

Д-р техн. наук В.Г.Перепелица,
канд. техн. наук В.Б.Демченко
(ИГТМ НАН Украины)

ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЕ СХЕМЫ ВЕДЕНИЯ ОЧИСТНЫХ РАБОТ С ПРИМЕНЕНИЕМ БИОГЕОТЕХНОЛОГИЧЕСКОЙ ДЕГАЗАЦИИ

Наведено технологічні схеми застосування метанокислюючих бактерій для дегазації виробленого простору і тупиків виробок шахт Донбасу. Вказано, що застосування біогеотехнологічних способів дегазації дозволяє суттєво знизити газонасиченість виробленого простору лави і забезпечити безпечні умови виймання вугілля.

THE TECHNOLOGICAL SCHEMES IMPLEMENT DEFOGGING WORKS WITH USING BIOGEOTECHNOLOGICAL DEGASSING

The technological schemes of the using methane-oxidative bacteria for degassing of the produced aria and dead ends of the productions of Donbass are given. It shown, that the application of a biogeotechnological way of degassing allows essentially to lower volume of gas of the produced aria of a longwall and to ensure safe conditions of a collection coal.

Подземная разработка угольных пластов сопровождается выделением метана в выработанное пространство и выработки участков. На глубоких шахтах Донбасса газообильность участков достигает 40-60 м³/мин. и более, что требует применения дегазационных мероприятий.

В последние годы Институтом геотехнической механики им. М.С. Полякова НАН Украины и Институтом микробиологии и вирусологии НАН Украины на основании теоретических, лабораторных и натурных исследований разработан ряд биоготехнологических способов окисления метана в угольных шахтах с помощью бактерий.

На основе этих способов нами разработаны технологические схемы дегазации выемочных участков шахт бактериями, в основу которых положены технические решения по Авторским свидетельствам СССР №№ 1559208 (1990 г.), 1652619 (1991 г.), 1696739 (1991 г.) и Патентов Украины №№ 3255 (1994 г.), 37720А (2001 г.), 51440А (2002 г.), 53198А (2003 г.).

Биоготехнологические способы окисления метана в угольных шахтах основаны на способности ряда штаммов бактерий усваивать метан из состава газовой смеси, формирующихся на выемочных участках.

Основными операциями, выполняемыми при реализации приведенных ниже технологических схем, являются периодическое приготовление микробиологической суспензии и нанесение ее на горные породы в зонах наличия метано-воздушной смеси. Систематическое, по мере подвигания лавы, нанесение бактерий на горные породы в выработанном пространстве или в зонах скопления метана обеспечивает формирование микробиологического фильтра на пути движения метано-воздушных потоков, в пределах которого происходит окисление метана и преобразование его в биологическую массу.

Биоготехнологические способы дегазации шахт применимы в условиях сплошной и столбовой систем разработки при любых схемах проветривания в

условиях выработанных пространств, газообильность которых превышает 5 м³/т и в местных скоплениях метана любой концентрации.

Максимальная метаноокислительная активность бактерий проявляется при объемном содержании метана в смеси с воздухом около 24 %. Благоприятными для применения метаноокисляющих бактерий являются высокая относительная влажность среды, ее температура от 20 до 50 °С.

Ограничениями для применения бактерий являются отклонение pH воды от 6,5 более чем на 1,0, наличие в используемой воде органических веществ, ПАВ и некоторых химических соединений, а в газовой среде – гомологов метана, превышающих по массе 10 %.

В качестве метаноокисляющих бактерий рекомендуется к применению непатогенный штамм *Methylococcus capsulatus* (ВСБ-874), допущенный к использованию в угольных шахтах и прошедший широкую апробацию в условиях Донбасса.

По условиям среды наиболее благоприятными для применения биогеотехнологических способов дегазации выемочных участков угольных шахт являются большинство глубоких и газообильных шахт Донбасса.

Дегазация выработанных пространств лав.

Суточная потребность биомассы метаноокисляющих бактерий для микробиологической обработки одной лавы определяется, исходя из фактической газообильности выемочного участка и предположения о полном микробиологическом окислении метана в выработанном пространстве. Расчет потребности биомассы выполняют по формуле:

$$n = \frac{x_0 \cdot A \cdot n_s \cdot v_z}{100 \cdot a \cdot L_z}, \text{ г/сут.}, \quad (1)$$

где x_0 – относительная газообильность выемочного участка шахты, м³/т; A – суточная добыча угля из лавы, т; n_s – составляющая метанообильности выработанного пространства в газовом балансе выемочного участка, %; v_z – средняя скорость продвижения забоя лавы, м/сут.; a – метаноокислительная активность бактерий, м³/т·сут., определяется по результатам лабораторных исследований бактерий; L_z – длина зоны интенсивного газовыделения из выработанного пространства лавы, м.

Суточный расход питательной среды определяют по формуле:

$$V_{\text{сут}} = \frac{n}{k_m}, \text{ м}^3, \quad (2)$$

где k_m – исходная концентрация клеток микроорганизмов в рабочей суспензии, г/м³, на основании результатов натурных исследований $k_m \approx 4500$.

При применении бактерий штамма ВСБ-874 рекомендуется следующий состав питательной среды, г/м³: вода из участкового противопожарного става, м³ – 1; биомасса метанооксиляющих бактерий, кг – определяется по формуле (1); сульфат магния $MgSO_4 \cdot 7H_2O$ – 312; калий фосфорнокислый однозамещенный KH_2PO_4 – 300; натрий фосфорнокислый двухзамещенный Na_2HPO_4 – 625; хлористый аммоний NH_4Cl – 1870; сернокислая медь $CuSO_4$ – 0,625; глинистые минералы типа палыгорскит – 1/25 объема биомассы. Микроэлементы присутствуют в воде в достаточных для бактерий количествах.

Питательную среду приготавливают следующим образом. Концентрированную биомассу доставляют с завода белково-витаминных концентратов (БВК, г. Светлый Яр) на шахту в рефрижераторах и хранят в холодильной камере при температуре около +4 °С. По мере необходимости биомассу доставляют на дегазируемый участок.

Питательную среду приготавливают на основе воды, отбираемой из противопожарного става, в емкости-смесителе объемом около 2 м³, снабженной барботажным устройством. Приготовление суспензии производят при включенном барботажном устройстве путем последовательного внесения в воду минеральных солей и бактериально-глинистого композита.

В результате нанесения бактерий на породы, в выработанном пространстве формируется зона биофильтра, ширина которой определяется по формуле:

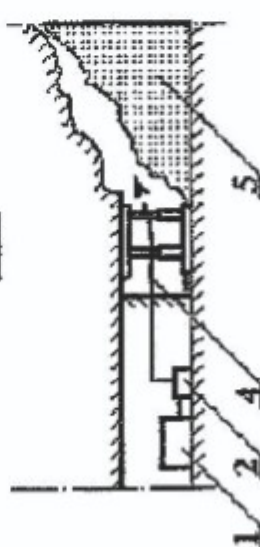
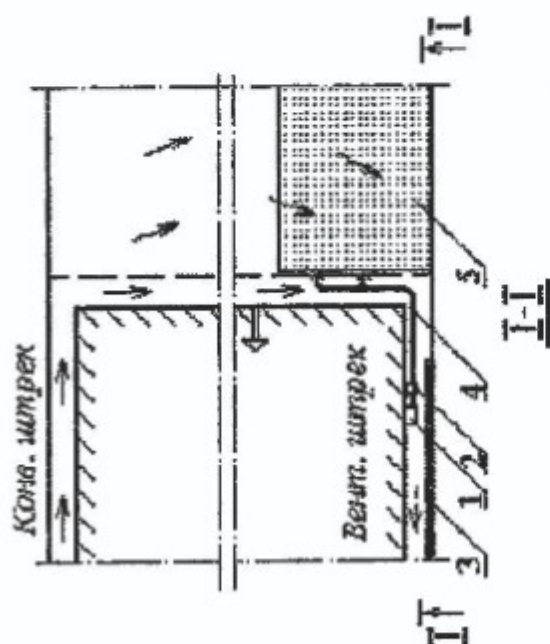
$$D_{2\phi} = \frac{14 \cdot \sum Q_i}{a \cdot k_u \cdot m \cdot v_x \cdot t}, \text{ м}, \quad (3)$$

где m – эффективная мощность вынимаемого пласта, м; t – периодичность обработки пород, сут.

Технологическая схема ведения очистных работ (рис.1) заключается в следующем. После приготовления в емкости-смесителе, суспензию бактерий по шлангу, проложенному в выработке и в лаве, наносят на породы, обрушенные в выработанном пространстве. Подачу суспензии выполняют с помощью насоса, расположенного в штреке. Длина свободной струи суспензии на выходе из шланга должна быть не менее 5-10 м.

Обработку обрушенных пород производят ежедневно со стороны вентиляционного штрека на ширину $D_{2\phi}$ из призабойного пространства лавы после передвижки крепи и обрушения пород непосредственной кровли вынимаемого пласта. Продолжительность обработки пород составляет 10-15 мин. Работу по дегазации выполняют 2 человека.

Более совершенной и эффективной является технология микробиологической обработки пород через скважины (рис. 2). Для этого используют следующее оборудование: емкость-смеситель с барботажным устройством, насос, планги, внутрискважинный затвор или переходник на устье скважины, манометр.



- 1 - емкость-смеситель; 2 - насос;
3 - трубопровод сжатого воздуха;
4 - шланг для подачи суспензии;
5 - биофильтр

ПАРАМЕТРЫ СПОСОБА

Наименование	Кол-во
Длина биофильтра, м	40-50
Ширина биофильтра, м	10-15
Суточный расход бента на 1 м ³ СН ₄ , г	1-10
Расход воды, м ³	1-2
Уровень рН	6,5 ± 1
Эффективность дегазации, %	30-40
Продолжительность обработки пород, мин.	15-20

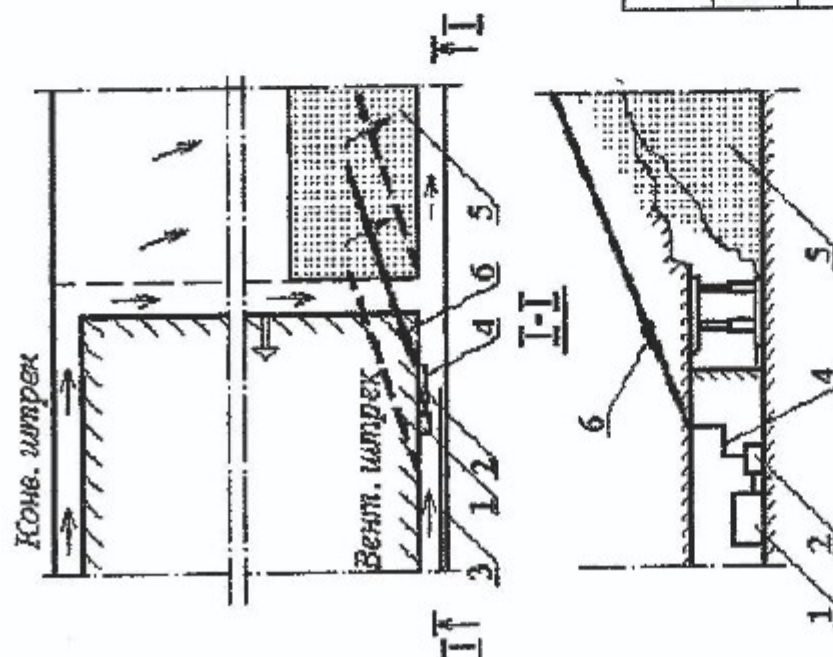
ОБОРУДОВАНИЕ ДЛЯ ОБРАБОТКИ ПОРОД

Наименование	Кол-во
Емкость-смеситель, шт.	1
Насос, шт.	1
Шланг резиновый 3/4", м	100
Распылительная насадка, шт.	1

ГРАФИК ОРГАНИЗАЦИИ РАБОТ

Производственные процессы	Смены			
	1	2	3	4
Выемка угля, передвижка секций крепи и конвейера				
Оформление нити				
Ремонтно-профилактические работы				
Доставка биомассы и хитринктивов				
Приготовление биосуспензии				
Микробиологическая обработка пород				

Рис. 1 - Технологическая схема ведения очистных работ с применением микробиологической обработки пород из призабойного пространства лавы



- 1 - емкость-смеситель; 2 - насос;
3 - трубопровод скатного воздуха;
4 - шланг для подачи суспензии;
5 - биофильтр; 6 - затвор

ПАРАМЕТРЫ СПОСОБА

Наименование	Кол-во
Длина биофильтра, м	до 60
Ширина биофильтра, м	20-25
Суточный расход биомассы на 1 м ³ СН ₄ , г	1-10
Расход воды, м ³	1-2
Уровень рН	6,5 ± 1
Эффективность дегазации, %	до 50
Продолжительность обработки пород, мин.	1-7

ОБОРУДОВАНИЕ ДЛЯ ОБРАБОТКИ ПОРОД

Наименование	Кол-во
Емкость-смеситель, шт.	1
Насос, шт.	1
Шланг резиновый 3/4", м	20
Затвор-герметизатор, шт.	1
Манометр, шт.	1

ГРАФИК ОРГАНИЗАЦИИ РАБОТ

Производственные процессы	Смены			
	1	2	3	4
Выемка угля, передвижка секций крепи и кывейера				
Оформление нити				
Ремонтно-профилактические работы				
Доставка биомассы и химреагентов				
Приготовление биосуспензии				
Вскрытие (закрывание) скважины, установка (извлечение) затвора				
Микробиологическая обработка пород				

Рис. 2 — Технологическая схема ведения очистных работ с применением микробиологической обработки пород через подрабатываемые скважины

Емкость-смеситель соединяют плангами со ставом сжатого воздуха и противопожарным ставом. Штуцер для отбора суспензии из емкости-смесителя соединяют со всасывающим патрубком насоса, выход которого соединяют с загерметизированной скважиной.

Для обработки пород используют насос производительностью 3-5 л/с, обеспечивающий напор до 1,5 МПа, например 1В-20/5.

В этой технологии рекомендуются следующие параметры расположения скважин.

Расстояние между скважинами вдоль штрека определяется по формуле:

$$H_E = \frac{z_1 \cdot m}{\operatorname{ctg} \gamma} \cdot (\operatorname{ctg}^2 \psi - \operatorname{ctg}^2 \gamma) + U \cdot \left[\frac{(z_1 + m) \cdot \operatorname{ctg} \psi}{(z_2 + m) \cdot \operatorname{ctg} \gamma} - 1 \right], \quad (4)$$

где z_1 – расстояние от разрабатываемого пласта до верхней границы трещинообразования, м, в Донбассе $z_1 \cong 30 \cdot m$; γ ψ – соответственно угол сдвига и угол полных сдвижений горных пород, градус; U – минимальное технологически допустимое расстояние между лавой и устьем скважины, м, $U \cong 5$ м; z_2 – расстояние от разрабатываемого пласта до нижней границы трещинообразования, м, согласно «Правилам охраны...», в Донбассе $z_2 \cong 3 \cdot m$.

Минимальная длина скважин определяется по формуле:

$$L = \sqrt{A_1^2 + (z_1 + m)^2 + [H_E + U + (z_1 + m) \cdot \operatorname{ctg} \gamma]^2}, \quad (5)$$

где A_1 – расстояние между проекцией забоя скважины на разрабатываемый пласт и контуром вентиляционного штрека, м.

Угол наклона скважины к горизонту равен:

$$\alpha = \arcsin \frac{z_1}{L \cdot \cos \beta}. \quad (6)$$

Угол отклонения скважин от оси штрека определяется по формуле:

$$\beta = \operatorname{arccctg} \left(\frac{\operatorname{ctg} \psi}{\operatorname{ctg} \gamma} + \frac{U}{(z_2 + m) \cdot \operatorname{ctg} \gamma} \right). \quad (7)$$

Величины H_E и L являются оптимальными и обеспечивают образование непрерывного микробиологического фильтра в выработанном пространстве лавы.

Для микробиологической обработки пород возможно использование имеющихся на участке дегазационных скважин при удовлетворении их параметров расчетным по приведенным уравнениям.

Период эксплуатации скважин составляет:

$$T = \frac{L \cdot \cos \alpha}{v_{\text{л}}}, \quad (8)$$

Очередная скважина используется для обработки пород со времени ее готовности до удаления лавы от устья скважины на расстояние, равное $L \cdot \cos \alpha$.

Технологическая схема предусматривает следующий порядок обработки пород в выработанном пространстве. Обработку пород кровли разрабатываемого пласта микробиологической суспензией осуществляют ежедневно в ремонтно-подготовительную смену. Работу выполняют 1-2 человека.

При использовании имеющихся на участке дегазационных скважин, на время нагнетания суспензии (5-7 минут) их отключают, а после нагнетания – подключают к дегазационной сети шахты. Приготовленную в емкости-смесителе суспензию метанооксиляющих бактерий, при непрерывном ее барботаже, наносят на обрушенные в выработанном пространстве породы через дегазационные скважины, пробуренные из вентиляционного штрека в породах кровли разрабатываемого пласта.

Контроль эффективности применения метанооксиляющих бактерий осуществляют приборами контроля параметров газовой среды на участке с учетом изменения нагрузки на лаву и изменения количества подаваемого на участок воздуха.

Дегазация тупика погашаемого штрека.

Для применения микробиологического воздействия на скопление метана в тупике погашаемого вентиляционного штрека необходимо следующее оборудование: емкость-смеситель с барботажным устройством, насос, шланги, форсунка (рис.3).

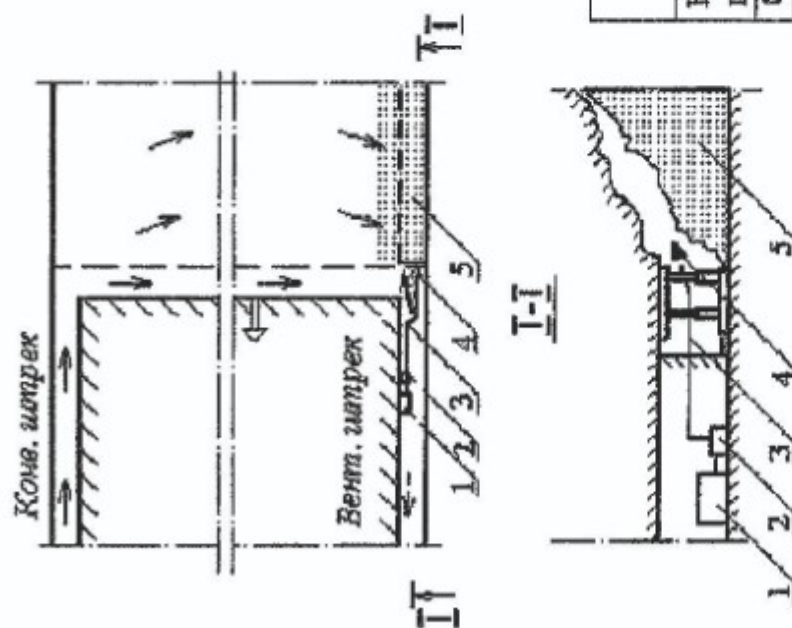
Приготовленную в емкости-смесителе суспензию метанооксиляющих бактерий с помощью насоса наносят на горные породы, обрушающиеся в тупике погашаемого штрека. Глубина обработки пород в направлении оси штрека должна быть не менее шага его погашения. Продолжительность обработки пород составляет 5-7 минут. После обработки пород свободной струей на высоту насыпи, к шлангу подключают форсунку и производят внесение микробиологической суспензии в полость обрушения до начала работ по очередному погашению штрека.

Технологические параметры обработки пород в тупике штрека следующие:
- суточная потребность биомассы, определяемая по формуле:

$$n = \frac{x_T}{a}, \quad (9)$$

где x_T – газообильность тупика штрека, м³/сут.

- суточный расход питательной среды – определяют по формуле (2).



- 1 - емкость-смеситель; 2 - насос;
3 - шланг для подачи суспензии;
4 - форсунка; 5 - биофильтр

ПАРАМЕТРЫ СПОСОБА

Наименование	Кол-во
Длина биофильтра, м	15-20
Ширина биофильтра, м	4-6
Суточный расход биомассы, кг АСВ	3-4
Расход воды, м ³	0,8-2
Уровень рН	6,5 ± 1
Эффективность дегазации, раз	16-20
Продолжительность обработки пород, мин.	5-7

ОБОРУДОВАНИЕ ДЛЯ ОБРАБОТКИ ПОРОД

Наименование	Кол-во
Емкость-смеситель, шт.	1
Насос, шт.	1
Шланг резиновый 3/4", м	50
Форсунка	1

ГРАФИК ОРГАНИЗАЦИИ РАБОТ

Производственные процессы	Смены			
	1	2	3	4
Выемка угля, передвижка секций крепи и конвейера				
Оформление выработки				
Ремонтно-профилактические работы				
Погашение штрама				
Доставка биомассы и химреактивов				
Приготовление биосуспензии				
Микробиологическая обработка пород				
Внесение азрозоля				

Рис. 3 – Технологическая схема ведения очистных работ с применением микробиологической обработки пород в тульнике погашаемого штрама

- ширина зоны биофильтра – равна ширине погашаемого штрека.
- состав питательной среды и технология ее приготовления – приведены выше.

Эффективность биогеотехнологической дегазации тупика погашаемого штрека оценивают по снижению газовыделения с поверхности обрушенных пород или по снижению концентрации метана на указанной поверхности и в куполе обрушения.

ИГТМ НАН Украины впервые в мировой практике осуществил микробиологическую дегазацию выработанных пространств на ряде выемочных участков шахт Центрального и Западного Донбасса (табл. 1).

Таблица 1 – Основные результаты применения биогеотехнологической дегазации

Лава (штрек), пласт	Период воздействия, сутки	Относительная газообильность, м ³ /т	Эффективность способов, %
2 зап., I ₆	10	22,0	37
5 вост., I ₈ ^г	14	12,4	38
2 зап., I ₆	14	27,4	16
905, C ₈ ^к	46	8,5	36
912, C ₈ ^в	52	8,5	55
804, C ₈ ^к	88	8,0	57
919, C ₈ ^в	47	8,5	18
907, C ₈ ^в	22	8,5	36
935, C ₈ ^в	30	25,2	47
923-я, C ₈ ^в	14	23,1	41
5 зап., I ₈ ^г	10	12,4	(58)
2 вост., m ₂	8	19,5	35(63)
807-й, C ₈ ^в	9	(3,2)	10,4 раза
730-й, C ₇ ^н	15	(5,3)	19 раз
419-й, C ₄	8	(18,5)	12,5 раз

Примечание: В скобках приведены средние начальные концентрации метана в зонах его скопления.

Выводы.

Применение технологических схем биогеотехнологической дегазации выработанных пространств шахт позволяет снизить их относительную газообильность на 36-57 %, что дает возможность увеличения нагрузки на забой по газовому фактору и обеспечить безопасность труда шахтеров. Применение бактерий для дегазации местных скоплений метана обеспечивает устойчивое снижение его концентрации в 10-19 раз.