

УДК 622+631.4

**Воробьев Е.А., к.т.н., Голуб И.Е., Некрасова Т.И.**

**АДИ ГВУЗ «ДонНТУ», г. Горловка**

## **РАСЧЕТ ПАРАМЕТРОВ ПОЖАРООПАСНОСТИ ГОРНЫХ ШАХТНЫХ ОТВАЛОВ**

*Выполнен анализ основных направлений предупреждения самовозгорания породных шахтных отвалов. Предложены исходные данные для определения пожаробезопасных параметров и методика расчета параметров, используемых в технологических схемах тушения и формирования породных отвалов.*

### ***Введение***

Значительное влияние на экологическое состояние региона имеют угольные шахтные отвалы. На шахтах центрального района Донбасса располагается более 130 породных отвалов, к которым ежегодно добавляется около 1 млн т горной массы. Лишь частично она используется для закладки выработок. Из отвалов ежегодно выделяется до 1300 т вредных газообразных веществ. Значительная доля выбросов загрязняющих веществ приходится на горящие отвалы, так как вместе с породой в отвалы выдается и уголь, составляющий более 15 процентов массы, который является основной причиной горения.

Отвал считается горящим, если на нем есть хотя бы один костер горения (независимо от его площади) с температурой пород на глубине до 2,5 м больше 80°C. Размер и форма отвалов оказывают влияние на интенсивность теплообмена в глубинных пластах, где температура достигает 1000°C. Наиболее интенсивные процессы протекают на гребнях плоских и вертикальных конических отвалов, легко обдуваемых потоком атмосферного воздуха. Газы, которые выбрасываются в атмосферу горящими отвалами, состоят из H<sub>2</sub>S, SO<sub>2</sub>, CO, CO<sub>2</sub>, NH<sub>3</sub>, H<sub>2</sub>O, CH<sub>4</sub>, F, Cl, As и других токсичных элементов и соединений, имеют значительное влияние на грунтовой и растительный покров, производительность лесных и сельскохозяйственных угодий на территориях, близлежащих к отвалам.

Основная масса угля, находящаяся в породе, выдаваемой в отвалы, получается при проведении подготовительных выработок. Работы по гашению и переход на складирование пород в плоские отвалы позволили снизить количество горящих отвалов втрое.

Однако существующие технологии сооружения плоских отвалов и гашения отработанных терриконов недостаточно решают проблему улучшения экологической обстановки регионов близлежащих к отвалам.

### ***Постановка проблемы***

Для улучшения экологической обстановки в регионе достаточное внимание должно быть уделено предупреждению самовозгорания породных отвалов.

Основными направлениями предупреждения самовозгорания породных отвалов являются: снижение содержания количества горючих веществ в отвальной массе и создание толстых воздухопроницаемых отвалов.

Снижение содержания горючих веществ достигается путем внедрения определенных технологических схем выемки и транспортировки угля и породы.

Для создания толстых воздухопроницаемых отвалов используется пропитка отвальной массы водными растворами антипирогенов, когда снижается сорбционная способность отвальной массы и скорость низкотемпературного окисления, происходит изменение термических свойств отвальной массы, а также создание изоляции откосов плоских породных отвалов и терриконов для предотвращения доступа кислорода воздуха в отвальные массы с помощью пленкообразующих антипирогенов.

Проведение всех этих работ для исключения вероятности самовозгорания отвальной массы обязательно должно сопровождаться определением соответствующих параметров пожароопасности, касающихся толщины отсыпаемого слоя, ширины заходки, сроков изоляции боковых откосов, степени уплотнения отвальной массы на откосах, размеров изолирующего покрытия на откосах и горизонтальной части, прилегающей к откосам.

### **Цель работы**

Целью работы является исследование горения шахтных породных отвалов и выполнение необходимых расчетов, предупреждающих их самовозгорание.

### **Изложение основного материала**

Исходными данными для определения пожаробезопасных параметров отвала являются: содержание серы и золы в породе, теплопроводность минеральных и органических веществ, удельная теплоемкость, показатель химической активности, среднемесячная скорость ветра, средняя температура наиболее теплого месяца, группа отвальной массы.

Повторно для породного отвала пожаробезопасные параметры определяются при изменении источника поступления породы более чем на 30%. Для индивидуальных отвалов шахт эти изменения состоят в отработке новых пластов или свит пластов.

К пожаробезопасным параметрам плоских породных отвалов относятся: пожаробезопасная толщина неизолированного слоя отвальной массы, степень уплотнения отвальной массы, обеспечивающая пожаробезопасность отвала, толщина изолирующего покрытия на откосе, ширина заходки, время самонагрева до критической температуры, критическая температура самонагрева отвальной массы у откоса.

Перечисленные пожаробезопасные параметры определяются по формулам:

$$H = \sqrt{\frac{1.263 \cdot 10^{-8} \cdot \lambda \cdot (T_K - T_o)}{G}}; \quad (1)$$

$$\varepsilon = 1 - 4 \sqrt{\frac{173.76 \cdot K_{II}}{d^2}}; \quad (2)$$

$$B_H = \frac{\left(\frac{K_O}{K_{II}} - 1\right) \cdot L - \left(\frac{K_O}{K_C} - 1\right) \cdot B_C}{\frac{K_O}{K_{II}} - 1}; \quad (3)$$

$$B_C = \frac{\left(\frac{K_O}{K_{II}} - 1\right) \cdot L}{\frac{K_O}{K_C} - 1}; \quad (4)$$

$$B_3 = \frac{D \cdot \tau}{L \cdot H_{Я}}; \quad (5)$$

$$\tau = \frac{5.256 \cdot 10^{-14} \cdot C_{II} \cdot \gamma \cdot (T_H - T_O)}{G}; \quad (6)$$

$$T_K = 60.137 \cdot 10^{-6} \cdot E \cdot \left(1 - \sqrt{\frac{1 - 33.257 \cdot 10^3 \cdot T_O}{E}}\right); \quad (7)$$

$$L_{20} = [0.595 \cdot \ln(25.299 + 1.577 \cdot 10^{11} \cdot K_O \cdot v^2) - 1.923] \cdot H_{Я}; \quad (8)$$

$$L_{40} = [0.532 \cdot \ln(4.799 \cdot 0.332 \cdot 10^{11} \cdot K_O \cdot v^2) - 0.834] \cdot H_{Я}; \quad (9)$$

$$H_{я} \leq 6H; \quad (10)$$

$$L_{я} \geq 0,4 \cdot H_{отв}, \quad (11)$$

где  $H$  – пожаробезопасная толщина неизолированного слоя отвальной массы,  $m$ ;

$\lambda$  – теплопроводность отвальной массы,  $Вт / (м \cdot К)$ ;

$T_k$  – критическая температура самонагрева,  $К$ ;

$T_0$  – среднемесячная температура наиболее теплого месяца года,  $К$ ;

$G$  – скорость сорбции кислорода рядовой отвальной массы,  $кмоль / (м^3 \cdot с)$ ;

$\varepsilon$  – степень уплотнения отвальной массы, обеспечивающая пожаробезопасность отвала;

$K_n$  – коэффициент воздухопроницаемости отвальной массы, требуемый для предупреждения ее самовозгорания;

$d$  – эквивалентный диаметр кусков отвальной массы,  $m$ ;

$K_u$  – коэффициент воздухопроницаемости изолирующего материала;

$B_n$  – толщина изолирующего покрытия на откосе отвала,  $m$ ;

$K_o$  – коэффициент воздухопроницаемости отвальной массы в зоне интенсивного самонагрева;

$K_c$  – коэффициент воздухопроницаемости уплотненной отвальной массы у откоса отвала;

$B_c$  – толщина слоя уплотненной отвальной массы на откосе отвала,  $m$ ;

$L$  – ширина зоны интенсивного самонагрева отвальной массы у откоса отвала,  $m$ ;

$B_3$  – ширина заходки,  $m$ ;

$D$  – количество породы, поступающей в заходку,  $м^3 / сутки$ ;

$\tau$  – время самонагрева до критической температуры,  $сутки$ ;

$H_{я}$  – высота яруса,  $m$ ;

$C_n$  – удельная теплоемкость отвальной массы,  $Дж / (кг \cdot К)$ ;

$\gamma$  – объемная насыпная масса,  $кг / м^3$ ;

$E$  – кажущаяся энергия активации,  $Дж / кмоль$ ;

$L_{я}$  – ширина изолирующего покрытия на горизонтальной поверхности яруса,  $m$ ;

$H_{отв}$  – высота отвала,  $m$ .

Для промежуточных значений углов откоса величина  $L$  определяется интерполяцией значений  $L_{20}$  и  $L_{40}$ .

Определение величин, необходимых при установлении пожаробезопасных параметров плоских породных отвалов, осуществляется следующим образом.

Перерасчет степени уплотнения отвальной массы на коэффициент воздухопроницаемости осуществляется по формуле:

$$K_o = 5,755 \cdot 10^{11} \cdot d^2 \cdot (1 - \varepsilon_o), \quad (12)$$

где  $d$  – эквивалентный диаметр кусков отвальной массы,  $m$ ;

$\varepsilon_o$  – степень уплотнения отвальной массы в зоне интенсивного самонагрева.

Коэффициент воздухопроницаемости изолирующих материалов определяется в зависимости от степени уплотнения  $\varepsilon_{II}$  по графикам, полученным эмпирическим путем.

Пожаробезопасной степени отвальной массы  $\varepsilon$  соответствует пожаробезопасный коэффициент воздухопроницаемости, который рассчитывается по формуле:

$$K_{II} = \frac{(54,69 - 71,87 \cdot \sin \alpha) \cdot 10^{-3} \cdot G \cdot H}{V^2}, \quad (13)$$

где  $\alpha$  – угол откоса, град.;

$V$  – среднемесячная скорость воздуха,  $м / с$ .

Скорость сорбции кислорода рядовой отвальной массы рассчитывается по формуле:

$$G = 1,28 \cdot \varepsilon_o \cdot n \cdot K_T, \quad (14)$$

где  $n$  – доля активной поверхности отвальной массы;

$K_m$  – показатель химической активности при температуре  $T_o$ ,  $\text{кмоль}/\text{м}^3\text{с}$ .

Объемная масса без пустотности  $\rho$ , теплопроводность  $\lambda$  и удельное теплосодержание  $C_{II}$  рассчитываются по следующим формулам:

$$\rho = \frac{\rho_M \cdot \rho_Y}{\rho_M - (\rho_M - \rho_Y) \cdot 0,01 \cdot M^C}; \quad (15)$$

$$\lambda = \frac{\varepsilon_o \cdot 0,01 \cdot M^C \cdot \lambda_M \cdot \rho_Y \cdot (I - 0,01 \cdot M^C) \cdot \lambda_Y \cdot \rho_M}{\rho_M - 0,01 \cdot M^C \cdot (\rho_M - \rho_Y)}; \quad (16)$$

$$C_{II} = (0,01 \cdot M^C \cdot C_M \cdot (I - 0,01 \cdot M^C) \cdot C_Y) \cdot (I - 0,01 \cdot W^8) \cdot 41,87 \cdot W^8, \quad (17)$$

где  $M^C$  – количество минеральных веществ в отвальной массе, %;

$\rho_M; \rho_Y$  – объемная масса без учета пористости, соответственно, для минеральных и органических веществ, которые удерживаются в отвальной массе,  $\text{шт.}/\text{м}^3$ ;

$\lambda_M; \lambda_Y$  – теплопроводность, соответственно, минеральных и органических веществ, которые удерживаются в отвальной массе,  $\text{Вт}/\text{г}\cdot\text{к}$ ;

$C_M; C_Y$  – удельная теплоемкость, соответственно, минеральных и органических веществ, которые удерживаются в отвальной массе,  $\text{Дж}/\text{кг}\cdot\text{с}$ ;

$W^8$  – содержание внешней влаги в отвальной массе, %.

Исходные данные горной породы, принятые для расчета пожаробезопасных параметров, приведены в таблице 1.

Таблица 1

## Характеристики породы

Название показателей	Размерность	Значения
1	2	3
Удельная теплоемкость:	$\text{Дж}/(\text{кг}\cdot\text{г})$	
– минеральных веществ,		892
– органических веществ.		1190
Теплопроводность:	$\text{Вт}/(\text{г}\cdot\text{к})$	
– минеральных веществ,		2,2022
– органических веществ.		0,392
Объемная масса:	$\text{кг}/\text{м}^3$	
– минеральных веществ,		2530
– органических веществ.		1340
Содержание внешней влаги	%	10
Содержание золы	%	85
Содержание серы	%	2
Среднемесячная температура наиболее теплого месяца	$\text{К}$	296
Среднемесячная скорость ветра	$\text{м}/\text{с}$	6,4
Группа отвальной массы		111
Показатель химической активности при $T_o$	$\text{кмоль}/\text{м}^3\text{с}$	$35,1 \cdot 10^{-8}$

Пожаробезопасные параметры породного отвала определены на основе химических и физико-механических показателей породы. Значения пожаробезопасных параметров приведены в таблице 2.

Таблица 2

## Пожаробезопасные параметры породного отвала

Название параметров	Размерность	Значение
Ширина зоны интенсивного самонагрева	<i>м</i>	14
Пожаробезопасный слой породы	<i>м</i>	3,2
Высота яруса	<i>м</i>	10
Время нагревания до критической температуры	<i>Сутки</i>	13
Максимальная ширина заходки	<i>м</i>	102
Угол откоса	<i>град</i>	37
Ширина изолирующего покрытия на горизонтальной части откоса	<i>м</i>	12
Толщина изолирующего покрытия на откосе отвала	<i>м</i>	0,35

**Выводы**

Выполненный анализ и предложенная методика расчета параметров пожароопасных породных отвалов позволяют определить: при тушении пожаров – необходимое количество террас и их размеры; при сооружении плоских породных отвалов – необходимые размеры насыпаемых слоев породы и изоляционных пластов.

**Список литературы**

1. Руководство по предупреждению самовозгорания, тушению, разборке и рекультивации породных отвалов угольных шахт и обогатительных фабрик / УкрНИИпроект. – К.: 1995. – 39 с.
2. Паспорт формирования плоского породного отвала шахты им. Гагарина на месте существующих конусных отвалов с оценкой действия на окружающую среду / ОАО УкрНТЭК. – Донецк, 1998. – 50 с.

Рецензент: д.т.н., проф. С.П. Висоцький, АДІ ДВНЗ «ДонНТУ».

Стаття надійшла до редакції 07.02.11  
© Вороб'єв Є.О., Голуб І.Є., Некрасова Т.І., 2011