

9. Ананьев К.А. Создание исполнительного органа геохода для разрушения пород средней крепости: дис. кан-та техн. наук. Кемерово: КузГТУ, 2016. 144 с.
10. Ермаков А.Н. Обоснование параметров законтурных исполнительных органов геоходов для разрушения пород средней крепости: дис. кан-та техн. наук. Кемерово: Кузбасский государственный технический университет имени Т. Ф. Горбачева, 2016. 158 с.
11. Sadovets V.Y., Beglyakov V.Y., Efremenkov A.B. Simulation of Geokhod Movement with Blade Actuator // Appl. Mech. Mater. 2015. В. 770. С. 384–390.
12. Дронов А.А., Блащук М.Ю., Тимофеев В.Ю. Формирование требований к узлу сопряжения секций геохода // Горное оборудование и электромеханика. 2016. № 8 (126). С. 39–42.
13. Дронов А.А. Обоснование необходимости разработки узла сопряжения секций геоходов // Проблемы геологии и освоения недр: труды XVII Международного симпозиума имени академика М.А. Усова. 2013. В. 2. С. 313–314.

МЕХАНИЗМ САМОВОЗГОРАНИЯ УГЛЯ

*М.В. Ананьева, к.ф.-м.н., Н.В. Газенаур, В.В. Галкина
Кемеровский государственный университет
650000, г. Кемерово, ул. Красная, 6, тел. (3842) 58-05-91
E-mail: kriger@kemsu.ru*

В работе проведено моделирование процесса зарождения очага эндогенного пожара и намечены пути мобильного определения вероятности его возникновения или наличия. Механизм самовозгорания учитывает процессы тепловыделения при нагревании угля, выделения летучих продуктов, трещинообразование и изменение режима доступа кислорода в очаг реакции в ходе его эволюции. Проведено математическое моделирование процесса самовозгорания угля трех марок угля – антрацит, коксующийся, жирный, проведен расчет динамики температурных полей на поверхности очага самовозгорания, определены критические условия. Для мобильного определения вероятности возникновения или наличия эндогенного пожара предложено использовать беспилотные летательные аппараты.

In this work simulation of spontaneous combustion of coal of three grades – anthracite, coking coal, fat in case of lack of oxygen supply and calculation of dynamics of the temperature fields on the surface was made, critical conditions of the hearth of spontaneous combustion were estimated. The mechanism takes into account the processes of heat release, the release of volatile products, cracking and changes in the mode of access of oxygen to the reaction center during its evolution.

Подземные пожары на угольных складах и разрезах являются негативным следствием использования топлива. Они приводят как к уничтожению угля, выбросу сажи и парниковых газов, так и к оседанию грунта, разрушению поверхностных пород и фундамента строений. Пожары несут прямую угрозу людям и технике, работающей вблизи очага пожара. Подземные пожары опасны также тем, что могут возникать спонтанно в результате самовозгорания угля и до определенного момента их обнаружение достаточно проблематично. Движущей силой подземного пожара является экзотермическая реакция окисления углерода кислородом, входящем в состав угля. Целью работы является моделирование процесса зарождения очага эндогенного пожара и определение путей мобильного определения вероятности его возникновения или наличия на угольных предприятиях Кузбасса.

Численное моделирование процесса самовозгорания угля является чрезвычайно важной задачей, широко освещенной в статьях международных журналов [1-3]. При этом не разработано единой модели, позволяющей на современном уровне учесть основные физико-химические процессы и свойства породы. В работе сформулирован и начато исследование механизма самовозгорания угля, учитывающего химические процессы, различные варианты доступа кислорода, трещинообразование, уравнение состояния, марку угля и мощность пласта [4,5]. Для решения данной задачи привлечен опыт решения ряда смежных задач: процессов зажигания углей, механохимии и механики угольных пластов. Таким образом, особенно важным является построение физико-химической модели очага тепловыделения, строго опирающейся на результаты именно экспериментально измеренных профилей температур на реальных объектах, штабелях угля или поверхности грунта над очагом подземного угольного пожара.

В работе проведено математическое моделирование процесса самовозгорания угля наиболее популярных в Российской Федерации марок угля (антрацит, коксующийся, жирный) в условиях свободного притока кислорода, расчет динамики температурных полей на поверхности, определение критических условий очага реакции самовозгорания и конфигурации температурного поля на поверхности. Механизм

самовозгорания на современном уровне учитывает ряд отдельно изучаемых процессов тепловыделения при нагревании угля, выделения летучих продуктов, трещинообразования и изменения режима доступа кислорода в очаг реакции в ходе его эволюции. Для моделирования самовозгорания угольных складов достаточно учитывать механизм горения угля с учетом быстрого подвода кислорода и отвода горячих продуктов горения, кондуктивного теплопереноса [3-5]. Для моделирования самовозгорания подземных угольных пластов кроме механизма горения угля необходимо учитывать ограниченность доступа кислорода и отвода продуктов реакции. Поэтому необходимо включать в модель уравнения состояния, позволяющие отслеживать возрастающее давление продуктов реакции, и связанное с этим трещинообразование. Формулируемая модель относится к задаче Стефана.

Для численного моделирования самовозгорания угольных складов создан пакет прикладных программ, включающий введение начальных условий задачи, расчет изменяющейся в ходе моделирования процесса самовозгорания расчетной сетки, оценка констант процесса в зависимости от текущей температуры. Результатом выполнения программы является расчет эволюции температурных полей и расхода энергетического вещества вследствие учета потоков температуры (тепловой энергии) через границы расчетной сетки. Отдельным блоком программы является визуализация результатов расчета, в первую очередь - температурных полей на границе расчетной области (поверхности угольного склада) и в очаге реакции самовозгорания. На основании литературных данных выбраны кинетические параметры модели (предэкспоненциальный множитель и энергия активации в зависимости от температуры). Рассчитаны критические условия и динамика температурных полей в очаге самовозгорания в зависимости от геометрических параметров расчета. Численное моделирование кинетических закономерностей самовоспламенения угля в различных условиях с определением критических характеристик процесса (температура самовозгорания при заданном расстоянии до поверхности) и распределения температуры на поверхности проведены с использованием 4-х ядерного вычислительного комплекса.

Основная отслеживаемая характеристика процесса – динамика температурных полей на поверхности угля на складе и земли над угольным пластом. Численное решение систем дифференциальных уравнений в частных производных, соответствующих механизмам процессов, выполнено на сетке с переменным шагом по координате. Полученная система обыкновенных дифференциальных уравнений будет решаться методом Рунге-Кутты 1-5 порядка с переменным шагом по времени. Относительная погрешность составит не более 10^{-9} , при этом интегральная относительная погрешность, оцениваемая по точности выполнения закона сохранения энергии, не превысит $2.5 \cdot 10^{-5}$.

В режимах, когда тепло не может быстро рассеиваться из очага реакции, уголь может начать гореть при температурах ниже $100\text{ }^{\circ}\text{C}$ (до $80\text{ }^{\circ}\text{C}$). Это происходит в хорошо аэрированных (часто в результате добычи) объемах угля под землей, а также на поверхности в штабелях. Вероятность спонтанного горения тем выше, чем ниже ранг угля и выше содержание летучих компонентов. Наибольшая вероятность возникновения угольных пожаров существует именно в местах угледобычи. Подземные угольные пожары происходят во всем мире и представляют собой гораздо более значительную геологическую и экологическую опасность, чем принято считать.

Для регистрации пожаров используются термокамеры и тепловые сканеры, установленные на самолетах или вертолетах. Данные таких исследований чрезвычайно важны и отличаются высокой точностью, однако они очень дороги, что делает этот метод совершенно непригодным для локального мониторинга на складах. Еще один их существенный недостаток заключается в риске для жизни экипажа, в связи с частыми неблагоприятными условиями видимости, в результате задымления в районе исследования.

Также существует возможность мониторинга и анализа угольных месторождений из космоса. Данный метод позволил провести чрезвычайно широкие научные изыскания по мониторингу и анализу причин возникновения угольных пожаров по всему миру [2]. Принципиальными его недостатками являются дороговизна и относительно низкое пространственное разрешение получаемых данных.

В последнее десятилетие чрезвычайно возросла роль беспилотных летательных аппаратов (БПЛА) как в промышленности в целом, так и в отрасли добычи минерального сырья. Применения БПЛА значительно облегчает геодезические работы, позволяет реализовать расчёт объемов выемки и добываемого сырья, позволяет проводить геологические изыскания. Основным достоинством применения БПЛА является существенное снижение затрат на указанные виды изысканий, а также рисков в результате уменьшения числа персонала непосредственно на месте угледобычи.

Применение беспилотных летательных аппаратов является оптимальным для подробного построения профиля температуры на реальной поверхности грунта над очагом. При одновременно использова-

нии двух БПЛА, оснащенных фотокамерой и тепловизором, возможно в короткие сроки построить 3D-модель местности и наложить на неё поверхностное распределение температуры с высокой детализацией. Преимуществами данного метода является низкая себестоимость работ, оперативность, отсутствие необходимости опасного размещения техники и персонала в непосредственной близости от пожара.

В дальнейшем планируется провести проверку работоспособности механизма зажигания угля в различных условиях подхода кислорода при помощи сравнения с экспериментальными температурными полями реальных эндогенных пожаров, полученных с использованием БПЛА.

Заявка № 18-71-10055

Список литературы

1. Saleh, Muksin, Yuswan Muharram, and Yulianto S. Nugroho. Modeling of the Crossing Point Temperature Phenomenon in the Low-temperature Oxidation of Coal. // International journal of technology 8.1. 2017. p. 104-113.
2. Xu, Yong-liang, et al. Spontaneous combustion coal parameters for the Crossing-Point Temperature (CPT) method in a Temperature-Programmed System (TPS). // Fire Safety Journal 91. 2017. p. 147-154.
3. Wang, Yongjun, et al. Determination of critical self-ignition temperature of low-rank coal using a 1 m wire-mesh basket and extrapolation to industrial coal piles. // Energy & Fuels 31.7. 2017. p. 6700-6710.
4. Глушков Д. О., Кузнецов Г. В., Стрижак П. А. Моделирование процесса зажигания угольной пыли в присутствии металлических частиц //Химия твердого топлива. 2017. №. 1. С. 28-35.
5. Glushkov D. O., Kuznetsov G. V., Strizhak P. A. // Russian Journal of Physical Chemistry B. 2015. V. 9. No. 2. pp. 242-249.

ДВУХСТУПЕНЧАТАЯ ПРОГРЕССИВНАЯ ПРОТЯЖКА ДЛЯ ОБРАБОТКИ ЦИЛИНДРИЧЕСКИХ ОТВЕРСТИЙ

*Г.Т. Итыбаева, к.т.н., Ж.К. Мусина, к.т.н., А.Ж. Таскарина, доктор PhD
Павлодарский государственный университет имени С. Торайгырова
140008, г. Павлодар ул. Ломова 64, тел. (7182)-67-36-33
E-mail: galia-itibaeva@mail.ru*

Актуальной проблемой является обработка отверстий деталей машин, к которым предъявляются высокие требования по точности размера, формы и расположения. Для решения этой проблемы разработана конструкция двухступенчатой прогрессивной протяжки, которая позволит увеличить производительность обработки, уменьшить усилия протягивания и вибрации, удельное давление на зубья протяжки, тем самым увеличивая стойкость протяжки и качество обработки цилиндрических отверстий.

The actual problem is the machining of the holes of machine parts, to which high demands are placed on the accuracy of size, shape and location. To solve this problem, the design of a two-stage progressive broach has been developed that will increase the processing capacity, reduce the pulling and vibration forces, the specific pressure on the drive teeth, thereby increasing the draw resistance and the quality of the cylindrical hole machining.

Протягиванием обрабатывают отверстия разнообразного профиля с точностью 6-7 квалитетов и шероховатостью поверхности $R_a 1,25 \pm 0,32 \mu\text{m}$. Длина протягиваемого отверстия обычно не превышает трехкратной величины обрабатываемого диаметра. Перед протягиванием отверстия обрабатывают сверлом, зенкером или резцом.

Процесс протягивания выполняется разными схемами резания: профильная; прогрессивная или переменного резания; генераторная.

Высокая эффективность процесса протягивания объясняется большой длиной режущих кромок, одновременно участвующих в процессе резания; выполнением одним инструментом за один рабочий ход нескольких переходов, и отсутствием большого числа обратных ходов, которые сопровождают процесс долбления шпоночных пазов, шлицевых и зубчатых, многогранных и фасонных отверстий [1-7].

При обработке отверстий протяжками с круглыми зубьями сила резания скачкообразно изменяется вследствие переменного количества одновременно работающих зубьев, шаг которых обычно не кратен длине обрабатываемой детали. В результате постоянно меняется НДС технологической системы и возникновение колебаний, которые уменьшают качество обработки (увеличивается шероховатость, отклонение от заданной геометрической формы отверстия) и снижается стойкость протяжки [7-8].

Улучшение условий резания, качества протянутого отверстия, а также применение прогрессивных конструкций привели к разработке нового более эффективного металлорежущего инструмента – двухступенчатой прогрессивной протяжки для обработки цилиндрических отверстий (рисунок 1).