

**УДК 622.822.22**

Греков Святослав Павлович, д-р техн. наук, главный научный сотрудник (НИИГД «Респиратор» МЧС ДНР, г. Донецк)  
Grekov Svyatoslav Pavlovich, Dr. Sci. (Tech.), senior research scientist  
(The NIIGD “Respirator” of EMERCOM of DPR, Donetsk)

Рудницкий Вячеслав Брониславович, д-р физ.-мат. наук, зав. кафедрой  
(ХНУ, г. Хмельницкий)  
Rudnitskiy Vyacheslav Bronislavovich, Dr. Sci. (Phys.-Math.), head of a chair (KhNU, Khmelnytsky)

Старикова Ирина Геннадиевна, канд. техн. наук, ученый секретарь (НИИГД «Респиратор» МЧС ДНР, г. Донецк)  
Starikova Irina Gennadiyevna, Cand. Sci. (Tech.), scientific associate  
(The NIIGD “Respirator” of EMERCOM of DPR, Donetsk)

Всякий Александр Александрович, научный сотрудник (НИИГД «Респиратор» МЧС ДНР, г. Донецк)  
Vsyakiy Aleksandr Aleksandrovich, scientific associate  
(The NIIGD “Respirator” of EMERCOM of DPR, Donetsk)

**УСЛОВИЯ ВОЗНИКНОВЕНИЯ ЭНДОГЕННЫХ ПОЖАРОВ  
В ЗОНАХ ГЕОЛОГИЧЕСКИХ НАРУШЕНИЙ  
В ЗАВИСИМОСТИ ОТ СОСТОЯНИЯ УГЛЕНОСНОЙ ТОЛЩИ**

**CONDITIONS OF ORIGIN OF SPONTANEOUS FIRES  
IN ZONES OF GEOLOGICAL DISTURBANCES  
DEPENDING ON THE STATE OF COAL-BEARING STRATA**

Изучены места возникновения эндогенных пожаров в шахтах, проанализированы результаты экспериментальных исследований по разрушению композитных материалов при их статическом напряжении. Показана аналогия воздействия нагрузки на разрушение целиков угля, оставляемых не вынутыми, что приводит к возникновению эндогенных пожаров в этих местах.

The places of occurrence of the spontaneous fires in mines have been studied; the results of experimental investigations of destruction of composite materials under their dead-load stress have been analyzed. The analogy of influence of the load on destruction of coal blocks being left non-extracted has been shown what leads to occurrence of the spontaneous fires in these places.

В настоящее время в Донецкой Народной Республике работают 19 шахт, добывающих 7 млн т угля в год, на глубине до 1400 м. Количество добычных участков 39. Разрабатывают пологие пласты угля с углом наклона до  $16^\circ$ , не склонные к самовозгоранию ( $l_1^B, l_2, l_3, l_4, l_6, l_7, l_8', h_8, h_{10}, h_{10}^B, h_{11}, k_3, k_3^H, k_4', k_5, k_8^H$ ) и склонные к самовозгоранию ( $m_3, l_1, h_6^1$ ). Толщина пластов от 0,9 до 1,7 м. Все пласты угрожаемые и опасные по внезапным выбросам угля газа.

На многих полях выемочных участков есть зоны прогнозируемых и непрогнозируемых геологических нарушений, выемка угля в этих местах затруднительна, в связи, с чем часть угля остается в выработанном пространстве, самонагревается за счет внутренних источников (химических реакций окисления). Это приводит к выделению в шахтную атмосферу вредных веществ, эндогенному пожару и выходу из строя добычного участка.

Возникновение пожаров в зонах геологических нарушений (ЗГН) изучены недостаточно, о чем свидетельствует тот факт, что в них возникает около 30 % от числа всех эндогенных пожаров. Это и явилось предметом данного исследования.

В методах оценки пожароопасности выемочных полей [1-3] специфика самонагрева угля в ЗГН не учитывалась, в связи, с чем применение полученных результатов ограничивалось условиями разработки пластов. В то же время в ЗГН разрывного характера внутренняя структура пласта существенно отличается от структуры ненарушенной толщи. Отличие заключается в повышенной трещиноватости, которая в свою очередь предопределяет пониженную прочность углепородного массива. Наличие трещиноватости, как считает автор [4], является следствием значительных механических нагрузок, которые испытал горный массив в непосредственной близости от плоскости смещений в период формирования нарушений.

Специфика потерь угля в ЗГН предопределила постановку задачи исследования тепломассообменных процессов самовозгорания угля в этих местах, а также исследование зависимости состояния угольного пласта в ЗГН на пожароопасность для разработки методики количественной оценки эндогенной пожароопасности горных работ.

При прохождении ЗГН горными работами, сопровождающемся перераспределением горного давления и возникновением пустот, в этих зонах начинается более интенсивное, чем в других местах, разрушение горного массива. Это приводит к интенсивной дегазации угля и фильтрации воздуха через него, что способствует развитию окислительных процессов.

С целью анализа условий возникновения эндогенных пожаров были проанализированы данные о пожарах, происшедших в шахтах Донбасса за 10-ти летний период, в которых было наибольшее их количество. Возникновением эндогенными пожарами охвачены пласты пологого, наклон-

ного и крутого падения толщиной от 1 до 2,2 м с марками углей от длиннопламенных до тощих, метанообильностью от 1,5 до 27 м<sup>3</sup>/т, влажностью от 1 до 14,7 % и содержанием серы 1,6 ÷ 8,5 %.

Большое количество эндогенных пожаров происходило в зонах геологических нарушений. Типы ЗГН были представлены в виде раздвоение пласта, увеличение толщины или сдвига пласта. В этих зонах после работ по выемке угля в выработанном пространстве оставались потери угля в виде целиков над штреками, угольных полос по всей длине лавы, в отдельных местах лавы в кровле, либо почве пласта. Пожаров в этих случаях произошло 8 из 18 общего числа.

В этот же период времени произошло 6 пожаров в целиках, оставленных в связи с принятой технологией выемки угля.

14 пожаров из 18 (т.е. около 80 %) возникло в выработанном пространстве в раздавленных горным давлением целиках. Остальные пожары (четыре) возникли в насыпном угле в местах, где его оставили при подбуртовке лавы (два случая) и в неустановленных местах (два случая).

Таким образом, 80 % случаев возникновения эндогенных пожаров связано с действием сил горного давления на целики угля, зависящего от массы налегающей толщи пород в сочетании с определенными физико-механическими свойствами подверженного самонагреванию угля.

Автором [5] показано, что в горном массиве существуют длительно действующие факторы, приводящие к возникновению в отдельных участках горного массива высоких не равнокомпонентных напряжений в полости напластования. Такие случаи чаще всего встречаются в ЗГН.

Результаты теоретических и экспериментальных исследований мезомеханики разрушений материалов с трещинами при сжатии (которые имеют место и в случае геологических нарушений угольных пластов) изложены в работе [6]. Исследования проводились со слоистыми композитными пластинами, ослабленными отверстиями круглой формы. При этом слои укладывались по толщине вдоль координаты Z рис. 1а, (для пласта угля по его толщине  $m$ ) вдоль оси OZ таким образом, что оси OX и OY являлись осями симметрии свойств композитного слоистого материала, т.е. с применением этих осей координат композитный материал считался ортотропным. (Аналог расположения осей координат для части оставленного угольного целика после очистных работ по выемке угольного пласта представлен на рис. 1б).

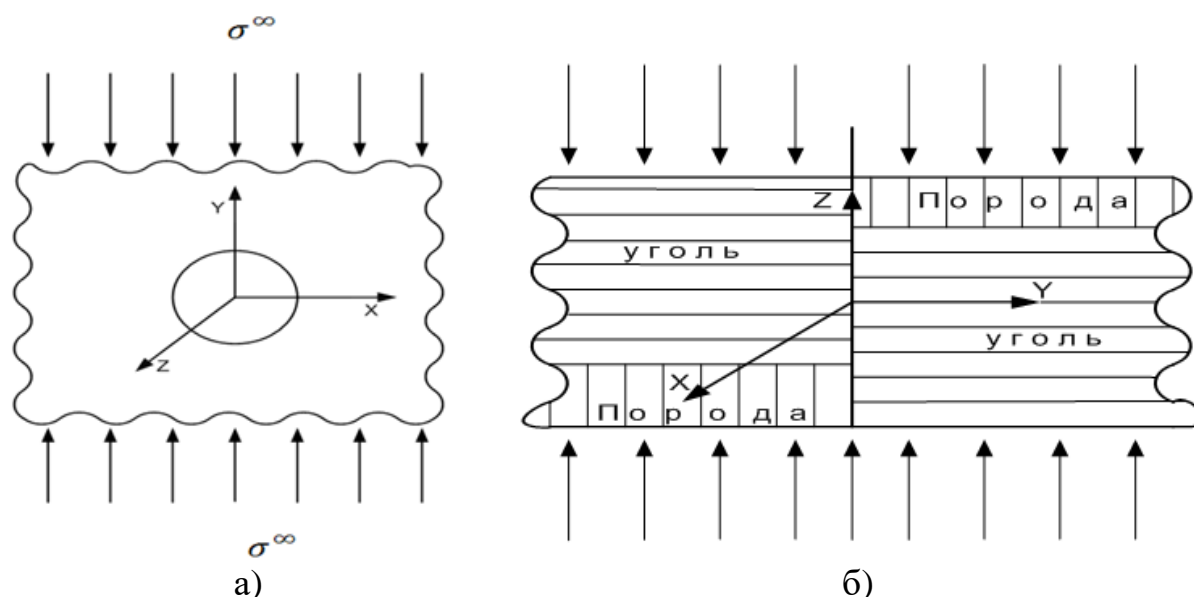


Рис. 1. Расположение осей координат при исследовании сжатия композитного материала с отверстиями (а) и угольного целика (б)

При экспериментальных исследованиях осуществлялось сжатие материала вдоль оси ОУ. Основное внимание уделялось анализу характера разрушений. Во всех случаях разрушения развивались от зон с наибольшей концентрацией напряжений (в соответствии с рис. 1а – от двух точек, лежащих на пересечении горизонтальной оси У и контура отверстия, а рис. 1б – линии трещин вдоль оси Х). Разрушенные зоны для различных композитных материалов, взятые из источника [8] приведены на рис. 2.

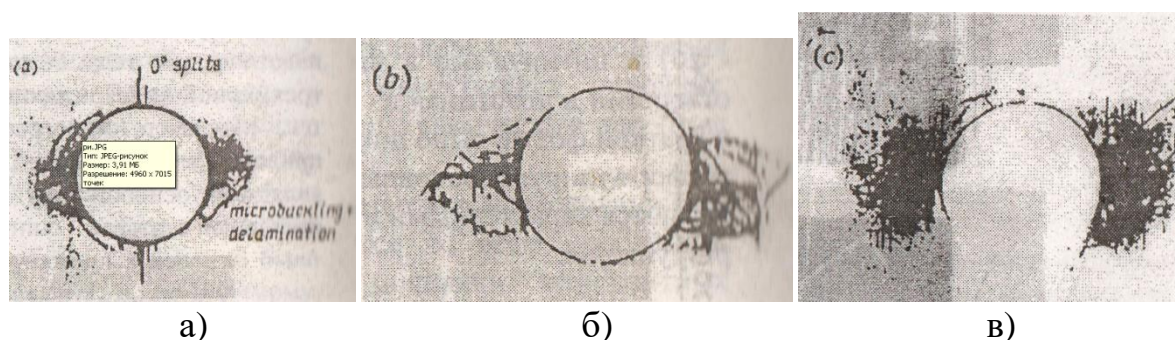


Рис. 2. Зоны разрушения для различных композитных материалов, полученных рентгеноструктурным анализом.  
(рентгенограммы представлены из [6] со стр. 654 -655 из книги А.Н. Гузь В.Б. Рудницкий)

Представленные на рис. 2. результаты являются рентгенограммами; при этом возникающие разрушения классифицируются авторами как микровыпучивание – локальная потеря устойчивости (microbuckling) и расслоение (delamination).

Наряду с рентгеноструктурным анализом, для более тщательного анализа разрушения материала в различных зонах проводились исследова-

ния с привлечением электронного микроскопа [9] при различном увеличении, которое указано на каждом из приведенных электронных микрофотографий (рис. 3а, б, в). На этих фотографиях показаны разрушения слоя материала при нагрузке по его толщине (аналог целика угля, оставляемого не вынутым после прохождения линии очистного забоя, рис 1б).

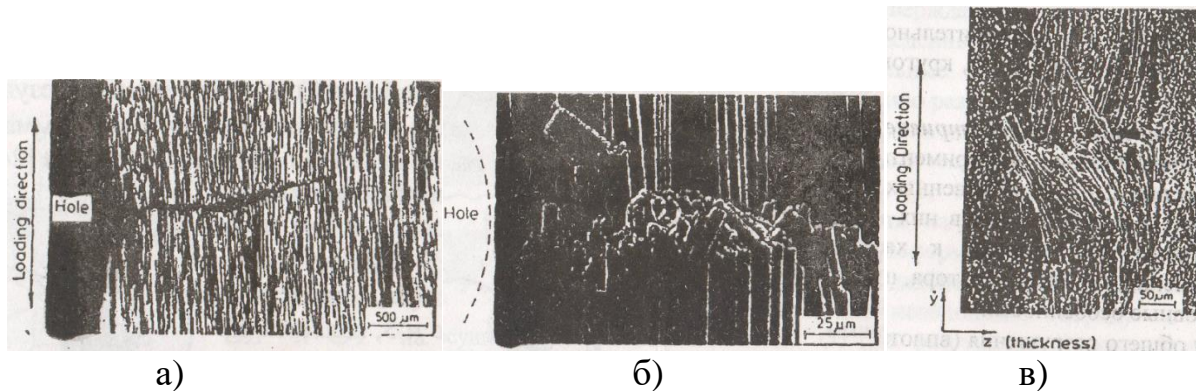


Рис. 3. Электронные микрофотографии разрушения слоистых материалов

(электронные микрофотографии представлены из [6] со стр. 656 -657)

На рис. 3а показано распространение разрушенной части материала в направлении, почти перпендикулярном к направлению действия сжимающей нагрузки. При значительно большем увеличении по сравнению с рис. 3а (приблизительно в 20 раз) на рис. 3б показана структура разрушенной части материала. На рис. 3в по толщине (вдоль оси OZ, рис. 1) представлена структура разрушенной части материала на краю отверстия, где четко видно микровыпучивание разрушенных волокон в сторону отверстия и также расслоение слоистого композита.

Анализируя приведенные результаты, авторы [6] считают доказанным, что разрушения распространяются почти перпендикулярно к направлению действия сжимающей нагрузки.

Это значит, что в случае целика угля, оставленного в выработанном пространстве в зоне геологического нарушения, трещины направлены горизонтально, либо по линии близкой к падению пласта, в том числе частично вдоль направления утечек воздуха. Это способствует дегазации угля, проникновению в него кислорода и реакции окисления. При этом в местах появления трещин напряжения, как видно из рис. 1а, они концентрируются. Это ведет к измельчению около них угля, что способствует его самонагреванию.

Кроме длительно действующих внутрипланетарных факторов, приводящих к возникновению в отдельных участках горного массива высоких неравнокомпонентных напряжений в плоскости напластований (в горизонтальной или близкой к ней плоскости) объективно существует и ряд других факторов, общепланетарных, которые приводят к периодическим уси-

лениям или ослаблениям высоких напряжений неотектонического происхождения, и как следствие этого, к увеличению или уменьшению в определенные периоды времени динамических и газодинамических явлений в шахтах.

По данным исследований М.В. Стоваса, вековое замедление вращения Земли наряду с внутриземными факторами приводит к накоплению в земной коре высоких напряжений. Причем наиболее существенными для возникновения динамических и газодинамических явлений в шахтах является только накопление напряжений в плоскости напластований (в горизонтальной или близкой к ней плоскости). Накопление вертикальных напряжений, превышающих  $\gamma H$ , может иметь место только в пределах, не превышающих прочность наиболее прочных пород на растяжение.

Кроме этого давно подмечена сезонная нестабильность самовозгорания угольных пластов в Донбассе. С позиций тектонофизической теории она объясняется увеличением или ослаблением напряженного состояния угленосной толщи в определенные периоды. Одной из причин такого состояния земной коры может быть нестабильность вращения планеты Земля. При замедлении вращения напряженное состояние земной коры в вертикальном направлении должно увеличиваться, а при ускорении, вследствие возникновения центробежных сил, уменьшаться. Исходя из этого в периоды замедления вращения Земли опасность самовозгорания в шахтах должна уменьшаться, а при ускорении вращения планеты – несколько увеличиваться.

В соответствии с работой [7] наибольшее уменьшение скорости вращения Земли наблюдается в марте – июне, а увеличение, исходя из многолетних наблюдений, приходится на июль – октябрь с максимумом в августе.

Чтобы прояснить вопрос влияния сокращения угледобычи на изменение количества эндогенных пожаров в разные периоды года необходимо иметь сведения о помесичной добыче угля из опасных по эндогенным пожарам пластов. Однако таких сведений нет. Поэтому воспользуемся данными автора [7], проводившего исследования изменения угледобычи в течение года по одному из наиболее крупных в Украине объединений (ПО Донецкуголь). Эти исследования показали, что отличие в добыче угля в весенний и летний периоды составляют не более 3 %. Поэтому есть основание предположить, что увеличение количества эндогенных пожаров в летний период можно отнести за счет увеличения скорости вращения Земли.

Графическая связь колебаний угловой скорости вращения Земли с количеством происшедших эндогенных пожаров в шахтах Донбасса изображена на Рис. 4.

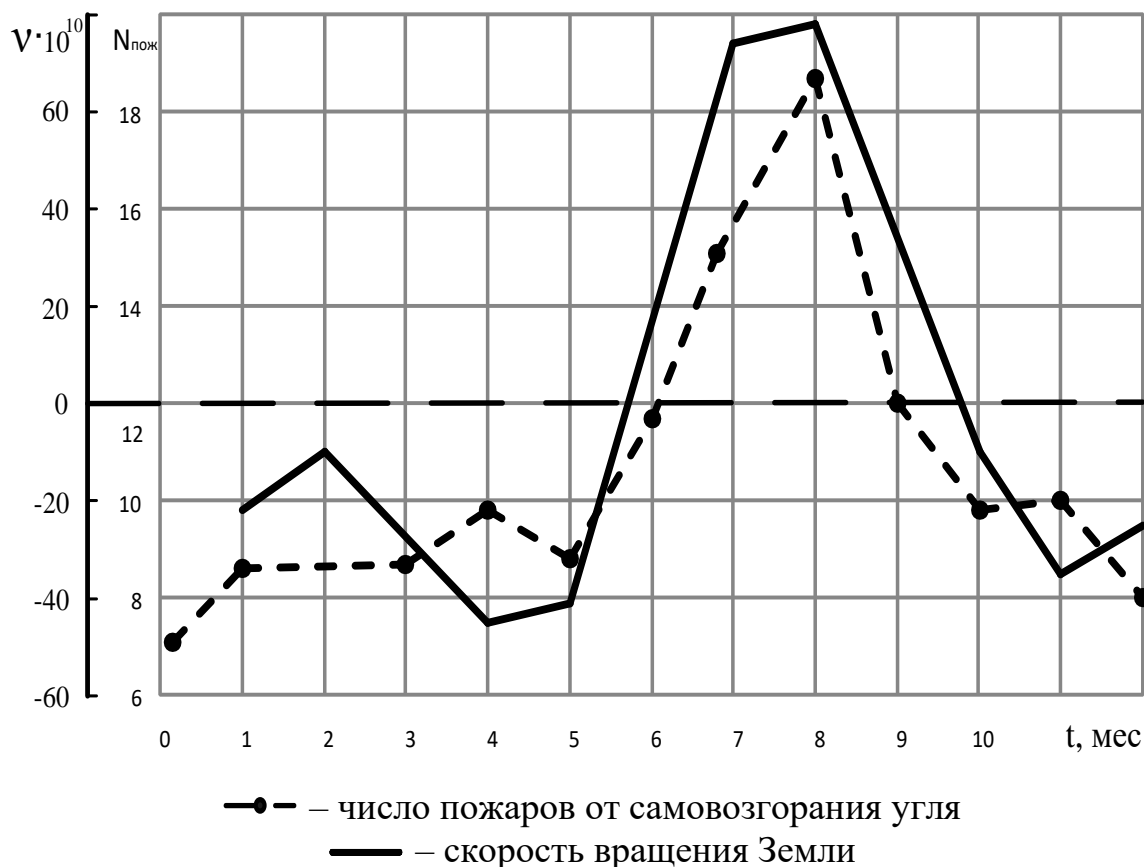


Рис. 4. Графики  $v$ ,  $N$  соответственно сезонных колебаний скорости вращения земли по данным [7] и числа эндогенных пожаров.

**Выводы:** Экспериментальные исследования в различных областях знаний однозначно показывают связь напряжений в земной коре с их разрушающим действием, появлением трещин, увеличением напряжений вблизи них, что вызывает измельчение угля, его дегазацию, способствует прососам воздуха и как результат ведет к эндогенным пожарам, число которых зависит от изменения этих напряжений.

В дальнейшем целесообразно направить усилия на математическое описание исследуемых явлений, моделирования процесса применительно к конкретным условиям типов ЗГН и нагрузок для последующего использования при прогнозе и предотвращении эндогенных пожаров.

#### ЛИТЕРАТУРА:

1. Греков С.П. Моделирование теплообменных процессов в самовозгорающихся двухфазных средах методом прямых. / С.П. Греков, И.Н. Зинченко, Г.Б. Тында // Вестн. Харьк. нац. ун-та. - 2005. - № 661. Сер. «Мат. моделирование...». Вып. 4. - С. 89 - 96.
2. Греков С.П. Тепломассообменные процессы в самовоспламеняющихся газоотдающих двухфазных средах. / С.П. Греков, И.Н. Зинченко,

Г.Б. Тында // Вестник Херсонского нац. техн. ун-та. Вып. 2 (22). - Херсон: ХНТУ, 2005. - С. 124 - 133.

3. Греков С.П. Сорбционные процессы в угольных скоплениях при метановыделении и испарении влаги. / С.П. Греков, И.Н. Зинченко, Г.Б. Тында // Вестник Херсонского нац. техн. ун-та. Вып. 2 (25). - Херсон: ХНГУ, 2006.-С. 166-173.

4. Тында Г.Б. Влияние структурных изменений угольных пластов в зоне геологических нарушений на окислительную способность угля / Г.Б. Тында // Горноспасательное дело: Сб. науч. тр. / НИИГД «Респиратор». - Донецк, 2004. - Вып. 41. - С. 97 - 103.

5. Волошин Н.Е. Основы тектонофизической теории выбросов твердых ископаемых и пород в шахтах. Донецк – 2007, 64 с.

6. Гузь А.Н., Рудницкий В.Б. Основы теории контактного взаимодействия упругих тел с начальными (остаточными) напряжениями. Научное изд. института механики им. Тимошенка С.П. Нац. акад. наук Украины, Хмельницкий, 2006, 710 с.

7. Сидоренков Н.С. физика неустойчивости вращения Земли. М., Физматлит, 2002, 380 с.

8. Soutis C.; Curtis P.T. and Flek N.A. Compressive failure of notched carbon fibre composites // Proc. R. Soc. London. - 1993. - 440. - P. 241- 256.

9. Soutis C., Flek N.A. and Smith P.A. Failure Prediction Technique for Compression Loaded Carbon Fibre-Epoxy Laminate with Open Holes // J. Comp. Mat. - 1991. - 25. - P. 1476 - 1498.