

ми в перерізі набігання каната на бобіну. Екстремальні значення сил не перевищують 50 Н. Діаметр тягових елементів (тросів) каната типа ГТК-3150 становить 8,25 мм. Розривне зусилля такого троса близько 50 кН. Таким чином екстремальні зміни навантажень на троси значно менші за зусилля руйнування троса. Тому можна зробити **висновок**, що викривлення твірної бобіни внаслідок нерівномірного розподілу сил тиску ділянки каната з меншою кількістю тросів практично не впливає на напружений стан каната і його можна не враховувати в інженерній методиці розрахунку.

Список літератури

1. Колосов Д.Л. Скінченно-елементне моделювання напружено-деформованого стану гумотросового ступінчастого каната в бобінному органі намотці // Підйомно-транспортна техніка. – Дніпропетровськ. – 2010. – №3. – С. 86-90.
2. Колосов Д.Л. Дослідження розподілу напружень в плоскому гумотросовому канаті ступінчастої конструкції при його багат шаровому намотуванні // Збірник наукових праць Національного гірничого університету. – Дніпропетровськ. – 2010. – №35. – Т.1. – С. 182-188.
3. Блохін С.Є., Колосов Д.Л., Танцура Г.І. Визначення напружено-деформованого стану гумотросового каната змінного перерізу в тілі намотування багат шарової конструкції // Підйомно-транспортна техніка. – Дніпропетровськ. – 2010. – №4. – С. 15-22.
4. Колосов Д.Л., Білоус О.І. Стійкість ступінчастого каната на барабані машини підйому підводного робота // Збірник наукових праць Національного гірничого університету. – Дніпропетровськ. – 2010. – №35. – Т.2. – С. 137-142.

*Рекомендовано до публікації Самусею В.І.
Надійшла до редакції 20.06.11*

УДК 622.831.322:532.528

© В.В. Зберовский, А.В. Пазынич,
Ю.Е. Поляков, А.А. Потапенко, А.А. Ангеловский

МОДЕЛЬ ПРЕДЕЛЬНОГО СОСТОЯНИЯ УГОЛЬНОГО ПЛАСТА ПРИ НАГНЕТАНИИ ЖИДКОСТИ

Предложена математическая модель расчета предельного состояния угольного пласта при нагнетании жидкости. Критерием разрушения пласта принято значение давления гидроотжима. Для проведения инженерных расчетов используется программа Matchcad 14 и разработанная в ней математическая модель.

Запропонована математична модель розрахунку граничного стану вугільного пласта при нагнітанні рідини. Критерієм руйнування пласта прийнято значення тиску гідровіджимання. Для проведення інженерних розрахунків використовується програма Matchcad 14 та розроблена у ній математична модель.

The mathematical model of calculation of the maximum state of coal layer at festering of liquid is offered. By the criterion of destruction the value of pressure of hydrowringing is accepted. For conducting of engineering calculations the Matchcad 14 software and mathematical model of calculation developed in her is used.

Решение задачи предельного состояния краевой части угольного пласта в условиях больших глубин невозможно без учета физико-механических свойств напряженно-деформированного массива горных пород. Также необходимо учитывать, что, при увеличении нагрузки до предельных значений, хрупкому разрушению угля предшествуют его пластические деформации. Модель математического описания этого процесса представляет собой систему уравнений со многими неизвестными.

Еще более сложной является задача моделирования предельного состояния угольного пласта в его краевой части при нагнетании жидкости с целью предотвращения внезапных выбросов угля и газа. Математическая модель дополняется новыми уравнениями с гидравлическими параметрами статического, гидродинамического или гидроимпульсного режимов воздействия. При описании частных задач [1, 2, 3] решение сводится к одному уравнению. Как показала практика ведения горных работ, результаты расчетов по этим моделям не всегда соответствуют состоянию напряженно-деформированного массива горных пород в условиях больших глубин.

Исходя из изложенного целью работы является разработка модели и решение задачи предельного состояния краевой части угольного пласта при проведении противовыбросных мероприятий, основанных на нагнетании жидкости.

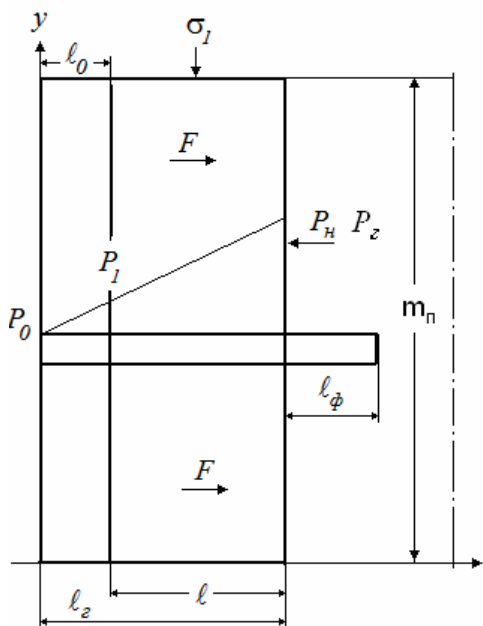
В основу решения положены требования «Правил ...» [4], результаты исследований ученых МакНИИ [1, 2], ИГД им. А.А. Скочинского [3] и ИГТМ НАНУ [5, 6].

Для решения задачи граничного состояния углепородного массива была проведена сравнительная оценка экспериментальных и аналитических исследований параметров гидроотжима, гидрорыхления и гидроимпульсного воздействия на угольные пласты в забоях подготовительных выработок. Принято, что критерием разрушения угольного пласта в его краевой части является давление гидроотжима, а основным параметром – константой, характеризующей механические свойства горных пород, является сопротивляемость их образца правильной формы одноосному раздавливанию. Аналитический метод расчёта предела прочности горных пород с учетом контактных напряжений уже был рассмотрен в работе [7].

В данной работе на конкретном примере рассмотрено решение поставленной задачи в виде инженерного расчета величины давления гидроотжима для условий выбросоопасного пласта i_3^I горизонта 915 м СП «Шахтоуправление «Суходольское-Восточное» ПАО «Краснодонец».

На рисунке 1 приведена физическая модель краевой части пласта, которая позволяет учитывать физико-механические свойства угля, силы горного давления и параметры гидравлического воздействия при проведении противовыбросных мероприятий.

«Правилами ...» [4] регламентируется расчет параметров гидроотжима и гидрорыхления выбросоопасных угольных пластов из условия давления гидро-разрыва.



Расчетные параметры нагнетания

- σ_l – силы горного давления, МПа;
- m_n – мощность пласта, м;
- P_n – давление нагнетания жидкости, МПа;
- F – силы трения, МПа;
- P_0 – давление жидкости на поверхности, МПа;
- P_l – давление жидкости в кромке пласта, МПа;
- P_z – давление газа в пласте, МПа;
- l_z – глубина герметизации шпура, м;
- l_0 – разрушенная часть кромки пласта, м;
- l_ϕ – фильтрационная камера, м;
- l – зона сопротивления пласта, м;
- ρ – угол внутреннего трения, град;
- k – сопротивление сдвигу (сцепление).

Рис. 1. Схема расчета давления нагнетания жидкости в краевой части пласта

В соответствии с принятой схемой расчета (Рис.1) и результатами исследований МакНИИ [1, 2] проявление гидроотжима краевой части пласта при гидрорыхлении теоретически возможно при давлении нагнетания жидкости

$$P \geq \frac{2f\gamma H}{m_n} l_z \quad (1)$$

По модели состояния краевой части пласта рассмотренной в работе [3], давление гидроотжима определяется по выражению

$$P \geq kv\xi \left(e^{\varphi l} - 1 \right) - \frac{\psi \chi \eta \left(e^{il} - e^{\varphi l} \right) Q_n}{\pi m_n \left(l_z - l + 0.5l \right) \frac{K'}{e} (i - \varphi)}, \quad (2)$$

где $v = 2 \cos \rho / (1 - \sin \rho)$; $\xi = (1 - \sin \rho) / (1 + \sin \rho)$ – коэффициент бокового распора; $\varphi = 2 \operatorname{tg} \rho (d - m\xi) / (dm\xi)$; Q_n – расход жидкости, нагнетаемой в пласт, м³/с

При гидроимпульсном рыхлении, в соответствии с [7] вероятность проявления гидроотжима может возникнуть при давлении жидкости, создаваемым устройством гидроимпульсного воздействия

$$P \geq \int_0^{m_n} \left(\frac{2 \left(k + \mu \gamma H \left(1 + \frac{fl_z}{m_n} \right) \right)}{\cos \rho} \left(\sin \rho - \sqrt{1 - b^2(y)} \right) + \gamma H \left(1 + \frac{fl_z}{m_n} \right) \right) dy - P_z$$

$$b(y) = \frac{f \gamma H \left(1 + \frac{f l_z}{m_n}\right) \left(1 - \frac{2y}{m_n}\right)}{k + \mu \gamma H \left(1 + \frac{f l_z}{m_n}\right)}. \quad (3)$$

Отличием предложенного решения математической модели (3) является то, что в расчете давления нагнетания жидкости для конкретных горно-геологических условий учитываются как физико-механические свойства угольного пласта, так и напряженно-деформированное состояние углепородного массива.

Учитывая, что интегральное выражение (3) для проведения инженерных расчетов представляют собой сложное математическое решение, в программном обеспечении Matchcad 14 разработан алгоритм расчета составляющих параметров модели. Расчет давления гидроотжима, как критерия граничного состояния краевой части пласта, выполнен по трём вариантам:

- по нормативной методике гидроотжима и/или гидрорыхления угольных пластов [4];
- по методике высоконапорного нагнетания [3];
- по предложенной модели гидроимпульсного воздействия (рис.1).

В расчете учтены следующие параметры и показатели пласта i_3^1 гор. 915м, залегающего в условиях СП «Шахтоуправление «Суходольское-Восточное» ПАО «Краснодонуголь»: сопротивление сдвигу (сцепление) $k=10 \text{ кгс/см}^2$; коэффициент внутреннего трения $\mu=tg\rho$; угол внутреннего трения $\rho=26,57^\circ$; удельный вес горных пород $\gamma=2,65 \text{ т/м}^3$; глубина залегания $H=915 \text{ м}$; коэффициент трения горных пород в массиве $f=0,5$; мощность пласта $m=1,75 \text{ м}$; ширина выработки $b=5,1 \text{ м}$; глубина герметизации $l_z=2,5 \dots 5,5 \text{ м}$; глубина скважин для нагнетания жидкости от 6,0 м до 8,0 м.

При расчете принято, что гидроотжим происходит при $P_l=0$ в условии равновесия сил $(P_n - P_l) m = 2f \gamma H (l_z - l_0)$.

По результатам выполненных расчетов установлены зависимости давления гидроотжима от глубины герметизации шпура при высоконапорном нагнетании жидкости по всем рассмотренным вариантам.

При гидроимпульсном воздействии эмпириоаналитическое уравнение зависимости давления гидроотжима от глубины герметизации при достоверности аппроксимации $R_2 = 0,9462$ (Рис.2) имеет следующий вид

$$P = 4,123 l_z + 11,478. \quad (4)$$

Учитывая, что до настоящего времени исследования вероятности проявления гидроотжима при гидрорыхлении угольных пластов не производились, для анализа и наглядности полученных результатов расчета, совместим полученные графические зависимости (рис. 3).

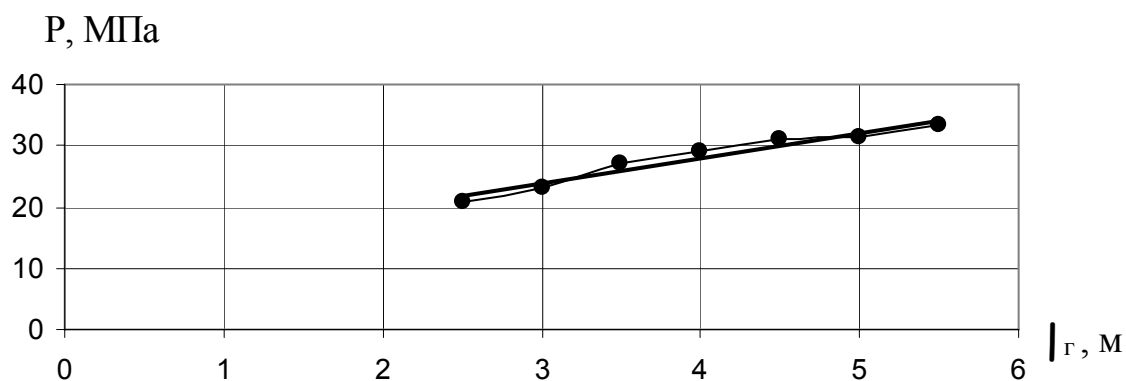
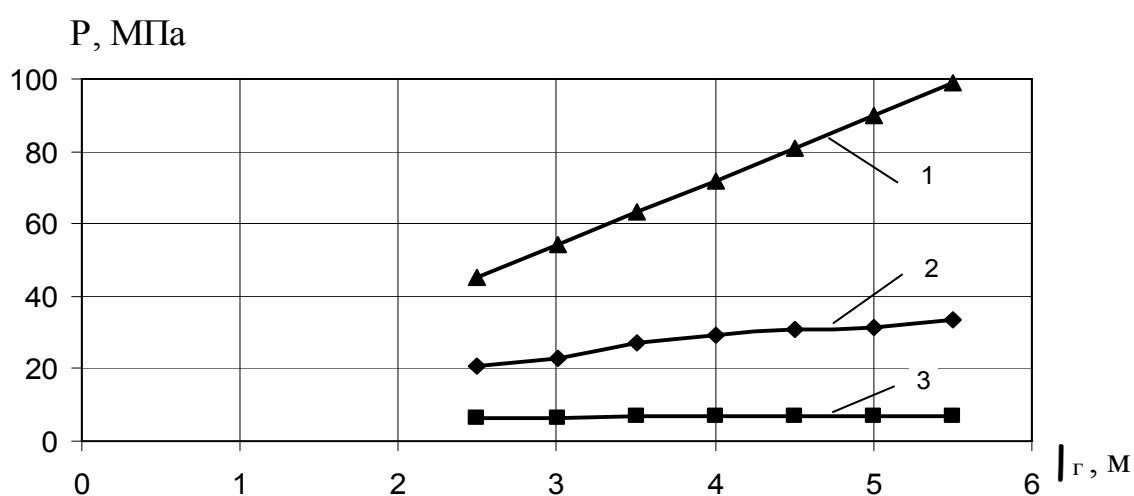


Рис. 2. Зависимость граничного давления нагнетания жидкости от глубины герметизации скважин при гидроимпульсном воздействии



- 1 – зависимость при расчете давления гидроотжима по «Правилам ...»;
- 2 – зависимость при расчете гидроимпульсного воздействия;
- 3 – зависимость при расчете высоконапорного нагнетания.

Рис. 3. Зависимости давления гидроотжима от глубины герметизации скважин при нагнетании жидкости

Анализ установленных зависимостей позволяет отметить, что, не смотря на достигнутые результаты исследований и принятые нормативные методики расчета параметров гидроотжима и гидрорыхления выбросоопасных пластов, полученные результаты расчета для глубин более 900 м (кривая 1, рис. 3) не соответствуют горно-геологическим условиям. Применение модели и методики расчета давления высоконапорного нагнетания жидкости [3] для условий больших глубин шахт Донецкого бассейна (кривая 3, рис. 3), также требуют корректировки и дополнительных исследований. Расчет давления гидроотжима по модели (3) и установленная зависимость давления нагнетания от глубины герметизации при гидроимпульсном воздействии (кривая 2, рис. 3) наиболее точно подтверждается экспериментальными данными. Это позволяет использовать эмпирическую зависимость (4) при расчетах давления гидроотжима краевой части пласта при гидрорыхлении угольных пластов.

Основываясь на многочисленных результатах контрольных наблюдений при проведении профилактических мероприятий по предотвращению газодинамических явлений на шахтах Донецкого бассейна можно сформулировать следующие выводы.

Известно, что при проведении работ по гидроотжиму или гидрорыхлению угольных пластов на глубинах более 800 м с герметизацией шпуров или скважин более 2,5 м гидроотжим краевой части пласта наблюдается при давлении нагнетания более 20,0 МПа. Здесь необходимо отметить, что исследования параметров гидроотжима краевой части при гидрорыхлении выбросоопасных угольных пластов на больших глубинах не производились.

При проведении горно-экспериментальных работ по гидроимпульсному воздействию в условиях шахт ПАО «Краснодонуголь» через скважины длиной от 6,0 м до 8,0 м установлено, что признаки гидроразрыва пласта проявляются при давлении жидкости более 23,0 МПа, однако признаков проявления гидроотжима при этом зафиксировано не было.

Горно-экспериментальными исследованиями подтверждено, что параметры гидроимпульсного воздействия обеспечивают условие равновесия сил в краевой части пласта при его гидрорыхлении. Это позволяет утверждать, что предложенная модель предельного состояния угольного пласта соответствует условиям напряженно-деформированной краевой части углепородного массива. А установленная эмпириоаналитическая зависимость $P = 4,123l_2 + 11,478$ может быть использована в инженерных расчетах давления высоконапорного нагнетания жидкости при проведении профилактических мероприятий по предотвращению газодинамических явлений.

Список литературы

1. Бобров И.В. Применение гидроотжима призабойной зоны угольного пласта как способа борьбы с внезапными выбросами угля и газа / Вопросы безопасности в угольных шахтах: труды МакНИИ // И.В. Бобров, В.А. Шатилов; отв. ред. В.Л. Божко. - М.: «Недра», 1965. - том XVII. - С. 164-181.
2. Шатилов В.А. Определение усилий, необходимых для выдвигания призабойной зоны угольного пласта при гидроотжиме / Борьба с выбросами угля и газа, подземными пожарами, безопасность взрывных работ: сб. науч. статей // В.А. Шатилов, А.С. Яровой. - М.: «Недра», 1969. - С.14-17.
3. Теоретические основы гидроотжима и гидрорыхления на угольных шахтах / А.А. Борисенко. - М.: «Наука», 1986. - 114 с.
4. Правила ведения горных работ на пластах склонных к газодинамическим явлениям. - К.: Минуглепром Украины, 2005. - 224 с.
5. Васильев Л.М. Развитие трещин в угольном массиве при импульсном нагнетании в него жидкости / Механика и разрушение горных пород : сб. науч. трудов. - К.: Наук. думка 1993. - С. 60-65.
6. Васильев Л.М. Механизм формирования горизонтальных нормальных напряжений в массивах горных пород // Горный информационно-аналитический бюллетень МГГУ. - М.: Издательство МГГУ, 2008. - С. 190-195.
7. О правомочности применения закона о линейной связи между контактными напряжениями для расчета предела прочности горных пород / [Л.М. Васильев, К.В. Цепков, А.В. Пазынич и др.] // Науковий вісник НГУ. - № 3. - 2008. - С. 3-6.

*Рекомендовано до публікації Бойком В.О.
Надійшла до редакції 20.05.11*