УДК 622.822

Киренберг Евгений Александрович
(АО НИИГД, г. Кемерово)
Kirenberg Evgeny Aleksandrovich
(AO NIIGD, Kemerovo)

ПАРАМЕТРЫ СЛОЯ ИНЕРТНОГО МАТЕРИАЛА ДЛЯ ПРОФИЛАКТИКИ САМОВОЗГОРАНИЯ УГЛЯ

PARAMETERS OF AN INERT MATERIAL LAYER FOR THE PREVENTION OF COAL SPONTANEOUS COMBUSTION

Аннотация. Поступление воздуха в скопление разрыхленного угля приводит окислению горючего и повышению его температуры. При благоприятных условиях может возникнуть очаг самовозгорания, представляющий угрозу для людей и окружающей природы. В статье рассмотрены условия развития процесса самовозгорания под действием ветрового напора. Снизить приток воздуха к углю и предотвратить развитие очага самовозгорания позволяет слой инертного материала на бортах разрезов и склонах породных отвалов. Приведены результаты расчета слоя изолирующего материала, необходимого для снижения скорости фильтрации воздуха до пожаробезопасных значений.

Abstract. The ingress of air into an accumulation of loose coal leads to the oxidation of the combustible material and an increase in its temperature. Under favorable conditions, a spontaneous combustion site may develop, posing a threat to both people and the surrounding environment. This article examines the conditions under which spontaneous combustion can occur due to wind pressure. Applying a layer of inert material to the sides of open-pit mines and the slopes of waste rock dumps can reduce airflow to the coal and prevent the development of spontaneous combustion. The article presents calculations for the thickness of an insulating material layer required to reduce the air filtration rate to levels that are safe from the risk of fire.

При разработке угольных пластов, кислород, содержащийся в воздухе, вступает в химическую реакцию с открытыми поверхностями угля. В результате процесса окисления происходит выделение тепла, которое может привести к самовозгоранию. В результате самовозгорания угля происходит выделение опасных для здоровья и жизни человека газов, загрязнение окружающей местности продуктами сгорания, а также потеря запасов полезного ископаемого. Поэтому предупреждение процесса самовозгорания является одним из важнейших аспектов при добыче и хранении угля.

Способы предупреждения самовозгорания можно разделить на несколько видов.

1. Предотвращение образования больших скопление угля, способных самовозгораться.

2. Изоляция скоплений угля от доступа свежего воздуха, что уменьшает приток кислорода, замедляя процессы окисления.

3. Удаление накопившегося тепла внутри скопления угля, не допуская достижения критической температуры самовозгорания.

На практике для борьбы с самовозгоранием чаще всего применяется метод изоляции скоплений угля от кислорода. Как изоляционные покрытия могут использоваться, например, глина с хлоридом кальция, штукатурные покрытия, пленкообразователи (мазуты, масла, смолы) [1]. Исследованы свойства суглинка и особенности их изменения [2], а также особенности изоляции угля для предотвращения самовозгорания [3].

Для изоляции угля может применяться воздушно-механическая пена и вспененная суспензия на основе отходов флотации [4], в том числе инертизированная азотом [5, 6]. Подача газообразного азота приводит к уменьшению концентрации кислорода в рудничной атмосфере, контактирующей с углем, и способна значительно замедлить скорость реакции окисления угля [7, 8]. Однако пена быстро распадается, а азот теряет свою концентрацию в целевой области. Поэтому их необходимо подавать в больших количествах и длительное время, что приводит к большим затратам и ставит под сомнения целесообразность применения этих методов для предупреждения самовозгорания.

Метод изоляции угля путем заливания угля глинистой пульпой, по мнению некоторых авторов, возможно, оказывает не только изоляционное, но и антиокислительное действие, а также в некоторых случаях может увеличить склонность к самовозгоранию [1]

Широко распространен метод обработки угля антипирогенами как мера профилактики самовозгорания [9]. В качестве антипирогенов может применятся антигололедный и обеспыливающий состав, состоящий из ацетатов и поверхностно-активных веществ [10], соединения хлора, например хлоридная известь или хлорамин [11]. Также применяются химические соединения, имеющие свойство расширятся при повышении температуры, такие как раствор карбамидно - формальдегидной смолы. Для предупреждения самовозгорания используется увлажнение угля [12].

В случае возможности применения антипирогенов могут использоваться инертные породы, при условии, что они состоят из мелкой фракции и уплотняются, образуя изолирующие покрытие [13]. Общая высота штабеля не должна превышать 10-15 м. [14] Снижение угла откоса отвала до 20-25° обеспечивает равномерное распределение мелкой фракции и заполнение ею пространства между крупными кусками, что приводит к снижению проницаемости воздухом [15]. Высокую эффективность показывает покрытие штабелей угля защитным слоем [16]. Защитным слоем, замедляющим скорость фильтрации воздуха, может быть и сам уголь мелкой фракции, расположенный в основании или покрывающий борт штабеля [17].

При добыче угля открытым способом очаги самовозгорания зачастую возникают на бортах разрезов и склонах породных отвалов. Одной из причин самовозгорания является приток воздуха за счет ветрового напора. Величину избыточного давления воздуха возникающего на боковой поверхности угольного скопления, можно определить по формуле:

$$H = \sin\alpha \frac{v^2 \rho}{2}, \quad (1)$$

где α – угол наклона борта разреза или склона породного отвала, градус; v – скорость движения потока воздуха, м/с; ρ – плотность движущегося воздуха, кг/м^3.

Схема движения воздуха в угле под действием ветра показана на рис. 1.

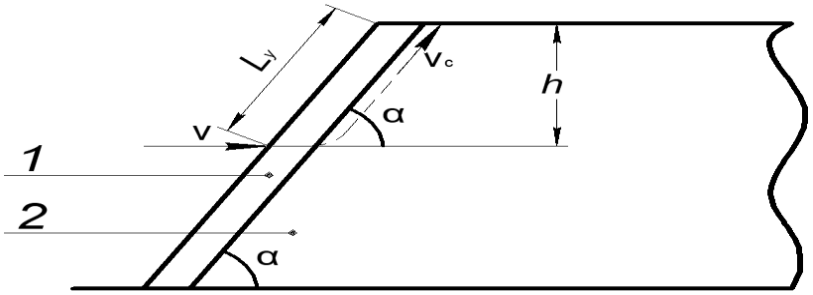

Рис. 1. Схема формирования потоков фильтрующегося воздуха в скоплении угля: 1 – слой изолирующего материала; 2 – скопление угля

Величина избыточного давления воздуха на склоне в зависимости от скорости ветра и угла склона приведена на рис. 2. Из рис. 2 видно, что избыточное давление воздуха на склоне может достигать 120 Па.

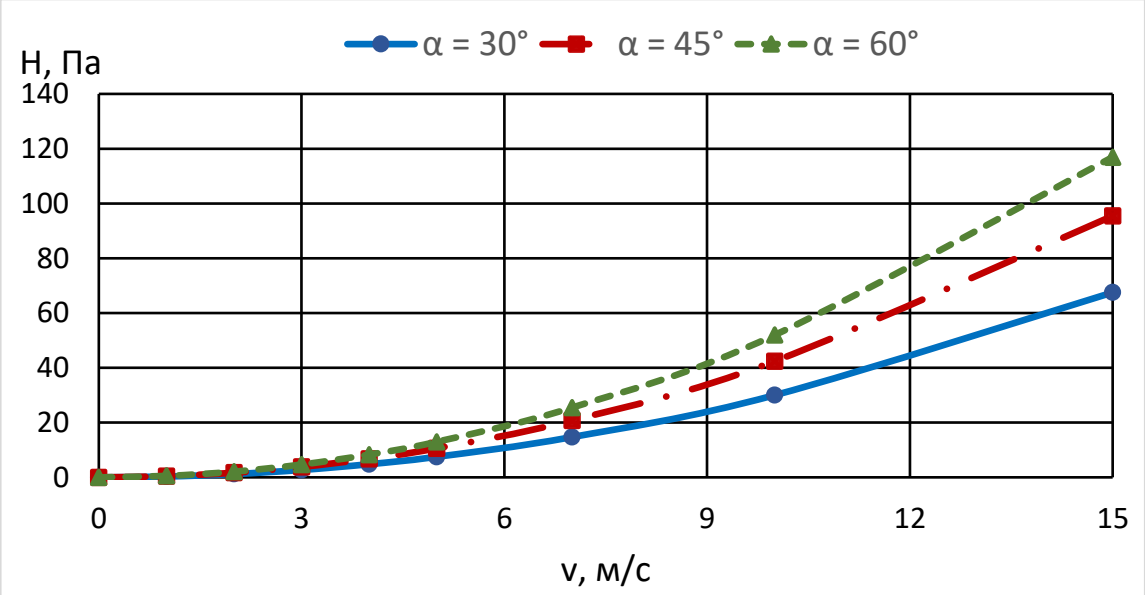

Рис. 2. Влияние скорости ветра на величину возникающего на склоне избыточного давления.

Скорость движения воздуха через скопление угля или пород при ламинарном режиме течения зависит от перепада давления газа, коэффициента проницаемости скопления, длины пути фильтрации воздуха и описывается уравнением

$$v_c = \frac{HK}{\mu L}, \quad (2)$$

где: K – коэффициент проницаемости скопления угля, м^2; H – перепад давления газа в скоплении угля, Па; μ – коэффициент вязкости воздуха, кг/(м·с); L – длина пути фильтрации воздуха через скопление угля, м.

Скорости фильтрации воздуха в скоплении угля, находящемся на склоне с углом наклона 45°, при различном расстоянии от вершины приведены на рис. 3. Согласно проведенным исследованиям критическая скорость фильтрации воздуха в скоплении угля, способствующая развитию самовозгорания, задана в пределах 10^{-3} – 10^{-5} м/с .

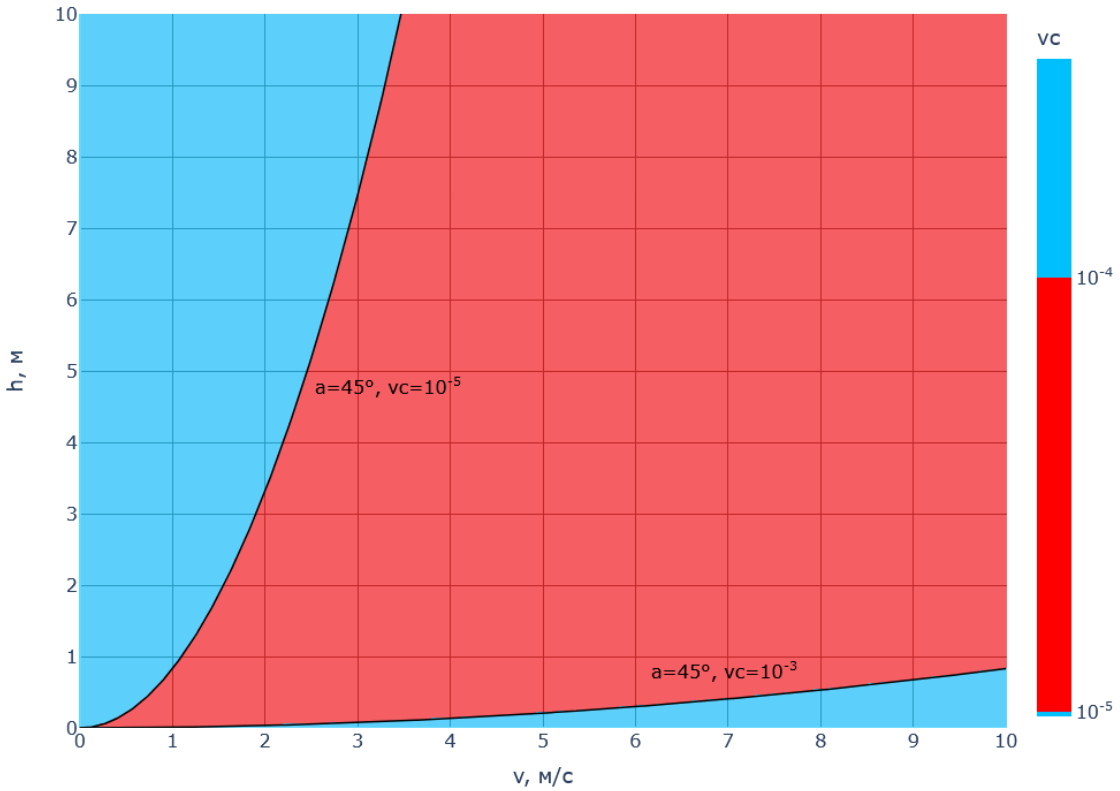

Рис. 3 – Скорость фильтрации воздуха при различной высоты (от вершины) и скорости ветра при угле склона 45°

Толщину слоя изолирующего материала определяют по формуле:

$$L_c = K_c \left(\frac{\sin a * v^2 * p}{2\mu * v_c} - \frac{h}{K_y * \sin a} \right), \quad (3)$$

где: L_C – толщина слоя изолирующего материала, м; K_C – коэффициент проницаемости изолирующего материала, м^2; K_y – коэффициент проницаемости скопления угля, м^2; v – скорость ветра, м/с; ρ – плотность воздуха, кг/м^3; h – расстояние от вершины борта разреза или склона

породного отвала до точки замера (по вертикали), м; v_c – критическая скорость фильтрации воздуха в скоплении угля, предотвращающая самовозгорание, м/с; μ – коэффициент вязкости воздуха, кг/(м·с); α – угол наклона борта разреза или склона породного отвала.

На рис. 4 приведена толщина слоя изолирующего слоя на борту разреза или склоне породного отвала, позволяющая предотвратить самовозгорание в скоплении угля.

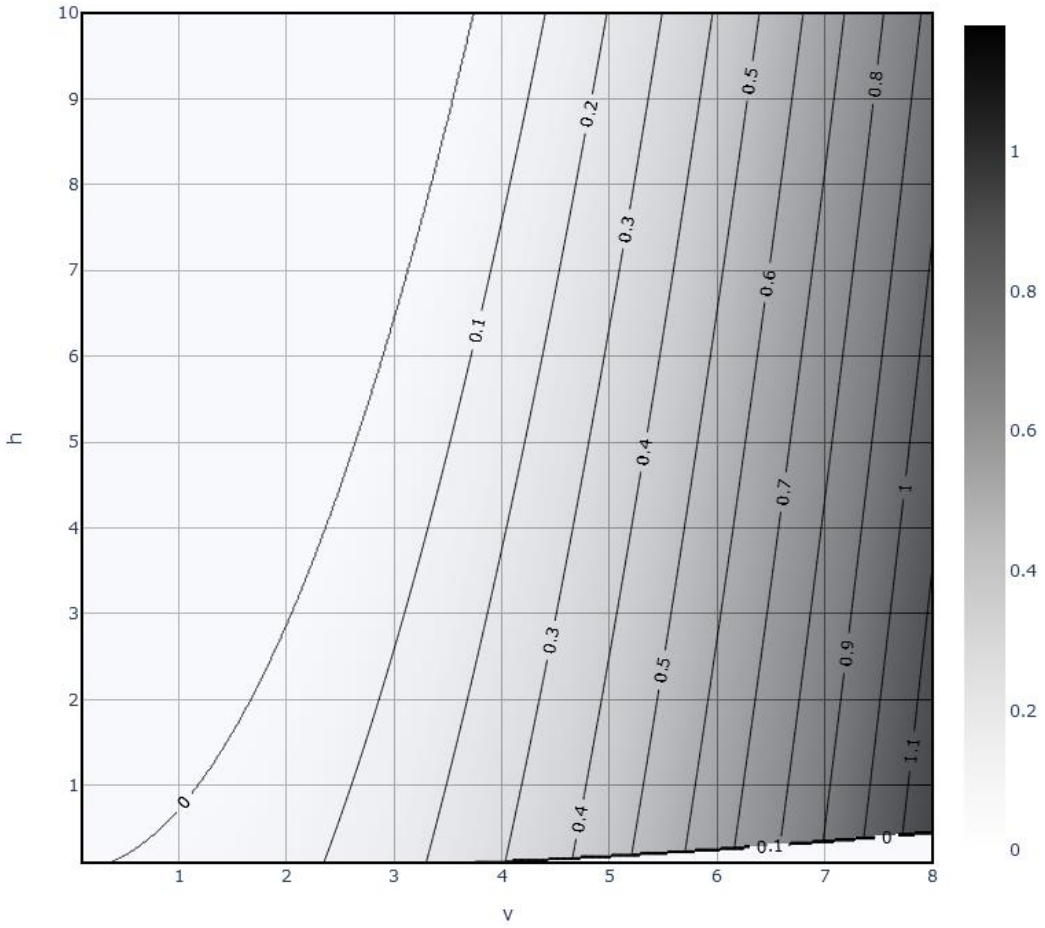

Рис. 4 - Толщина слоя изолирующего материала в зависимости от высоты (от вершины) и скорости ветра при угле склона 45°

Проведенные расчеты показали, что для предотвращения пожара слоем глины или суглинка достаточно слоя толщиной около 1 м. Причем по высоте склона толщина необходимого слоя будет изменяться.

Список литературы

1. Пащенко, Л. В. Поиск эффективных антиокислителей антиоксидантов предотвращения процесса самовозгорания углей Донбасса / Л. В. Пащенко, В. И. Потапенко // Сборник научных трудов Донецкого института железнодорожного транспорта. – 2020. – № 59. – С. 54-66.

2. Портола В. А., Киренберг Е. А. Изолирующее свойство суглинка для профилактики самовозгорания угля и углесодержащих пород. Физико-технические проблемы разработки полезных ископаемых. 2025. № 3. С. 110-118.

3. Портола В.А., Храмцов В.И., Киренберг Е.А. Влияние слоя суглинка на самовозгорание скопления угля под действием ветрового напора. Уголь. 2025;(9):94-99.

4. Исследование параметров вспененных отходов флотации угля для борьбы с самовозгоранием угля в шахтах. Портола В. А., Бобровникова А. А., Киренберг Е. А. Кокс и химия. 2025. № 7. С. 22-27.

5. Сергеев И. В. Оценка технологических схем разработки пласта по самовозгоранию угля и рекомендации по его предупреждению // Горный информационно-аналитический бюллетень. – 2001. – № 5. – С. 21-26.

6. Син С.А., Портола В.А., Игишев В.Г. Повышение безопасности и эффективности использования азота для борьбы с самовозгоранием угля в выработанном пространстве шахт. Уголь. – 2019. – № 2. – С. 11–14.

7. Портола, В. А. Влияние инертной смеси на изменение химической активности угля / В. А. Портола, Н. Ю. Луговцова, Е. С. Торосян // Горный информационно-аналитический бюллетень (научно-технический журнал). – 2012. – № S7. – С. 141-145.

8. Син, С. А. Влияние азота на длительность самовозгорания угля // Природные и интеллектуальные ресурсы Сибири. Сибресурс 2020 : Сборник материалов XVIII Международной научно-практической конференции, Кемерово, 24–25 ноября 2020 года / Редколлегия: А.А. Хорешок (отв. редактор), В.А. Колмаков [и др.]. – Кемерово: Кузбасский государственный технический университет имени Т.Ф. Горбачева, 2020. – С. 109.1-109.6.

9. Исследование воздействия антипирогенов на процесс самовозгорания бурого угля / В.А. Портола, О.И. Черских, С.И. Протасов, Е.А. Серегин, И.А. Шваков. // Уголь. 2022. № 12. С. 54-60.

10. Карлов, И. Д., Портола В.А. Профилактика самовозгорания угля, отгружаемого в железнодорожных вагонах // Безопасность жизнедеятельности предприятий в промышленно развитых регионах : Материалы X Международная научно-практическая конференция, Кемерово, 28–30 ноября 2013 года. – Кемерово: Кузбасский государственный технический университет им. Т.Ф. Горбачева, 2013. – С. 83-85.

11. Завьялова, Е. Л. Предупреждение самонагревания угля в зонах геологических нарушений, вскрытых подготовительными выработками / Е. Л. Завьялова // Горноспасательное дело. – 2009. – № 1(46). – С. 113-120.

12. Портола В.А., Храмцов В.И., Киренберг Е.А. Оценка эффективности применения способа увлажнения для предупреждения самовозгорания угля // Уголь. 2025;(4):89-94.

13. Шестакова, И. И. Применение ингибирующих веществ для профилактики самовозгорания бурых углей Восточной Сибири и Забайкальского края // Вестник Иркутского государственного технического университета. – 2014. – № 2(85). – С. 103-108.

14. Федорова, С. Е. Технологии складирования угля для предотвращения самовозгорания // Горный информационно-аналитический бюллетень. – 2005. – № S2. – С. 183-189.

15. Баизбаев, М. Б. Профилактика и борьба с эндогенными пожарами на угольных разрезах / М. Б. Баизбаев, А. В. Пак // Современные тенденции и инновации в науке и производстве : Сборник материалов VIII международной научно-практической конференции, Междуреченск, 03–04 апреля 2019 года / Ответственный редактор Гвоздкова Татьяна Николаевна. – Междуреченск: Кузбасский государственный технический университет имени Т.Ф. Горбачева, 2019. – С. 130.1-130.7.

16. V Fierro,J.L Miranda,C Romero,J.M Andrés,A Arriaga,D Schmal,G.H Visser / Prevention of spontaneous combustion in coal stockpiles Experimental results in coal storage yard // Fuel Processing Technology Volume 59, Issue 1, April 1999, Pages 23-34.

17. Yang, Y., Li, Z., Tang, Y. *et al.* Fine coal covering for preventing spontaneous combustion of coal pile. *Nat Hazards* **74**, 603–622 (2014).