

## **ПРИЧИНЫ САМОВОЗГОРАНИЯ УГЛЕСОДЕРЖАЩИХ ПОРОД ОТВАЛОВ**

*Приведены результаты исследования нагревания угля и углесодержащих горных пород при транспортировке из угольных разрезов. Показано, что повышение температуры угля выхлопными газами автомобиля увеличивает химическую активность угля и интенсифицирует самовозгорание. Установлено существенное увеличение выделения опасных газов в атмосферу с повышением температуры углесодержащих пород.*

*Ключевые слова: уголь, углесодержащие породы, автотранспорт, самовозгорание, газовыделение.*

*E.S. Torosyan, V.K. Antyufeev*

## **CAUSES OF SPONTANEOUS COMBUSTION OF COAL ON THE DUMPS**

*The results of research into heating up of coal and coal-bearing rocks during transportation by motor vehicles are given. It is proved that heating of coal by exhaust truck gases causes increase in coal chemical activity and intensifies spontaneous combustion. Experiments reveal a growing amount of hazardous gases evolved into the atmosphere as the temperature of coal-bearing rock increases.*

*Key words: coal, coal-bearing rocks, motor vehicles, spontaneous combustion, gas emission.*

Статья поступила в редакцию Интернет-журнала 7 ноября 2016 г.

Автомобильный транспорт, осуществляющий перевозку угля и горных пород из угольных разрезов, наносит большой ущерб окружающей природной среде. Непосредственный ущерб природе обусловлен выбросами в атмосферу токсичных продуктов сгорания топлива, а также пыли, образующейся при движении транспорта. Негативное воздействие на природу возникает при утилизации масла, изношенных шин автомобилей и пр.

Между тем существуют и вторичные негативные воздействия на окружающую природную среду, возникающие от работы автотранспорта на горных предприятиях. Так, у большинства самосвалов, транспортирующих горную массу, горячие продукты сгорания топлива проходят по каналам, проложенным в дне кузова. В результате перевозимая самосвалами горная масса начинает нагреваться. Учитывая, что перевозимым продуктом может быть уголь и углесодержащие горные породы, происходящее нагревание активизирует химическую активность угля, что может сопровождаться увеличением выхода вредных газообразных продуктов.

После выгрузки перевозимой горной массы прогретые уголь и углесодержащие горные массы начинают интенсивно окисляться кислородом воздуха, что может вызвать развитие процесса самовозгорания, сопровождающегося

негативным воздействием на окружающую природную среду и представляющего опасность для человека. Так, при нагревании угля выделяются оксид углерода, метан, водород, углекислый газ, предельные и непредельные углеводороды.

Для оценки теплового импульса, передаваемого горным породам при перевозке на автотранспорте, были проведены измерения температуры поверхности грузовой платформы большегрузных автосамосвалов БелАЗ 75131, способные перевозить до 130 тонн груза. Газообразные продукты сгорания выходят из двигателя и через выхлопные трубы и уплотняющие устройства поступают в полости грузовой платформы, где по системе каналов распределяются по всей обогреваемой поверхности. В качестве воздухопроводов в грузовой платформе использованы ребра жесткости, образующие разветвленную сеть в днище грузовой платформы. Проходя по каналам горячие выхлопные газы охлаждаются, отдавая свое тепло металлу. В результате теплообмена разогретое дно платформы передает тепло перевозимым горным породам.

Замеры производились на породных отвалах в местах разгрузки автосамосвалов при температуре атмосферного воздуха минус 20 °С. Скорость воздуха составляла 2-3 м/с. Измерения осуществлялись с использованием пирометра "Радан", определяющего температуру дистанционно по интенсивности инфракрасного излучения. При замере кузов делился на девять секторов. Усредненная температура каждого сектора приведена на рис. 1.

Полученные результаты показывают, что температура горных пород даже в зимний период при отрицательной температуре атмосферного воздуха может достигать 70 °С. В летний период температура поверхности кузова может возрасти до 90 °С. Причем наиболее разогретая горная порода оказывается на поверхности высыпанной массы, где создаются благоприятные условия для окисления угля и углесодержащих пород окружающим атмосферным воздухом и дальнейшего повышения температуры.

о о		
68°C	64°C	69°C
53°C	53°C	48°C
34°C	38°C	37°C

**Рис. 1.** Схема распределения температуры горных пород по поверхности грузовой платформы

Для исследования динамики нагрева и остывания горных пород использовались навески массой по 2000 г. Измельченный уголь помещали слоем 8 см на разогретую до 90 °С пластину. Датчики температуры располагались на расстоянии 1 см от пластины, в середине навески (на расстоянии 4 см от пластины) и на поверхности разогреваемой массы. Температура окружающей среды составляла 25 °С.

Изменение температуры в ходе нагревания угля производились каждые 20 мин. в течение одного часа. В первом опыте нагревался сухой уголь, во втором – увлажнённый. Результаты изменений температуры угля приведены в табл. 1.

Таблица 1

**Результаты исследования нагревания угольной массы**

Время прогрева (мин.)	Температура скопления угля (°С)		
	1 см от дна	4 см от дна	на поверхности
<i>Сухой уголь</i>			
20	66	26	25
40	75	29	25
60	83	38	28
<i>Увлажнённый уголь</i>			
20	77	26	25
40	86	36	32
60	89	44	35

Анализ полученных результатов показывает, что средняя температура угольного скопления толщиной 8 см составляет около 40 °С. Причём, более влажный уголь нагревается быстрее сухого.

Учитывая возможность существенного нагрева угля и углесодержащей массы при транспортировании, в следующей серии экспериментов исследовали изменение химической активности прогретого угля и выделение различных газов.

Для оценки химической активности угля пробы раздробленного угля с размером частиц 1-3 мм массой 100 г помещались в сорбционные сосуды и герметично закрывались. Затем сорбционные сосуды помещали туда, где поддерживалась постоянная температура, возникающая при перевозке угля в автомобильном транспорте. В изотермических условиях насыпки угля выдерживались 24 часа, после чего пробы газа, контактировавшие с углем, отбирались для определения концентрации кислорода и других выделившихся газов.

После продувки пробы атмосферным воздухом уголь вновь помещали в сорбционный сосуд, герметизировали и вновь выдерживали 24 часа при определенной температуре. Такие замеры повторялись через каждые 24 часа в течение 10 суток. Вычисление константы скорости сорбции кислорода производилось по формуле:

$$K = -\frac{V}{M\tau} \ln \frac{C_A(1-C_0)}{C_0(1-C_A)},$$

где  $V$  – объём воздуха, находящийся в соприкосновении с углём,  $см^3$ ;

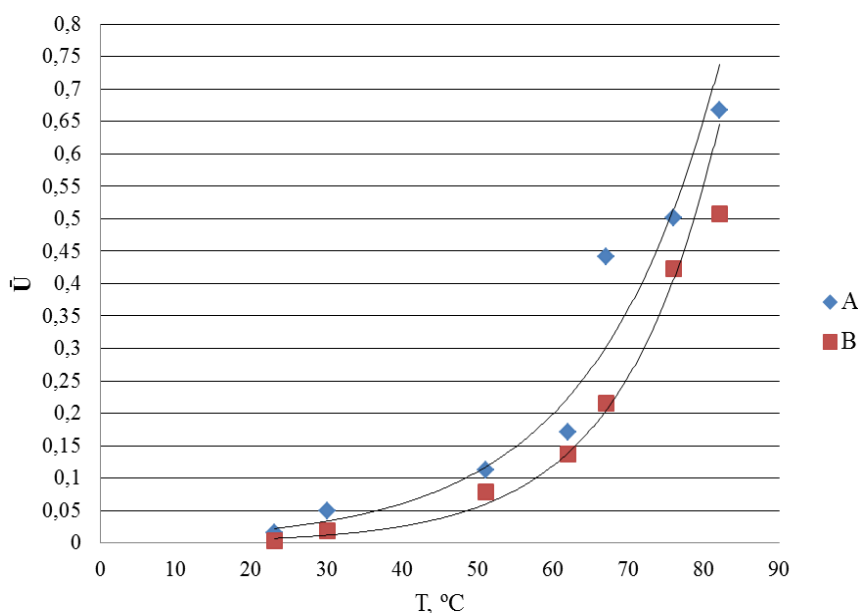
$M$  – масса пробы угля,  $г$ ;

$\tau$  – время контакта воздуха с углём,  $ч$ ;

$C_0$  – начальная концентрация кислорода в сосуде, доли ед.;

$C_A$  – концентрация кислорода через время  $\tau$ , доли ед.

Изменение скорости сорбции кислорода углем в зависимости от температуры приведено на рис. 2. Значения скорости сорбции даны в  $см^3/(г\cdot час)$ .



**Рис. 2.** Изменение химической активности углей при повышении температуры:  
А – через 24 ч после начала эксперимента; В – через 72 ч

Анализ полученных результатов показывает, что нагревание угля существенно увеличивает химическую активность угля по отношению к кислороду. Причем наблюдается экспоненциальный рост химической активности угля в зависимости от температуры. Так, химическая активность угля, измеренная через 24 часа выдержки при температуре 23 °С, равнялась 0,016  $см^3/(г\cdot час)$ . При температуре 80 °С эта величина возросла в 41 раз до 0,667  $см^3/(г\cdot час)$ . Из представленных результатов можно также сделать вывод, что увеличение длительности контакта угля с воздухом снижает химическую активность угля. Причиной такого эффекта может быть образование пленки из окисленного угля на поверхности исследуемых образцов, препятствующей проникновению кислорода к активным центрам.

Проведённые исследования показали, что с ростом температуры угля существенно увеличивается выделение метана, оксида углерода, сероводорода. Так, концентрация метана в сорбционном сосуде при температуре угля более 70 °С превышала 3 %. Сероводород был зафиксирован при температуре 50 °С, а при нагреве до 80 °С его концентрация достигла 1,2 мг/м<sup>3</sup>. Особенно быстро увеличивалось при нагреве угля выделение оксида углерода. Уже при температуре 50 °С содержание оксида углерода в сосуде составило 0,0485 %, а при нагреве до 70 °С достигло 0,368 %.

Таким образом, проведённые исследования показали, что уже во время транспортирования угля и углесодержащей породы автотранспортом происходит существенный нагрев прилегающей к дну кузова массы, что интенсифицирует химическую активность угля по отношению к кислороду и выделение таких опасных газов, как оксид углерода, метан, сероводород. После выгрузки из самосвала прогретый выхлопными газами уголь и углесодержащие породы оказываются сверху сгруженной массы. Учитывая резко возросшую при нагревании химическую активность, уголь начинает активно взаимодействовать с кислородом окружающего воздуха. Количество выделяющегося в угле тепла можно определить по формуле:

$$Q = \rho K q C,$$

где  $\rho$  – плотность угля или углесодержащих пород, кг/м<sup>3</sup>;  
 $q$  – тепловой эффект реакции окисления, Дж/м<sup>3</sup>;  
– концентрация кислорода в поступающем воздухе, доли ед.;  
 $K$  – константа скорости окисления, м<sup>3</sup>/(кг·с).

Учитывая резкое повышение константы скорости окисления угля за счёт нагревания выхлопными газами, следует ожидать увеличения выделения тепла в скоплении угля в 41 раз. В случае выделения в скоплении, за счёт окисления угля, тепла больше, чем теряется в окружающее пространство, начинается процесс самовозгорания. По мере повышения температуры скопления увеличивается химическая активность угля, что интенсифицирует дальнейший рост температуры [1]. Приток воздуха к разгруженной массе увеличивается и за счёт тепловой депрессии, развиваемой нагретым в кузове автомобиля углем.

Существует критическая температура для каждого окисляющегося вещества, при достижении которой процесс самовозгорания становится необратимым. Для углей Кузбасса критическая температура самовозгорания находится в пределах 70-100 °С. Поэтому иногда достаточно нескольких дней для формирования очага самовозгорания в угле или углесодержащих породах, получивших тепловой импульс при перевозке в автотранспорте.

Образующиеся очаги самовозгорания представляют большую опасность из-за выделения в окружающую среду опасных веществ. В наибольшей степени загрязняется атмосфера, куда поступают газы, образующиеся при окислении и термическом разложении угля. Часть токсичных продуктов с атмосферными осадками попадает в водоемы. Потеря влаги в скоплениях угля и пород, прогреваемых очагом самовозгорания, облегчает поступление пыли в атмосферу с дальнейшим выпадением на земную поверхность [2].

Исследования, проведенные на породных отвалах, сформированных за счет вывоза углесодержащих пород автотранспортом из угольных разрезов, показали, что на поверхности находится ряд очагов самовозгорания. Температура поверхности в большинстве таких очагов составляла 120-180 °С. В нескольких местах на бортах отвала, где возможен интенсивный подвод воздуха, наблюдался открытый огонь, температура раскаленных пород достигала 500-600 °С. На ровной уплотненной поверхности отвала температура поверхности составляла 20-50 °С.

Концентрация оксида углерода в воздухе у поверхности отвала колебалась в широких пределах в зависимости от температуры и уплотненности горных пород. Над рыхлой разогретой поверхностью концентрация оксида углерода достигала 0,05 %. В отдельных местах зафиксировано выделение метана (до 0,5 %) и водорода (до 0,1 %). Наблюдается значительное колебание удельного выделения радона с поверхности отвала.

Измерялись также потоки радона над трещинами и в местах с разрыхленной породой. Эти замеры показали, что над очагами самовозгорания наблюдается увеличение выноса радона в атмосферу. Обычно фоновые значения потоков радона не превышают 100 мБк/(м<sup>2</sup>·с). Однако над прогретой зоной с температурой поверхности равной 52 °С поток радона достигал 407 мБк/(м<sup>2</sup>·с). Концентрация оксида углерода в углублении составляла 0,0019 %, водорода – 0,0008 % и метана – 0,05 %. В зоне нагрева проходила трещина с выделением пара, температура пород составляла 48 °С. Там, где выделения пара не наблюдалось, температура пород в трещине колебалась от 60 до 90 °С. Поток радона над трещиной равнялся 161 мБк/(м<sup>2</sup>·с). В следующей зоне нагрева проходила трещина с температурой пород 64 °С и выделением пара. Оксид углерода в исходящем воздухе отсутствовал, концентрация водорода достигала 0,3 %, а метана 1,0 %. Поток радона над трещиной равнялся 316 мБк/(м<sup>2</sup>·с).

Проведенные исследования позволяют сделать следующие выводы.

1. Перевозка автотранспортом угля и углесодержащих пород из разрезов приводит к их нагреву выхлопными газами до температуры 40-80 °С.

2. Увеличение температуры угля и углесодержащих пород при транспортировке приводит к росту химической активности угля по отношению к кислороду и выделению опасных газов в атмосферу. Наиболее интенсивно образуются оксид углерода, метан.

3. После выгрузки угля и углесодержащих пород возникают условия, способствующие развитию процесса самовозгорания за счёт притока воздуха. Тепловая депрессия прогретых при транспортировке углесодержащих масс стимулирует приток воздуха к активным центрам угля.

4. Над очагами самовозгорания, возникающими на поверхности породных отвалов, возникают потоки опасных газов, загрязняющих атмосферу. Зафиксировано увеличение потоков радона, метана, оксида углерода, водорода.

### Литература

1. **Веселовский В.С., Виноградова Л.Н., Орлеанская Г.Н.** Физические основы самовозгорания угля и руд. М.: Наука, 1972. 160 с.
2. **Саранчук В.И.** Окисление и самовозгорание угля. Киев: Наук. думка, 1982. 151 с.