в} \cdot \exp[(0,3f - 4) \cdot 10^{-2} \cdot X]. \quad (6)$$

Величина утечек воздуха через выработанное пространство $Q_{ym.в}$ определяется по формуле [2]:

$$Q_{ym.в} = Q_{уч} \left(1 - \frac{1}{k_{ym.в}} \right), \quad (7)$$

где $Q_{уч}$ – расход воздуха на участке, $\text{м}^3/\text{мин}$;

$k_{ym.в}$ – коэффициент утечек воздуха через выработанное пространство, согласно данным шахты $k_{ym.в} = 1,51$,

f – средневзвешенный коэффициент крепости пород кровли, $f = 5$.

$$\bar{I}_x = \bar{I}_{en} \left(\frac{X}{L} + 1 \right) \cdot \exp\left(-\frac{X}{L} \right), \quad (8)$$

где L – расстояние от забоя лавы, на котором метановыделение из сближенных пластов максимально, м:

$$L = 9 + 0,81 \cdot M_{cp} = 9 + 0,81 \cdot 106,9 = 95,6 \text{ м}, \quad (9)$$

$M_{cp} = 106,9$ м – средневзвешенное по мощности расстояние до сближенных пластов в кровле;

$$Q_{yt.в} = 997 \cdot \left(1 - \frac{1}{1,51} \right) = 336,7 \text{ м}^3/\text{мин},$$

$\bar{I}_{en} = 13,04 \text{ м}^3/\text{мин}$ – общее метановыделение из сближенных пластов и пород.

Подставляя численные значения в формулы (6) и (8), получим:

$$Q_x = 336,7 \cdot \exp[-0,025 \cdot X],$$

$$\bar{I}_x = 13,04 \cdot (0,01 \cdot X + 1) \cdot \exp(-0,01 \cdot X).$$

Решение уравнений (5, 6, 8) относительно X при подаче на участок $997 \text{ м}^3/\text{мин}$ воздуха приведено в табл. 2.

Таблица 2

Расход газовой смеси, дебита и содержания метана в выработанном пространстве 420-й южной лавы

Расстояние от очистного забоя, X , м	Расход воздуха, Q_x , $\text{м}^3/\text{мин}$	Дебит метана, I_x , $\text{м}^3/\text{мин}$	Содержание метана, C_x , %	Расход газовой смеси, $Q_x + I_x$, $\text{м}^3/\text{мин}$
1	2	3	4	5
30	159,0	12,56	7,3	171,6
60	75,1	11,45	13,2	86,6
80	45,6	10,55	18,8	56,1
85,2	40,0	10,3	20,5	50,3
90	35,5	10,07	22,1	45,6
120	16,8	8,64	34,0	25,4
130	13,1	8,17	38,5	21,2
135	11,5	7,94	40,8	19,5
145	9,0	7,49	45,5	16,5
150	7,9	7,27	47,9	15,2
175	4,2	6,23	59,5	10,5
180	3,7	6,04	61,7	9,8

Окончание табл. 2

1	2	3	4	5
185	3,3	5,84	63,9	9,1
205	2,0	5,12	71,9	7,1
210	1,8	4,95	73,7	6,7
230	1,1	4,31	80,1	5,4
235	0,9	4,17	81,5	5,1
265	0,4	3,36	88,3	3,8
285	0,3	2,90	91,5	3,2

Примечание. Расстояние от очистного забоя X в табл. 2 задавалось с учетом положения “свечей” в выработанном пространстве, полученных в дальнейших расчетах.

В соответствии с [1] (пункт Е.1.2) находим расстояние X в метрах от очистного забоя до места в выработанном пространстве, где выполняется условие:

$$I_{необх} = I_x \quad (10)$$

Условие выполняется на расстоянии 85,2 м от очистного забоя ($I_x = I_{необх} = 10,3$ м³/мин). Расход МВС ($Q_{см}$) на таком расстоянии составляет 50,3 м³/мин. Следовательно, “свечи” должны каптировать не менее 50,3 м³/мин МВС.

Дегазация 420-й южной лавы осуществлялась подземной вакуум-насосной станцией (ПВНС), оснащенной тремя вакуум-насосами производительностью 50 м³/мин. Общая длина газопровода при максимальной длине участкового трубопровода составляет 1250 м.

С учетом нормативных подсосов воздуха требуемый расход МВС на ПВНС (Q_n) должен составлять не менее:

$$Q_n = Q_{см} + 1,1 \cdot l_{тп} \cdot 10^{-3} = 50,3 + 1,1 \cdot 1250 \cdot 10^{-3} = 51,7 \text{ м}^3/\text{мин}. \quad (11)$$

Рассчитаем требуемое количество насосов (n_n):

$$n_n = \frac{k_1 + k_2 \cdot Q_n}{350} = \frac{38 + 14,4 \cdot 51,7}{350} = 2,2. \quad (12)$$

Для насосов ВВН2-50 $k_1 = 38$, $k_2 = 14,4$ [1].

Давление на всасывающей патрубке вакуум-насоса определялось по формуле:

$$P_6 = k_1 + \frac{k_2 \cdot Q_n}{n_n} = \frac{38 + 14,4 \cdot 51,7}{2} = 410,2 \text{ мм рт. ст.} \quad (13)$$

$\Delta P_{y\partial}$ – удельные допустимые потери давления в газопроводе, мм рт. ст./м

$$\Delta P_{y\partial} = \frac{760 - P_{\epsilon}}{1,1 \cdot l_{mp}} = \frac{760 - 410,2}{1,1 \cdot 1250} = 0,254 \text{ мм рт. ст./м.} \quad (14)$$

Требуемый диаметр труб (d_2) определяли по формуле:

$$d = 0,04 \cdot \left(\frac{Q_n^2}{\Delta P_{y\partial}} \right)^{0,188} = 0,04 \cdot \left(\frac{51,7^2}{0,254} \right)^{0,188} = 0,228 \text{ м.} \quad (15)$$

Принимаем ближайший стандартный диаметр труб 273 мм (внутренний 0,255 м).

Рассчитаем расход МВС, которая может быть каптирована дегазационной системой, составленной из труб диаметром 273 мм при максимальной длине трубопровода 1250 м.

Производительность вакуум-насоса, отсасывающего газ из выработанного пространства по имеющемуся газопроводу, определяется по формулам:

$$Q_n = \frac{-b + \sqrt{b^2 + 4ac}}{2a}; \quad (16)$$

$$a = \frac{4,8 \cdot 10^{-5} \cdot l_m}{d_m^{5,33}} + \frac{k_2^2}{n^2}; \quad (17)$$

$$b = \frac{2 \cdot k_1 \cdot k_2}{n}; \quad (18)$$

$$c = 577600 - k_1^2; \quad (19)$$

где l_m – длина трубопровода 1250 м;

d_m – внутренний диаметр трубопровода, м;

n – количество насосов, работающих одновременно;

$k_1 = 38$; $k_2 = 14,4$ – для насосов производительностью 50 м³/мин,

$$a = \frac{4,8 \cdot 10^{-5} \cdot 1250}{0,255^{5,33}} + \frac{14,4^2}{4} = 139,3;$$

$$b = 38 \cdot 14,4 = 547,2;$$

$$c = 577600 - 38^2 = 576156;$$

$$Q_H = \frac{-547,2 + \sqrt{547,2^2 + 4 \cdot 139,3 \cdot 576156}}{2 \cdot 139,3} = 62,4 \text{ м}^3/\text{мин.}$$

Расчет, выполненный по аналогичной методике для минимальной длины участкового трубопровода – 450 м, показал, что производительность дегазационной системы составит 80,0 м³/мин.

Следующим этапом является расчет параметров отростков трубопровода, укладываемых параллельно основному газопроводу. Задача сводится к определению диаметра труб отростков и расстояния между ними для обеспечения достаточной эффективности дегазации. Достаточность эффективности дегазации будет оцениваться по суммарному расходу метана, капируемому всеми отростками.

Алгоритм расчета сводится к определению распределения расхода МВС между отростком и участком основного трубопровода. Зная расход МВС, капируемой отростком, расстояние от очистного забоя, на котором находится отросток, и концентрацию метана в этом месте выработанного пространства (табл. 2), рассчитывается расход метана, капируемый “свечой” отростка.

Расход метана, капируемый “свечой”, определялся по формуле:

$$I_{св} = \frac{Q_{св} \cdot C_{в.н}}{100}, \quad (20)$$

где $I_{св}$ – расход метана, капируемый “свечой”, м³/мин;

$Q_{св}$ – производительность “свечи”, м³/мин;

$C_{в.н}$ – концентрация метана в месте расположения “свечи”, %.

Суммарный расход метана определялся по формуле:

$$I_{дег} = I_{св.1} + I_{св.2} + I_{св.3} + \dots + I_{св.n}. \quad (21)$$

Расход метана, капируемый всеми отростками, сравнивается с требуемой эффективностью дегазации.

Для определения расхода МВС на первом этапе предварительно рассчитываются эквивалентные диаметры параллельных и последовательных соединений участков труб и отростков и производительность дегазационной сети, которые будут изменяться при подсоединении очередных отростков.

Для отростков применяются трубы меньшего диаметра, чем для основного трубопровода. Рассматривались наиболее распространенные на угольных шахтах трубы диаметром 89, 108, 159 мм. Предварительные расчеты показали, что при использовании для отростков труб диаметром

89 мм (0,08 м внутренний) не обеспечивается требуемая эффективность дегазации. Поэтому определялась производительность отрошков, составленных из труб 108 и 159 мм.

Расчеты выполнены для отрошков длиной 30 м при следующих условиях:

– наружный диаметр отрошков 108 мм (внутренний 0,1 м), расстояние между “свечами” 30 и 50 м;

– наружный диаметр отрошков 159 мм (внутренний 0,15 м), расстояние между “свечами” 30 и 50 м.

Схемы четырех вариантов сочетаний диаметров отрошков и расстояний между ними показаны на рисунке.

Рассчитаем производительность “свечей” первого и второго отрошков при диаметре труб 108 мм и расстоянии между “свечами” 30 м.

В соответствии с [1] на основной трубе в районе монтажного ходка устанавливается вертикальный отрошок – “свеча” такого же диаметра длиной 1,5 м. На отрошках газопровода также устанавливаются “свечи”. Поэтому при расчетах длина отрошка газопровода увеличивается на 1,5 м.

В соответствии с [1] (пункт Е.1.2) находим расстояние X от очистного забоя до места в выработанном пространстве, где выполняется условие:

$$I_{\text{необх}} = I_x.$$

Согласно табл. 2 на расстоянии 85,2 м за очистным забоем условие выполняется ($I_x = I_{\text{необх}} = 10,3 \text{ м}^3/\text{мин}$). Следовательно, работа 1-й “свечи”, установленной на основном трубопроводе, на расстоянии 85 м за очистным забоем, сможет обеспечить необходимую эффективность дегазации. Принимаем расстояние 85 м от “свечи”, установленной на основном трубопроводе, для подключения первого отрошка (см. рис.).

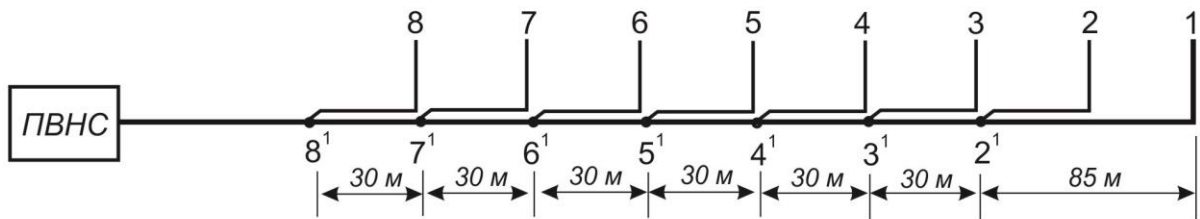
Рассчитаем параметры дегазационной сети при подключении первого отрошка.

Эквивалентный диаметр двух параллельных ветвей 2^1-1 и 2^1-1^1 определим по формуле Е.17 [1], рекомендованной для параллельного соединения труб:

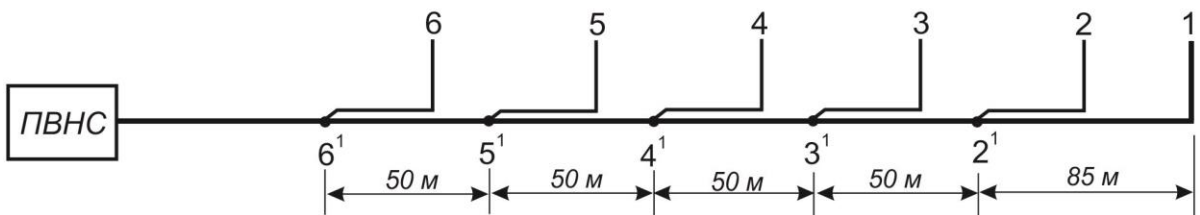
$$d_{\text{экв}} = \frac{(d_n^{2,67} \cdot l_{n+1}^{0,5} + d_{n+1}^{2,67} \cdot l_n^{0,5})^{0,375} \cdot l_{n+1}^{0,187}}{(l_n \cdot l_{n+1})^{0,187}}, \quad (20)$$

$$d_{\text{экв}} \frac{2^1-1}{2^1-2} = \frac{(0,255^{2,67} \cdot 31,5^{0,5} + 0,1^{2,67} \cdot 86,5^{0,5})^{0,375}}{31,5^{0,188}} = 0,2666 \text{ м.}$$

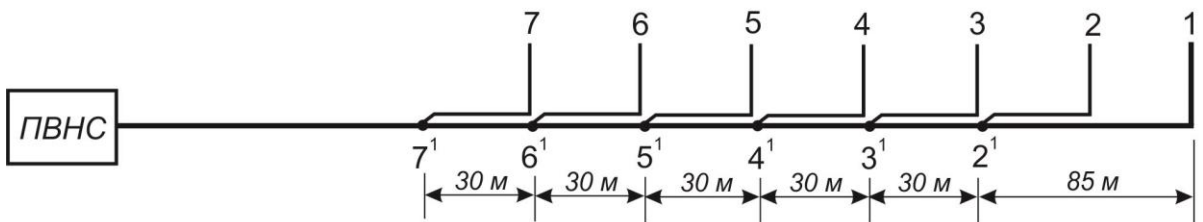
а) Диаметр отрогков 108 мм, расстояние между «свечами» отрогков 30 м



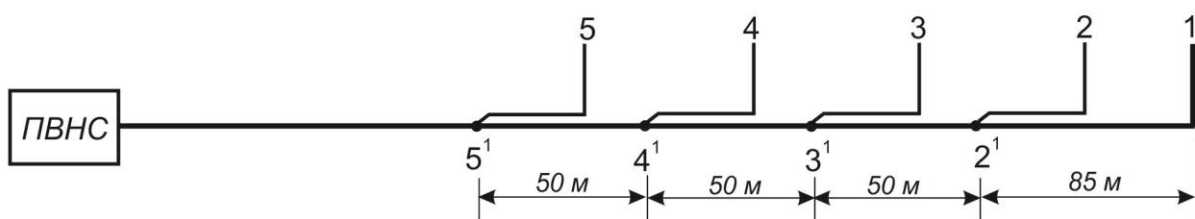
б) Диаметр отрогков 108 мм, расстояние между «свечами» отрогков 50 м



с) Диаметр отрогков 159 мм, расстояние между «свечами» отрогков 30 м



д) Диаметр отрогков 159 мм, расстояние между «свечами» отрогков 50 м



— - дегазационный трубопровод;
 ┌───┐ - отрогкок дегазационного трубопровода со «свечой»

Рисунок – Расчетные схемы для четырех вариантов сочетаний диаметров отрогков и расстояния между ними

Рассчитаем эквивалентный диаметр сети до ВНС по формуле Е.16 [1], рекомендованной для последовательного соединения труб:

$$d_{\text{экв}} = \left(\frac{(d_n \cdot d_{n+1})^{5,33} (l_{n+1} + l_n)}{l_{n+1} \cdot d_n^{5,33} + l_n \cdot d_{n+1}^{5,33}} \right)^{0,188}, \quad (21)$$

$$d_{\text{экв}} = \left(\frac{(0,255 \cdot 0,266)^{5,33} (1165 + 86,5)}{1165 \cdot 0,266^{5,33} + 86,5 \cdot 0,255^{5,33}} \right)^{0,188} = 0,255 \text{ м.}$$

Производительность двух вакуум-насосов при диаметре сети 0,255 м определена в предыдущем расчете и составляет 62,4 м³/мин. Расстояние от ПВНС до точки 2¹ – 1165 м. Расход смеси в точке 2¹ составит:

$$Q_{m,2^1} = Q_n - l_{\text{ПВНС}-2^1} \cdot 10^{-3} = 62,4 - 1165 \cdot 10^{-3} = 61,2 \text{ м}^3/\text{мин.} \quad (22)$$

Рассчитаем распределение МВС для двух ветвей трубопровода 2¹-1 и 2¹-2. Расчет производим по формуле Л.10 [1] из условия, что давление в узловой точке 2¹ для обеих параллельных ветвей 2¹-1 и 2¹-2 равно:

$$P_{\text{уз.м.}2^1} = \sqrt{P_{m,1}^2 - \frac{4,8 \cdot 10^{-5} \cdot l_{1-2^1} \cdot Q_{1-2^1}^2}{d_{1-2^1}^{5,33}}}; \quad (23)$$

$$P_{\text{уз.м.}2^1} = \sqrt{P_{m,2}^2 - \frac{4,8 \cdot 10^{-5} \cdot l_{2-2^1} \cdot Q_{2-2^1}^2}{d_{2-2^1}^{5,33}}}. \quad (24)$$

Следовательно:

$$\sqrt{P_{m,1}^2 - \frac{4,8 \cdot 10^{-5} \cdot l_{1-2^1} \cdot Q_{1-2^1}^2}{d_{1-2^1}^{5,33}}} = \sqrt{P_{m,2}^2 - \frac{4,8 \cdot 10^{-5} \cdot l_{2-2^1} \cdot Q_{2-2^1}^2}{d_{2-2^1}^{5,33}}}. \quad (25)$$

Путем преобразования равенства получим:

$$\frac{l_{1-2^1} \cdot Q_{1-2^1}^2}{d_{1-2^1}^{5,33}} = \frac{l_{2-2^1} \cdot Q_{2-2^1}^2}{d_{2-2^1}^{5,33}}. \quad (26)$$

Подставляем значения длин, диаметров отрезков и участков газопровода:

$$\frac{31,5 \cdot Q_{2-2^1}^2}{0,1^{5,33}} = \frac{86,5 \cdot Q_{1-2^1}^2}{0,255^{5,33}}.$$

Путем преобразования получаем:

$$53,5 \cdot Q_{2-2^1}^2 = Q_{1-2^1}^2,$$

$$7,3 \cdot Q_{2-2^1} = Q_{1-2^1}.$$

Расход МВС в точке 2^1 составляет $61,2 \text{ м}^3/\text{мин}$.

Зная расход МВС в узловой точке, составляем уравнение вида:

$$x + nx = Q_{уз.м}, \quad (27)$$

$$7,3 \cdot Q_{2-2^1} = 61,2 - Q_{2-2^1},$$

$$8,3 \cdot Q_{2-2^1} = 61,2 \text{ м}^3/\text{мин},$$

$$Q_{2-2^1} = 7,4 \text{ м}^3/\text{мин},$$

$$Q_{1-2^1} = 61,2 - 7,4 = 53,8 \text{ м}^3/\text{мин}.$$

Рассчитаем параметры дегазационной системы при подключении второго отростка.

Эквивалентный диаметр последовательно соединенных отрезков 3^1-2^1 и 2^1-1 определим по формуле:

$$d_{\text{экв.}3^1-1} = \left(\frac{(0,255 \cdot 0,2666)^{5,33} (86,5 + 30)}{30 \cdot 0,2666^{5,33} + 86,5 \cdot 0,255^{5,33}} \right)^{0,188} = 0,2626 \text{ м}.$$

Определим эквивалентный диаметр двух параллельных ветвей 3^1-3 и 3^1-1 :

$$d_{\text{экв.} \frac{3^1-1}{3^1-3}} = \frac{(0,2626^{2,67} \cdot 31,5^{0,5} + 0,1^{2,67} \cdot 116,5^{0,5})^{0,375}}{31,5^{0,188}} = 0,2754 \text{ м}.$$

Рассчитаем эквивалентный диаметр сети до ПВНС:

$$d_{\text{экв.сети}} = \left(\frac{(0,255 \cdot 0,2754)^{5,33} (1136,5 + 116,5)}{1136,5 \cdot 0,2754^{5,33} + 116,5 \cdot 0,255^{5,33}} \right)^{0,188} = 0,2558 \text{ м}.$$

Расход МВС на вакуум-насосе при эквивалентном диаметре сети $0,2558 \text{ м}$ определим по формулам (16) - (19):

$$a = \frac{4,8 \cdot 10^{-5} \cdot 1251,5}{0,2558^{5,33}} + \frac{14,4^2}{4} = 137,9;$$

$$b = 38 \cdot 14,4 = 547,2;$$

$$c = 577600 - 38^2 = 576156;$$

$$Q_n = \frac{-547,2 + \sqrt{547,2^2 + 4 \cdot 137,9 \cdot 576156}}{2 \cdot 137,9} = 62,7 \text{ м}^3/\text{мин.}$$

Расход смеси в точке 3¹ составит:

$$Q_{m.3^1} = 62,7 - 1115 \cdot 10^{-3} = 61,6 \text{ м}^3/\text{мин.}$$

Рассчитаем распределение МВС для двух ветвей трубопровода 3¹-1 и 3¹-3 по формуле (26):

$$\frac{31,5 \cdot Q_{3-3^1}^2}{0,1^{5,33}} = \frac{116,5 \cdot Q_{1-3^1}^2}{0,2626^{5,33}}.$$

Путем преобразования получаем:

$$46,4 \cdot Q_{3-3^1}^2 = Q_{1-3^1}^2.$$

$$6,8 \cdot Q_{3-3^1} = Q_{1-3^1}.$$

Расход МВС в точке 3¹ составляет 61,6 м³/мин.

Зная расход МВС в узловой точке, рассчитаем распределение смеси между ветвями 3-3¹ – 1-3¹ по уравнению (27):

$$7,8 \cdot Q_{3-3^1} = 61,6 - Q_{3-3^1}; \quad 7,9 \cdot Q_{3-3^1} = 61,6 \text{ м}^3/\text{мин.}$$

$$Q_{3-3^1} = 7,9 \text{ м}^3/\text{мин.}; \quad Q_{1-3^1} = 61,6 - 7,9 = 53,7 \text{ м}^3/\text{мин.}$$

Рассчитаем распределение смеси между ветвями 2¹-1 и 2¹-2. Принимаем расход МВС в точке 2¹ равным 53,7 м³/мин.

Зная соотношение длин и диаметров отрезка и отрезка трубопровода, полученных при расчете подключения первого отрезка, рассчитаем расход смеси на первом отрезке:

$$Q_{2-2^1} = \frac{53,7}{8,3} = 6,5 \text{ м}^3/\text{мин.}$$

Расход на основной (первой) “свече” составит:

$$Q_{1-2^1} = 53,7 - 6,5 = 47,2 \text{ м}^3/\text{мин.}$$

По аналогичной методике выполнены расчеты параметров работы дегазационной сети при подсоединении последующих отростков.

Результаты промежуточных расчетов эквивалентных диаметров отдельных участков трубопровода и производительность дегазационной системы для четырех вариантов сочетаний диаметров отростков и расстояний между “свечами” приведены в табл. 3 и использовались для дальнейших расчетов производительности “свечей” (табл. 4) при различных сочетаниях количества отростков, их диаметров и расстояний между ними по вышеприведенному алгоритму. Сопоставление производительности “свечей”, их положения в выработанном пространстве, концентрации и расхода метана в выработанном пространстве позволило оценить эффективность работы каждого отростка и определить их количество, обеспечивающее требуемую эффективность дегазации (табл. 4 и 5).

Определялось количество отростков за очистным забоем, позволяющих обеспечить требуемую эффективность дегазации без участия работы “свечи”, установленной на основном трубопроводе (см. табл. 5).

Анализ данных табл. 4 показывает, что производительность “свечей” при диаметре отростков 159 мм в 1,3-2 раза превышает производительность “свечей”, установленных на отростках диаметром 108 мм при диаметре основного трубопровода 273 мм.

Производительность “свечи”, установленной на основном трубопроводе, зависит от соотношения диаметров основной трубы и отростков, количества отростков перед основной “свечой”, расстояния между “свечами” отростков и составляет от 14,9 до 87,9% МВС, капируемой дегазационной системой.

Ближайшая к очистному забою “свеча” капирует от 12,1 до 30,5%, отводимой МВС. На её производительность оказывает влияние удаление от основной “свечи”, соотношение диаметров отростков и основного трубопровода и длина трубопровода от этой “свечи” до ПВНС. При диаметре отростков 108 мм ближайшая к очистному забою “свеча” в расчетном диапазоне будет капировать от 7,4 до 10,2 м³/мин МВС, при диаметре отростков 159 мм – от 17 до 19,3 м³/мин.

Как показали расчеты (см. табл. 5), при использовании для отростков труб диаметром 108 мм при диаметре основной трубы 273 мм требуемая эффективность подтверждается расчетом при расстоянии между “свечами” отростков 30 м. При расстоянии между “свечами” 50 м требуемая эффективность не достигается при установке второго и третьего отростков. В этом случае при подключении второго и третьего отростков необходимо уменьшить расстояние между “свечами” до 30 м.

Таблица 3

Параметры дегазационной системы при подключении очередного отрезка трубопровода

Вид соединения труб	Показатели	Подключение первого отрезка	Подключение второго отрезка	Подключение третьего отрезка	Подключение четвертого отрезка	Подключение пятого отрезка	Подключение шестого отрезка	Подключение седьмого отрезка
1	2	3	4	5	6	7	8	9
Диаметр отрезков 108 мм, расстояние между “свечами” 30 м								
Параллельное	нумерация расчетного участка	$\frac{2^1 - 2}{2^1 - 1}$	$\frac{3^1 - 3}{3^1 - 1}$	$\frac{4^1 - 4}{4^1 - 1}$	$\frac{5^1 - 5}{5^1 - 1}$	$\frac{6^1 - 6}{6^1 - 1}$	$\frac{7^1 - 7}{7^1 - 1}$	$\frac{8^1 - 8}{8^1 - 1}$
	эквивалентный диаметр, $d_{эkv}$, м	0,2666	0,2754	0,2834	0,2909	0,2979	0,3045	0,3107
Последовательное	нумерация расчетного участка	-	$3^1 - 1$	$4^1 - 1$	$5^1 - 1$	$6^1 - 1$	$7^1 - 1$	$8^1 - 1$
	эквивалентный диаметр, $d_{эkv}$, м	-	0,2626	0,2696	0,2763	0,2827	0,2888	0,2946
Эквивалентный диаметр сети $d_{эkv.сети}$, м		0,2555	0,2558	0,2568	0,2578	0,259	0,2602	0,2615
Расход смеси на ВНС, Q_n , м ³ /мин		62,4	62,7	63,1	63,5	64,0	64,3	64,9
Расход смеси в точке “n”, $Q_{m,n}$, м ³ /мин		(т2 ¹) 61,2	(т3 ¹) 61,6	(т4 ¹) 62,0	(т5 ¹) 62,4	(т6 ¹) 63,0	(т7 ¹) 63,3	(т8 ¹) 63,9
Диаметр отрезков 108 мм, расстояние между “свечами” 50 м								
Параллельное	нумерация расчетного участка	$\frac{2^1 - 2}{2^1 - 1}$	$\frac{3^1 - 3}{3^1 - 1}$	$\frac{4^1 - 4}{4^1 - 1}$	$\frac{5^1 - 5}{5^1 - 1}$	$\frac{6^1 - 6}{6^1 - 1}$		
	эквивалентный диаметр, $d_{эkv}$, м	0,2666	0,2752	0,2838	0,2921	0,3001		

Продолжение таблицы 3

1	2	3	4	5	6	7	8	9
Последовательное	нумерация расчетного участка	-	3 ¹ -1	4 ¹ -1	5 ¹ -1	6 ¹ -1		
	эквивалентный диаметр, $d_{эkv}$, м	-	0,2612	0,2680	0,2751	0,2822		
Эквивалентный диаметр сети $d_{эkv.сети}$, м		0,2555	0,2561	0,2575	0,2592	0,2612		
Расход смеси на ВНС, Q_n , м ³ /мин		62,4	62,8	63,4	64,0	64,8		
Расход смеси в точке "n", $Q_{т.п}$, м ³ /мин		(т2 ¹) 61,2	(т3 ¹) 62,7	(т4 ¹) 62,3	(т5 ¹) 63,0	(т6 ¹) 63,8		
Диаметр отростков 159 мм, расстояния e между "свечами" 30 м								
Параллельное	нумерация расчетного участка	$\frac{2^1-2}{2^1-1}$	$\frac{3^1-3}{3^1-1}$	$\frac{4^1-4}{4^1-1}$	$\frac{5^1-5}{5^1-1}$	$\frac{6^1-6}{6^1-1}$	$\frac{7^1-7}{7^1-1}$	
	эквивалентный диаметр, $d_{эkv}$, м	0,2884	0,3104	0,3266	0,3394	0,35	0,3592	
Последовательное	нумерация расчетного участка	-	3 ¹ -1	4 ¹ -1	5 ¹ -1	6 ¹ -1	7 ¹ -1	
	эквивалентный диаметр, $d_{эkv}$, м	-	0,2763	0,2915	0,3033	0,313	0,3212	
Эквивалентный диаметр сети $d_{эkv.сети}$, м		0,2559	0,2573	0,2581	0,2599	0,2613	0,2627	
Расход смеси на ВНС, Q_n , м ³ /мин		62,7	63,3	63,6	64,1	64,8	65,4	
Расход смеси в точке "n", $Q_{т.п}$, м ³ /мин		(т2 ¹) 61,6	(т3 ¹) 62,2	(т4 ¹) 62,7	(т5 ¹) 63,1	(т6 ¹) 63,8	(т7 ¹) 64,4	

Окончание таблицы 3

1	2	3	4	5	6	7	8	9
Диаметр отростков 159 мм, расстояние между “свечами” 50 м								
Парал- лель- ное	нумерация рас- четного участка	$\frac{2^1-2}{2^1-1}$	$\frac{3^1-3}{3^1-1}$	$\frac{4^1-4}{4^1-1}$	$\frac{5^1-5}{5^1-1}$	$\frac{6^1-6}{6^1-1}$		
	эквивалентный диаметр, $d_{эkv}$, м	0,2884	0,3098	0,327	0,3449	0,3549		
После- дова- тельное	нумерация рас- четного участка	-	3 ¹ -1	4 ¹ -1	5 ¹ -1	6 ¹ -1		
	эквивалентный диаметр, $d_{эkv}$, м	-	0,2723	0,2868	0,2992	0,3115		
Эквивалентный диаметр сети $d_{эkv.сети}$, м		0,2559	0,2578	0,2592	0,2622	0,2645		
Расход смеси на ВНС, Q_n , м ³ /мин		62,7	63,5	64,0	64,6	65,0		
Расход смеси в точке “n”, $Q_{т.n}$, м ³ /мин		(т2 ¹) 61,6	(т3 ¹) 62,4	(т4 ¹) 63,9	(т5 ¹) 63,6	(т6 ¹) 65,1		
<i>Примечание.</i> Расчет параметров последующих отростков прекращался после достижения требуемой эффективности дегазации рассчитанным количеством отростков								

Таблица 4

Производительность “свечей” дегазационной сети при
подсоединении очередного отростка

Порядок подключения отростка	Единицы измерения	№ “свечи”								Суммарный расход каптированного метана
		1	2	3	4	5	6	7	8	
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
Диаметр отростка 108 мм, расстояние между “свечами” отростка 30 м										
Подключение 1-го отростка	м ³ /мин	53,8	7,4							61,2
	%	87,9	12,1							100
Подключение 2-го отростка	м ³ /мин	47,2	6,5	7,9						61,6
	%	76,6	10,6	12,8						100
Подключение 3-го отростка	м ³ /мин	41,2	5,6	6,9	8,3					62,0
	%	66,3	9,1	11,2	13,4					100
Подключение 4-го отростка	м ³ /мин	35,8	4,9	6,0	7,2	8,5				62,4
	%	57,4	7,9	9,6	11,5	13,6				100
Подключение 5-го отростка	м ³ /мин	31,1	4,3	5,2	6,2	7,4	8,8			63,0
	%	49,4	6,9	8,2	9,8	11,7	14,0			100
Подключение 6-го отростка	м ³ /мин	26,9	3,8	4,5	5,4	6,4	7,5	8,8		63,3
	%	42,5	6,0	7,1	8,5	10,1	11,9	13,9		100
Подключение 7-го отростка	м ³ /мин	23,3	3,2	3,9	4,7	5,6	6,5	7,6	9,0	63,8
	%	36,5	5,0	6,1	7,4	8,8	10,2	11,9	14,1	100
Диаметр отростка 108 мм, расстояние между “свечами” отростка 50 м										
Подключение 1-го отростка	м ³ /мин	53,8	7,4							61,2
	%	87,9	12,1							100
Подключение 2-го отростка	м ³ /мин	46,7	6,4	8,6						61,7
	%	76,6	10,6	12,8						100
Подключение 3-го отростка	м ³ /мин	40,1	5,5	7,4	9,3					62,3
	%	64,4	8,8	11,9	14,9					100
Подключение 4-го отростка	м ³ /мин	34,3	4,7	6,3	8,0	9,8				63,1
	%	54,4	7,4	10,0	12,7	15,5				100
Подключение 5-го отростка	м ³ /мин	29,1	4,0	5,3	6,8	8,4	10,2			63,8
	%	49,4	6,9	8,2	9,8	11,7	14,0			100
Диаметр отростка 159 мм, расстояние между “свечами” отростка 30 м										
Подключение 1-го отростка	м ³ /мин	43,9	17,7							61,6
	%	71,3	28,7							100

Окончание табл. 4

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
Подключение 2-го отростка	м ³ /мин	32,2	13,3	17,0						62,2
	%	51,8	20,9	27,3						100
Подключение 3-го отростка	м ³ /мин	23,7	9,6	12,6	16,8					62,7
	%	37,8	15,3	20,1	26,8					100
Подключение 4-го отростка	м ³ /мин	17,6	7,1	9,3	12,5	16,8				63,3
	%	27,8	11,2	14,7	19,8	26,5				100
Подключение 5-го отростка	м ³ /мин	13,0	5,3	6,9	9,2	12,5	16,9			63,8
	%	20,4	8,3	10,8	14,4	19,6	26,5			100
Подключение 6-го отростка	м ³ /мин	9,6	3,9	5,1	6,9	9,3	12,6	17,0		64,4
	%	14,9	6,1	7,9	10,7	14,4	19,6	26,4		100
Диаметр отростков 159 мм, расстояние между «свечами» отростков 50 м										
Подключение 1-го отростка	м ³ /мин	43,9	17,7							61,6
	%	71,3	28,7							100
Подключение 2-го отростка	м ³ /мин	31,2	12,6	18,6						62,4
	%	50,0	20,2	29,8						100
Подключение 3-го отростка	м ³ /мин	21,9	8,8	13,1	19,0					62,8
	%	34,9	14,0	20,9	30,2					100
Подключение 4-го отростка	м ³ /мин	15,5	6,2	9,2	13,4	19,3				63,6
	%	24,4	9,7	14,5	21,1	30,3				100

Таблица 5

Параметры работы «свечей» при подключении очередного отростка

Порядок подключения отростков	Показатели	№ «свечи»								Суммарный расход капированного метана
		1	2	3	4	5	6	7	8	
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
Диаметр отростков 108 мм, расстояние между «свечами» отростков 30 м										
Подключение 1-го отростка	R	85	30							
	C	20,4	7,3							
	Q	53,8	7,4							
	I	11,0	0,54							11,54
Подключение 2-го отростка	R	115	60	30						
	C	31,8	13,2	7,3						
	Q	47,2	6,5	7,9						
	I	8,9	0,85	0,58						10,3

Продолжение табл. 5

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
Подключение 3-го отростка	R	145	90	60	30					
	C	45,5	22,1	13,2	7,3					
	Q	40,8	5,6	6,9	8,3					
	I	7,49	1,24	0,9	0,61					10,24
Подключение 4-го отростка	R	175	120	90	60	30				
	C	59,5	34,0	22,1	13,2	7,3				
	Q	35,8	4,9	6,0	7,2	8,5				
	I	6,23	1,7	1,35	0,96	0,64				10,9
Подключение 5-го отростка	R	205	150	120	90	60	30			
	C	71,9	47,9	34,0	22,1	13,2	7,3			
	Q	31,1	4,3	5,2	6,2	7,4	8,8			
	I	4,8	2,1	1,77	1,38	0,98	0,64			11,6
Подключение 6-го отростка	R	235	180	150	120	90	60	30		
	C	79,6	61,7	47,9	34,0	22,1	13,2	7,3		
	Q	26,9	3,7	4,5	5,4	6,4	7,5	8,8		
	I	4,17	2,28	2,2	1,84	1,41	0,99	0,64		13,53
Подключение 7-го отростка	R	265	210	180	150	120	90	60	30	
	C	88,1	73,8	61,7	47,9	34,0	22,1	13,2	7,3	
	Q	23,3	3,19	3,9	4,68	5,57	6,53	7,67	8,97	
	I	3,36	2,35	2,41	2,24	1,89	1,44	1,01	0,65	11,99*
Диаметр отростков 108 мм, расстояние между “свечами” отростков 50 м										
Подключение 1-го отростка	R	85	30							
	C	20,4	7,3							
	Q	53,8	7,4							
	I	11,0	0,54							11,54
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
Подключение 2-го отростка	R	135	80	30						
	C	40,8	18,8	7,3						
	Q	46,7	6,4	8,6						
	I	7,9	1,2	0,63						9,7
Подключение 3-го отростка	R	185	130	80	30					
	C	63,5	38,5	18,8	7,3					
	Q	40,1	5,5	7,4	9,3					
	I	5,84	2,12	1,39	0,68					10,0
Подключение 4-го отростка	R	235	180	130	80	30				
	C	79,6	63,5	38,5	18,8	7,3				
	Q	34,3	4,69	6,27	7,95	9,84				
	I	4,17	2,98	2,41	1,49	0,72				11,8
Подключение 5-го отростка	R	285	230	180	130	80	30			
	C	91,7	80,0	63,5	38,5	18,8	7,3			
	Q	29,1	4,0	5,33	6,76	8,38	10,19			
	I	2,98	3,12	3,38	2,6	1,58	0,74			11,5*

Окончание табл. 5

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
Диаметр отростков 159 мм, расстояние между “свечами” отростков 30 м										
Подключение 1-го отростка	R	85	30							
	C	20,4	7,3							
	Q	43,9	17,7							
	I	9,0	1,3							10,3
Подключение 2-го отростка	R	115	60	30						
	C	31,8	13,2	7,3						
	Q	32,2	13,0	17,0						
	I	8,9	1,72	1,24						11,5
Подключение 3-го отростка	R	145	90	60	30					
	C	45,5	22,1	13,2	7,3					
	Q	23,7	9,6	12,6	16,8					
	I	7,49	2,12	1,66	1,23					12,5
Подключение 4-го отростка	R	175	120	90	60	30				
	C	59,5	34,0	22,1	13,2	7,3				
	Q	17,6	7,1	9,3	12,5	16,8				
	I	6,23	2,41	2,06	1,65	1,22				13,57
Подключение 5-го отростка	R	205	150	120	90	60	30			
	C	71,9	47,9	34,0	22,1	13,2	7,3			
	Q	13,0	5,3	6,9	9,2	12,5	16,9			
	I	5,12	2,54	2,35	2,03	1,65	1,23			14,92
Подключение 6-го отростка	R	235	180	150	120	90	60	30		
	C	79,6	61,7	47,9	34,0	22,1	13,2	7,3		
	Q	9,62	3,89	5,1	6,87	9,26	12,57	17,0		
	I	4,14	2,39	2,44	2,34	2,16	1,66	1,24		12,23*
Диаметр отростков 159 мм, расстояние между “свечами” отростков 50 м										
Подключение 1-го отростка	R	85	30							
	C	20,4	7,3							
	Q	43,9	17,7							
	I	9,0	1,3							10,3
Подключение 2-го отростка	R	135	80	30						
	C	40,8	18,8	7,3						
	Q	31,2	12,6	18,6						
	I	7,9	2,4	1,4						11,7
Подключение 3-го отростка	R	185	130	80	30					
	C	63,6	38,5	18,8	7,3					
	Q	21,9	8,8	13,1	19,0					
	I	5,84	3,2	2,3	1,5					12,8
Подключение 4-го отростка	R	230	180	130	80	30				
	C	79,9	61,7	38,5	18,8	7,3				
	Q	15,5	6,2	9,2	13,4	19,3				
	I	4,17	3,8	3,5	2,5	1,4				11,2*

Примечание:

1. R – расстояние от “свечи” до очистного забоя в выработанном пространстве, м;

C – концентрация метана в выработанном пространстве в месте расположения “свечи”, %;

Q – расход МВС, капируемый “свечей”, м³/мин;

I – расход метана, капируемый “свечей”, м³/мин.

2. Суммарный расход метана, капируемый всеми “свечами” (для каждого варианта сочетаний длин и диаметров отростков), при подключении последнего отростка (*) указан без производительности основной “свечи”.

3. Расчет параметров последующего отростка прекращался после достижения требуемой эффективности дегазации без учета основной “свечи”.

4. В случае если расчетный расход МВС в выработанном пространстве в точке расположения “свечи” был меньше производительности “свечи”, принимался расход капируемого метана, рассчитанный в табл. 2.

В расчетном диапазоне основная “свеча” при использовании для отростков труб диаметром 108 мм позволяет капировать от 36,5 до 87,9% МВС и от 14,9 до 74,3% МВС при использовании для отростков труб диаметром 159 мм (см. табл. 4). При удалении основной “свечи” от очистного забоя расход капируемого метана снижается (см. табл. 5) и работа этой “свечи” может не оказывать влияния на газовую обстановку на выемочном участке. Поэтому целесообразно оценить, сколько отростков, ближайших к очистному забою, позволяют обеспечить требуемую эффективность дегазации без участия основной “свечи”.

Как показал анализ табл. 5, при использовании для отростков труб диаметром 108 мм и расстоянии между “свечами” 30 м подключение седьмого отростка обеспечивает требуемую эффективность дегазации. Расстояние до седьмого отростка от очистного забоя 210 м. При расстоянии между отростками 50 м и подключении пятого отростка эффективность дегазации обеспечивается без участия основной “свечи”. Расстояние от очистного забоя до “свечи” пятого отростка 230 м.

При использовании для отростков труб диаметром 159 мм (см. табл. 5) требуемая эффективность дегазации подтверждается расчетом при расстоянии между “свечами” как 30, так и 50 м. При расстоянии между “свечами” 30 м и подключении шестого отростка эффективность дегазации обеспечивается без участия основной “свечи”. Расстояние от очистного забоя до “свечи” шестого отростка 180 м. При расстоянии между “свечами”

50 м требуемая эффективность достигается при подключении четвертого отростка. Расстояние от очистного забоя до “свечи” 180 м.

Выполненные расчеты на примере 420-й южной лавы пласта l_3 шахты им. А.Г. Стаханова показывают, что при данных горно-геологических условиях, ожидаемом метановыделении и планируемом расходе воздуха, могут использоваться для отростков трубы диаметром как 108, так и 159 мм при расстоянии между свечами 50 м. Так как отростки диаметром 159 мм имеют большую производительность, требуемая эффективность достигается работой меньшего количества отростков на более близком расстоянии от очистного забоя (180 м) в сравнении с применением отростков диаметром 108 мм (210-230 м от очистного забоя).

Применение труб диаметром 159 мм позволит обеспечить безопасные условия по метану при повышенном метановыделении или увеличении нагрузки, а также разрушении трубопровода на почвах, склонных к пучению, за счет достижения требуемой эффективности дегазации меньшим количеством отростков, ближайших к очистному забою.

ВЫВОДЫ

1. Изложенный метод расчета, позволяющий определить диаметры труб для отростков газопровода и расстояние между ними, обеспечивает безопасность работ шахтёров за счёт повышения эффективности дегазации выработанного пространства с помощью отростков газопровода, укладываемых параллельно основному трубопроводу, при отработке пластов по столбовой системе и схеме проветривания 1-М.

2. Требуется разработка программного обеспечения для выполнения расчетов на ПЭВМ, позволяющего при проектировании дегазации варьировать большим количеством возможных параметров дегазационной системы (диаметров труб основного трубопровода, длин и диаметров отростков и расстояний между “свечами”) и оптимизировать технологию применения отростков с учетом специфики горно-геологических и горнотехнических условий для конкретной выработки.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1 Дегазация угольных шахт. Требования к способам и схемы дегазации: СОУ 10.1.00174088.001 - 2004. – Офиц. изд. – Киев: 2005. – 163 с.

2. Руководство по проектированию вентиляции угольных шахт. – Киев: Основа, 1994. – 307 с.

Получено: 16.11.17

IMPROVEMENT OF GAS PIPELINE PARAMETERS BY DEGASSING OF WORKED-OUT AREA

The calculation method has been suggested for gas pipeline deadlegs parameters which are laid along the main pipeline and ensure the sufficient efficiency of worked-out area degassing by using pillar method and ventilation scheme of a working area of type I-M, the necessity of the method has been justified.

Keywords: worked-out area, gas pipeline deadleg, equivalent size, firedamp, degassing efficiency.