

**Е. А. Воробьев, канд. техн. наук профессор, А. В. Фаткулина, канд. техн. наук,
Е. А. Сухарь, Е. Л. Петрова**

**Автомобильно-дорожный институт ГВУЗ
«Донецкий национальный технический университет», г. Горловка**

РЕШЕНИЕ ВОПРОСОВ ПРЕДУПРЕЖДЕНИЯ ГОРЕНИЯ ПОРОДНЫХ ОТВАЛОВ УГОЛЬНЫХ ШАХТ

Рассмотрено состояние поверхностных комплексов шахт центрального района Донбасса и в целом по Украине. Указаны факторы влияния породных отвалов на окружающую среду.

Проанализированы и исследованы различные материалы для изоляции складированных слоев породных отвалов, а также их откосов. Это достигается за счет отсыпки слоев различными материалами и нагнетания различных составов во внутрь отвалов.

Ключевые слова: горная масса, антипирогены, пожароопасный слой, скорость сорбции, критическая температура, коэффициент воздухопроницаемости

Существующее положение

Горнодобывающее предприятие – шахта, является одним из основных нарушителей и загрязнителей окружающей природной среды. Так, например, поверхностный комплекс любой шахты центрального района Донбасса (ЦРД) содержит более 50 источников загрязняющих атмосферу, гидросферу и литосферу. Под породным отвалом занято 660 га продуктивных земель. Общее количество породы в отвалах – более 700 млн т. Грунтовые воды всей площади региона характеризуются высокой степенью загрязнения (более 10 ПДК) тяжелыми металлами и органическими соединениями.

Значительная часть выбросов загрязняющих веществ приходится на горящие породные отвалы. На шахтах ЦРД располагается более 130 породных отвалов, из которых почти половина – горящие. Ежегодно к существующим отвалам добавляется 1 млн т. Из отвалов в атмосферу ежегодно выделяется до 1300 т газообразных вредных веществ.

Воздействие на поверхность породных отвалов изменяющейся температурой окружающей атмосферы, осадков, ветра, тепла, полученного в результате окисления угля и углекислых пород, приводит к разрушению части крупных кусков до размеров пыли. В сухую погоду эта пыль ветром сдувается с отвалов и уносится на значительное расстояние, загрязняя атмосферу, и составляет 10–15 мг/м³.

Горящие породные отвалы выделяют большое количество дыма и токсичных соединений. Анализ полученных данных показывает, что атмосфера на расстоянии 800 м от горящих отвалов интенсивно загрязняется сернистым газом и окисью углерода. Установлено, что в угледобывающих районах Украины горящие породные отвалы шахт выделяют в сутки в среднем 9,7 т – СО; 15,5 т – СО₂; 15,5 – SO₂; 0,5 – H₂S.

Горящие породные отвалы представляют большую опасность для обслуживающего их персонала. На таких отвалах могут происходить случаи гибели людей вследствие отравления и попадания их в очаг горения, температура в которых достигает 800–900° С. Работы по тушению и переход на складирование породы в плоские отвалы позволяет сократить в три раза количество горящих отвалов. Однако, в числе горящих имеются и плоские отвалы, что вызвано нарушением технологии их формирования, отсутствием в ряде случаев изолирующего слоя между ярусами, покрытием боков отвала конкретным изолирующим материалом и не достаточно плоской укладкой. Для качественного применения изолирующего материала были проведены исследования и испытания в производственных условиях.

© Воробьев Е. А., Фаткулина А. В., Сухарь Е. А., Петрова Е. Л., 2012

Цель работы

Определение зависимости коэффициента воздухопроницаемости от степени уплотнения для различных материалов и расчет пожароопасных параметров.

Изложение основного материала

Профилактика самовозгорания отвальной массы плоских отвалов обеспечивается при соблюдении пожароопасных параметров, устанавливается конкретно для каждого отвала. Пожароопасные параметры групповых и центральных плоских отвалов определяются по отвальной массе, наиболее склонной к самовозгоранию. Повторное определение пожароопасных параметров производится в тех случаях, когда источники поступления породы изменяются более чем на 30 %.

К пожароопасным параметрам плоских породных отвалов относятся: пожароопасная толщина неизолированного слоя отвальной массы; степень уплотнения отвальной массы, обеспечивающая пожаробезопасность отвала; толщина изолированного покрытия на откосе; толщина слоя уплотненной отвальной массы на откосе, ширина заходки; время самовозгорания до критической температуры; критическая температура самовозгорания, ширина зоны интенсивного самовозгорания отвальной массы у откоса отвала; высота яруса и ширина изолируемого покрытия на горизонтальной поверхности яруса. Перечисленные пожароопасные параметры определяются по следующим формулам:

$$H = \sqrt{\frac{1,263 \cdot 10^{-3} \cdot \lambda (T_k - T_0)}{G}}, \quad (1)$$

$$\varepsilon = 1 - 4 \sqrt{\frac{173,76 \cdot K_n}{\alpha^2}}, \quad (2)$$

$$B_n = \frac{\left(\frac{K_0}{K_n} - 1\right) \cdot L - \left(\frac{K_0}{K_c} - 1\right) \cdot B_c}{\left(\frac{K_0}{K_n} - 1\right)}, \quad (3)$$

$$B_n = \frac{\left(\frac{K_0}{K_n} - 1\right) \cdot L}{\left(\frac{K_0}{K_c} - 1\right)}, \quad (4)$$

$$B_3 = \frac{d \cdot \tau}{L_y \cdot H_y}, \quad (5)$$

$$\tau = \frac{5,256 \cdot 10^{-14} \cdot C_n \cdot \gamma (T_k - T_0)}{G}, \quad (6)$$

$$T_k = 60,137 \cdot 10^{-6} \cdot E \left(1 - \sqrt{1 - 33,257 \cdot 10^3 \cdot \frac{T_0}{E}}\right), \quad (7)$$

где H – пожароопасная толщина неизолированного слоя отвальной массы, м;

λ – теплопроводность отвальной массы, Вт/(м·К);

T_k – критическая температура самовозгорания, К;

T_0 – среднемесячная температура воздуха наиболее теплого месяца года, равная 298 К;

G – скорость сорбции кислорода рядовой отвальной массой, кмоль/(м³·с);

ε – степень уплотнения отвальной массы, обеспечивающая пожароопасность отвала;

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

d – эквивалентный диаметр кусков отвальной массы, м;

B_n – толщина изолирующего покрытия на откосе, м;

K_c – коэффициент воздухопроницаемости уплотненной отвальной массы у откоса отвала;

K_0 – коэффициент воздухопроницаемости отвальной массы в зоне интенсивного самовозгорания;

K_n – коэффициент воздухопроницаемости изолирующего материала;

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

L – ширина зоны интенсивного самовозгорания отвальной массы у откоса отвала, м;

B_3 – ширина заходки, м;

D – количество породы, поступающей в заходку, м³/сутки;

τ – время самовозгорания до критической температуры, сутки;

$H_я$ – высота яруса, м;

C_n – удельная теплоемкость отвальной массы, Дж/(кг·К);

γ – объемная насыпная масса, кг/м³;

E – наружная энергия активации, Дж/кмоль;

$L_я$ – ширина изолирующего покрытия на горизонтальной поверхности яруса, м.

В том случае, когда отвальная масса на откосе не уплотняется, при расчете B_n по формуле (3) толщина B_c равна нулю.

Независимо от того, какое получается расчетное значение B_n , толщина изолирующего покрытия на откосах из глины, суглинка и их смесей с отвальной массой должна быть не менее 0,3 м, а из сыпучих материалов не менее 0,5 м.

Толщина изолирующего покрытия горизонтальной поверхности яруса из суглинка (глины) при степени уплотнения 0,95 должна быть не менее 0,25 м.

Согласно проведенным исследованиям коэффициент воздухопроницаемости изолирующих материалов (K_n) определяется по графикам, приведенным на рисунках 1, 2, 3, 4, 5 в зависимости от степени уплотнения ϵ .

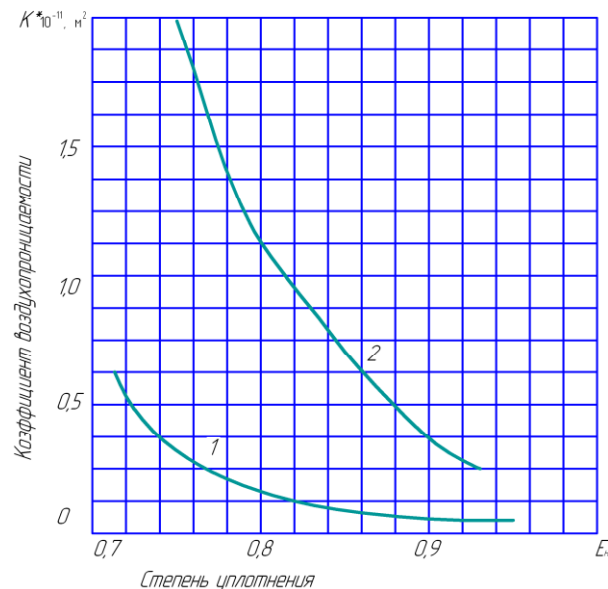


Рисунок 1 – Зависимость коэффициента воздухопроницаемости глины от степени уплотнения:

1 – при влажности 10,3 %; 2 – при влажности 4,1 %

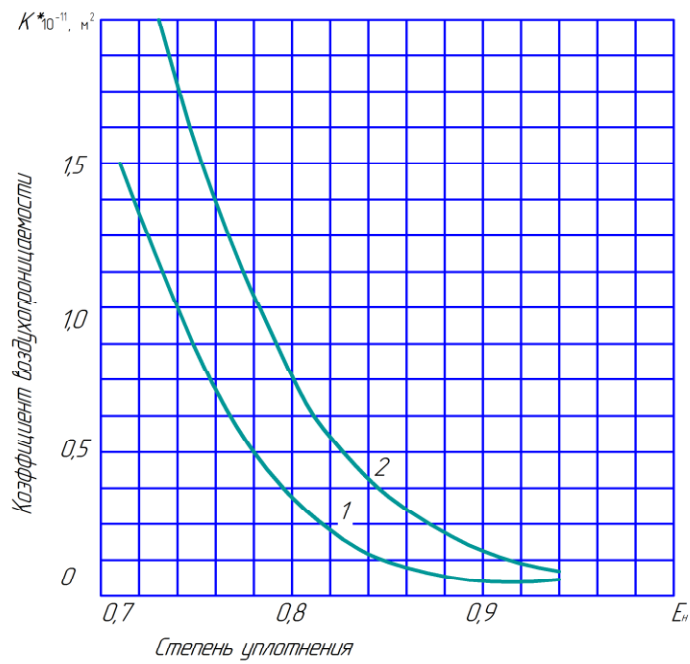


Рисунок 2 – Зависимость коэффициента воздухопроницаемости флотохвостов от степени уплотнения:
1 – при влажности 6,4 %; 2 – при влажности 1,3 %

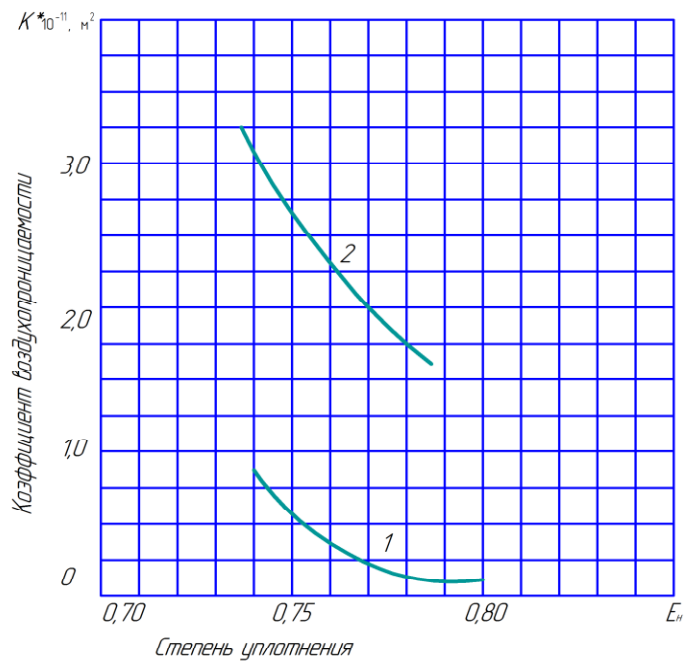


Рисунок 3 – Зависимость коэффициента воздухопроницаемости песка от степени уплотнения:
1 – при влажности 13,3 %; 2 – при влажности 1,0 %

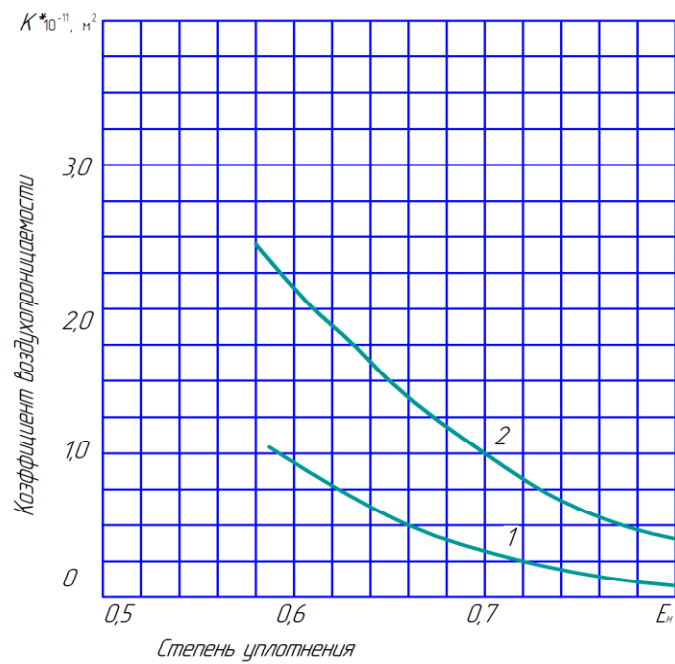


Рисунок 4 – Зависимость коэффициента воздухопроницаемости камнедробильного производства от степени уплотнения:
1 – при влажности 8,0 %; 2 – при влажности 1,0 %

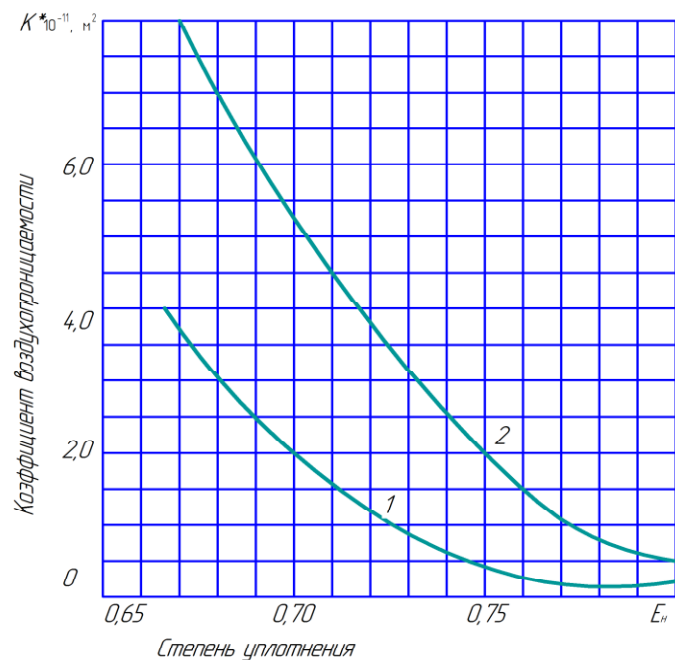


Рисунок 5 – Зависимость коэффициента воздухопроницаемости перегоревшей породы от степени уплотнения:
1 – при влажности 11 %; 2 – при влажности 2,8 %

Катками производится уплотнение отвальной массы, основными свойствами которой является гранулометрический состав и влажность. Для получения максимальной плотности отвальной массы в нее необходимо добавлять мелкозем. В качестве мелкозема используется мелкая отвальная масса, песок и другие сыпучие материалы крупностью 0–3 мм.

Для профилактики самовозгорания применяются антипирогены. Их применяют в том случае, когда требуется изменить пожароопасные параметры породного отвала, а именно исключить или уменьшить толщину изолирующего покрытия на откосах и увеличить толщину пожаробезопасного слоя и время самовозгорания до критической температуры.

Для установления пожаробезопасных параметров при исследовании антипирогена определяется скорость сорбции кислорода отвальной массы, обработанной антипирогеном.

В качестве антипирогенов целесообразно использовать хлористый кальций, хлорную известь, гашеную известь, жидкое стекло и мочевины. Усредненные данные по снижению скорости сорбции кислорода отвальной массой, обработанной антипирогеном, приведены в таблице 1.

Таблица 1 – Относительное снижение скорости сорбции кислорода

Антипирогены	Концентрация водного раствора (суспензии) антипирогена, %					
	1	2	3	4	5	6
Хлористый кальций	–	–	21	34	53	63
Хлорная известь	–	–	18	28	46	52
Гашеная известь	–	–	13	22	35	42
Жидкое стекло	–	–	18	30	45	54
Мочевина	21	34	43	53	–	–

В качестве изолирующих материалов рекомендуется использовать глину, суглинок, мел, ил, флотохвосты, песок, не прогоревшую породу, золу котельных установок, отходы камнедробильного производства и другие породные материалы. Данные по гранулометрическому составу и эквивалентному диаметру исследованных изолирующих материалов приведены в таблице 2.

Таблица 2 – Гранулометрический состав изолирующих материалов

Наименование материалов	Содержание классов крупности, %			Эквивалентный диаметр, не более, мм
	0–0,002	0–0,25	0–1,0	
Глина	10	–	–	–
Флотохвосты	–	–	90	–
Песок	–	45	80	0,6
Отходы камнедробильного производства	–	15	50	1,2
Перегоревшая порода	–	3	11	2,5

Выводы

1. Выполнен анализ влияния горящих породных отвалов на окружающую среду.
2. Дан расчет пожароопасных параметров породных отвалов угольных шахт.
3. Даны рекомендации применения изолирующих материалов и антипирогенов для профилактики самовозгорания породных отвалов.

Список литературы

1. Воробьев Е. А. Влияние горящих породных отвалов и средств их тушения на окружающую среду / Е. А. Воробьев, Д. В. Шустова, Е. А. Сухарь // Вісті автомобільно-дорожнього інституту. – 2011. – № 2 (13). – С.163–167.
Vorobyev Ye. A. Vliyanie goryashikh porodnykh otvalov i sredstv ikh tusheniya na okruzhayushchuyu sredyu (The effect of burning waste dumps and their ways of suppression on the environment) / Ye. A. Vorobyev, D. V. Shustova, Ye. A. Sukhar // Visti avtomobilno-dorozhnyogo instytutu. – 2011. – № 2 (13). – S.163–167.
2. Перспективы использования породных терриконов / Е. А. Воробьев, Е. В. Грабар, В. В. Лихачева и др. // Вісті автомобільно-дорожнього інституту, – 2011, № 1 (12). – С. 195–200.
Perspektivy ispolzovaniya porodnykh terrikonov (The prospects of use of rock mine wastes) / Ye. A. Vorobyev, Ye. V. Grabar, V. V. Likhacheva i dr. // Visti avtomobilno-dorozhnyogo instytutu. – 2011. – № 1 (12). – S. 195–200.
3. Технологические схемы и формирования породных отвалов. – К.: УкрНИИПроект, 1993. – 160 с.
Tekhnologichiskiye skhemy i formirovaniye porodnykh otvalov (The technological schemes and formation of waste dumps). – K.: UkrNIIProekt, 1993. – 160 s.
4. Технологические и организационные аспекты комплексного использования ресурсов угольных месторождений / Е. А. Воробьев, А. Л. Голубенко, С. С. Гребенкин и др. – Донецк: ВИК, 2010. – 518 с.
Tekhnologicheskkiye i organizatsionnyye aspekty kompleksnogo ispolzovaniya resursov ugolnykh mestorozhdeniy (Technological and organizational aspects of integrated use of coal deposits resources) / Ye. A. Vorobyov, A. L. Golubenko, S. S. Grebenkin i dr. – Donetsk: VIK, 2010. – 518 s.
5. Проективання систем вугільних шахт, що розробляють круті та круто похилі пласти / С. С. Гребенкін, В. І. Бондаренко, С. Є. Борташевський та ін. – Донецьк, 2012. – 310 с.
Proektuvannia system vugilnykh shakht, shcho rozrobliaiut kruti ta kruto pokhyli plasty (System engineering of colliery which mines steep and steeply angled beds) / S. S. Grebenkin, V. I. Bondarenko, S. Ye. Bortashevskiyi ta in. – Donetsk, 2012. – 310 s.
6. Породні відвали і навколишнє середовище / Є. О. Воробйов, О. В. Грабар, В. В. Лихачова // Вісті Донецького гірничого інституту. – 2011. – № 2 (11). – С. 136–142.
Porodni vidvaly i navkolyshne seredovyshe (Waste dumps and environment) / Ye. O. Vorobyov, O. V. Grabar, V. V. Lykhachova // Visti Donets'kogo girnychogo instytutu. – 2011. – № 2 (11). – S. 136–142.
7. Екологічні проблеми породних відвалів, що горять / Є. О. Воробйов, М. О. Ніколенко, С. О. Сокирка, К. О. Сухар // Вісті автомобільно-дорожнього інституту. – 2010. – № 1 (10). – С. 182–187.
Ekologichni problemy porodnykh vidvaliv, shcho goriat (Ecological problems of burning waste dumps) / Ye. O. Vorobyov, M. O. Nikolenko, S. O. Sokyryka, K. O. Sukhar // Visti avtomobilno-dorozhnyogo instytutu. – 2010. – № 1 (10). – S. 182–187.

Рецензент: д-р техн. наук, проф. С. П. Висоцький, АДІ ДонНТУ.

Стаття надійшла до редакції 06.11.12

Є. О. Воробйов, Г. В. Фаткуліна, К. О. Сухар, О. Л. Петрова
Автомобільно-дорожній інститут ДВНЗ
«Донецький національний технічний університет», м. Горлівка

Вирішення питань попередження горіння породних відвалів вугільних шахт

Виконано аналіз існуючих породних відвалів вугільних шахт та встановлено їх вплив на навколишнє середовище. З відвалів в атмосферу щорічно виділяється до 1300 т газоподібних шкідливих речовин. Здійснюється гасіння старих конічних та спорудження плоских породних відвалів. Однак, через недотримання технології, плоскі відвали часто горять. Виконано розрахунок пожежонебезпечних параметрів породних відвалів, за якими визначається: товщина неізолюваного шару, товщина ізолюючого покриття на укосі й горизонтальній частині, ширина заходки й т. д. Виконано дослідження коефіцієнта повітропроникності ізолюючих матеріалів, а також проаналізовано їх гранулометричний склад. Дано рекомендації щодо застосування антипірогенів.

ГІРСЬКА МАСА, АНТИПРОГЕНИ, ПОЖЕЖОНЕБЕЗПЕЧНИЙ ШАР, ШВИДКІСТЬ СОРБЦІЇ, КРИТИЧНА ТЕМПЕРАТУРА, КОЕФІЦІЄНТ ПОВІТРЯПРОНИКНОСТІ

Ye. A. Vorobyev, A. V. Fatkulina, Ye. A. Sukhar, Ye. L. Petrova
Automobile Transport and Highway Engineering Institute of
Donetsk National Technical University, City of Gorlovka

Problem Solving of Waste Dumps Combustion Prevention

The analysis of the existent waste dumps of the coal mines and how they affect the environment is made. Waste dumps occupy more than 600 hectares of the productive grounds. There are more than 700 million tons of waste in dumps. It is emitted up to 1300 tons of gas harmful substances from the dumps into the atmosphere every year. The extinction of the existent conic waste dumps is carried out. Though restructured flat waste dumps continue combusting because of the non-observance of the technology of the combustion, namely the non-observance of the insulated layers structure standards on the horizontal and inclined part of the dumps. The fire-hazardous waste dumps analysis is made. According to the waste dumps one can define the thickness of bare layer, the thickness of the insulated coating on the slope and horizontal part, the width of the stope etc., the critical temperature of the self-combustion is also defined. The studies of the air permeability of the insulation coefficient are made subject to the degree of compaction for clay, flotation slurry, sand, rock crushing manufacture, burned-out waste and the recommendation on their use are given. The granulometric composition and the equivalent diameter of insulation subject to its size grade are analyzed. It is suggested to use antipyrogenes for waste dumps self-combustion prevention. It is suggested to use calcium chloride; chloride lime, slaked lime, liquid glass, carbamide in the capacity of antipyrogenes. The dump mass oxygen sorption rate data are defined. The dump mass is treated by antipyrogenes subject to antipyrogen water solution concentration.

ROCK MASS, ANTIPIYROGENES, FIRE-HAZARDOUS LAYER, SORPTION RATE, CRITICAL TEMPERATURE, AIR PERMEABILITY COEFFICIENT