

На правах рукописи



ЕСИНА Екатерина Николаевна

**РАЗВИТИЕ МЕТОДОВ ГЕОМЕХАНИЧЕСКОГО
ОБЕСПЕЧЕНИЯ СКВАЖИННОЙ
ГИДРОДОБЫЧИ УГЛЯ**

Специальность 25.00.20 – «Геомеханика, разрушение горных пород, рудничная аэрогазодинамика и горная теплофизика»

АВТОРЕФЕРАТ

***диссертации на соискание ученой степени
кандидата технических наук***

Москва 2010

Работа выполнена в Учреждении Российской академии наук Институте проблем комплексного освоения недр РАН, отдел Научной информации и проблем управления освоением недр

Научный руководитель: доктор технических наук, профессор
ИОФИС Михаил Абрамович

Официальные оппоненты: доктор технических наук
БОБИН Вячеслав Александрович

кандидат технических наук, доцент
ЯКОВЛЕВ Павел Владимирович

Ведущая организация: Закрытое акционерное общество
«Научно-технический центр исследований проблем
промышленной безопасности»

Защита состоится «24» ноября 2010 г. в 10 час. 30 мин. на заседании диссертационного совета Д 002.074.02 при Учреждении Российской академии наук Институте проблем комплексного освоения недр РАН по адресу: 111020, г.Москва, Крюковский тупик, 4.

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке Учреждения Российской академии наук Институте проблем комплексного освоения недр РАН.

Автореферат разослан «22 » октября 2010 г.

Ученый секретарь
диссертационного
совета
докт. техн. наук



И.В. Милетенко

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Актуальность проблемы.

Возрастающая потребность во всех видах минерального сырья и топлива требует вовлечения в разработку более бедных и залегающих в сложных горно- и гидрогеологических условиях месторождений. Эксплуатация таких месторождений традиционным подземным способом не всегда безопасна и экономична. Их эффективная разработка возможна скважинными методами добычи, позволяющими вести процесс извлечения полезных ископаемых без присутствия людей в очистном забое. Скважинная гидродобыча (СГД) является одной из физико-химических технологий, в которой гидравлическая энергия, подводимая через скважины, используется для разрушения горных пород в призабойной зоне, приготовления пульпы и для выдачи разрушенного материала на поверхность.

Особенно перспективен этот способ при разработке сильно обводненных и высокозольных угольных пластов, отработка которых традиционным подземным способом, как правило, низкорентабельна или даже совсем нерентабельна. К таким месторождениям относится, в частности, Подмосковский угольный бассейн.

До настоящего времени исследовательские работы посвящались преимущественно вопросам технологии скважинной добычи полезных ископаемых, и совершенно недостаточно внимания уделялось изучению геомеханических особенностей этого способа. Между тем на процесс и параметры скважинной разработки полезных ископаемых большое влияние оказывают сдвиги и деформации горных пород. В связи с этим, геомеханическое обеспечение СГД полезных ископаемых является необходимым как для прогнозирования процессов подработки объектов и своевременного принятия мер по их защите, так и для управления технологическими процессами при СГД.

Поэтому особый интерес представляет изучение особенностей геомеханических процессов при геотехнологических методах добычи, одно из принципиальных отличий которых от традиционных технологий заключается в дистанционности процесса выемки и связанного с этим отсутствия возможности визуального контроля проявлений процесса сдвига непосредственно в забое. При этом основным вопросом геомеханического обеспечения СГД является определение местоположения и размеров выработанного пространства

косвенным путем, например, на основании наблюдений за сдвижением и деформациями земной поверхности.

Таким образом, во всех указанных группах вопросов возникла необходимость в проведении более детальных исследований и разработки новых методов определения местоположения и размеров выработанного пространства, прогнозирования и контроля сдвижений и деформаций горных пород и использования полученных данных для управления технологическими процессами с целью повышения безопасности и эффективности горных работ.

Настоящая работа содержит результаты исследований, полученных автором в процессе выполнения НИР Учреждения Российской академии наук Института проблем комплексного освоения недр РАН в качестве исполнителя в соответствии с программой фундаментальных исследований по темам 7.7, 7.11, 7.13 «Геомеханические, гидродинамические и газодинамические процессы в техногенно изменяемых массивах горных пород» на 2007-2009 гг.

Целью работы является развитие существующих и создание новых методов прогноза и контроля геомеханического состояния массива горных пород при СГД угля на базе установленных закономерностей развития геомеханических процессов.

Основные задачи исследований:

1. Установление закономерностей развития геомеханических процессов и взаимоположения характерных точек мульды сдвижения и границ выработанного пространства.
2. Развитие методов определения параметров выработанного пространства при СГД путем использования результатов инструментальных наблюдений за развитием деформационных процессов на земной поверхности.
3. Разработка методов расчета ожидаемых сдвижений и деформаций земной поверхности с учетом специфических особенностей СГД.

Идея работы заключается в получении и использовании оперативной информации о характере и параметрах геомеханических процессов в толще горных пород и на земной поверхности путем решения обратной задачи геомеханики, базирующейся на установленных закономерностях взаимосвязи деформаций земной поверхности и формирования выработанного пространства.

Методы исследований. В работе использован комплексный метод исследований, включающий анализ и обобщение имеющегося

опыта применения СГД для добычи полезных ископаемых, лабораторные изучения геомеханических процессов при СГД на моделях и стендах, сопоставление результатов расчета с данными натуральных наблюдений и оценку их точности.

Основные защищаемые положения:

1. При скважинной гидродобыче угля в пласте образуется полость, имеющая в вертикальном сечении вначале треугольную, а затем трапециевидную форму, при этом взаимоположение характерных точек мульды сдвижения и образующейся при СГД полости сохраняется таким же, как и при традиционных способах добычи.

2. Установленные зависимости местоположения характерных точек мульды сдвижения от местоположения выработанного пространства позволяют использовать их для решения обратной геомеханической задачи, то есть определять его параметры по данным наблюдений на земной поверхности.

3. Разработанный в диссертации новый метод расчета деформаций горных пород и земной поверхности, в котором впервые учитываются специфические особенности скважинной гидродобычи угля, выражающиеся в уменьшении мощности выработанного пространства от его центра к границам, позволяет существенно повысить точность определения величин деформаций в точках мульды сдвижения.

4. Погрешность определения местоположения и размеров выработанного пространства уменьшается по степенной зависимости от количества используемых критериев, при этом оптимальным является использование одновременно трех критериев.

Научная новизна:

1. Выдвинута и экспериментально подтверждена гипотеза о косоугольной в вертикальном сечении форме полости, образующейся в угольном пласте при СГД, и показано, что при такой форме ее влияние на земную поверхность существенно меньше, чем при традиционной прямоугольной форме выработанного пространства.

2. Установлены взаимозависимости параметров выработанного пространства, образующегося в угольном пласте при СГД, и местоположения характерных точек мульды сдвижения на земной поверхности.

3. Обоснован и разработан новый метод расчета деформаций земной поверхности, впервые позволяющий учитывать косоугольную форму выработанного пространства, образующегося при СГД.

4. Установлено оптимальное количество критериев, используемых для определения местоположения и размеров выработанного пространства при СГД.

Достоверность научных положений и выводов основана на использовании современных методов исследований, базирующихся на последних достижениях в области геомеханики, подтверждена лабораторными испытаниями на моделях и стендах, сходимостью полученных результатов с данными натурных наблюдений.

Практическая ценность работы заключается в том, что для повышения безопасности и эффективности ведения горных работ разработаны методические рекомендации по геомеханическому обеспечению скважинной гидродобычи угля, позволяющие прогнозировать ожидаемые сдвигения и деформации земной поверхности, дистанционно определять местоположение и параметры выработанного пространства при СГД и оперативно управлять геомеханическими процессами при добыче.

Апробация работы. Основные научные положения и результаты исследований обсуждались на научных симпозиумах «Неделя горняка – 2009, 2010» (Москва, МГГУ), на секционных заседаниях 5-й и 6-й международной научной школы молодых ученых и специалистов «Проблемы освоения недр в XXI веке глазами молодых» (Москва, УРАН ИПКОН РАН, 2008-2009), на XIX Международной научной школе им. академика С.А. Христиановича (Алушта, 2009), на II Международной научно-технической конференции «Горная геология, геомеханика и маркшейдерия» (Украина, г.Донецк, 2009), на XLVI научно-технической конференции преподавателей, сотрудников и аспирантов инженерного факультета «Современные инженерные технологии» (Москва, РУДН, 2010 г.), на Международной выставке Brussels Innova 2009 Brussels Expo - Hall 2 с присуждением серебряной медали (Бельгия, Брюссель), на 7-й международной выставке «Недра-2010» (Москва).

Публикации Результаты исследований отражены в 9 опубликованных работах, 3 из которых - в изданиях, рекомендованных ВАК РФ.

Структура и объем работы Диссертационная работа состоит из введения, пяти глав и заключения, изложенных на 142 страницах

машинописного текста, содержащих 45 рисунков, 13 таблиц, список литературы из 105 наименований.

ОСНОВНОЕ СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

В работе использованы фундаментальные труды таких выдающихся ученых, как Н.В. Мельников, К.Н. Трубецкой, В.Ж. Аренс, С.Г. Авершин, И.А. Турчанинов, Д.Р. Каплунов, А.А. Пешков, А.Д. Рубан, С.Д. Викторов, С.В. Кузнецов, М.В. Рыльникова, М.А. Иофис, В.И. Стрельцов, а также теоретические и экспериментальные исследования В.А. Бобина, Н.Н. Казакова, В.Н. Одинцева, В.М. Закалинского, Г.В. Орлова, В.К. Капралова, Е.В. Крейнина, В.Н. Казака, Я. Шевчика, В.И. Колесникова, П.В. Яковлева и ряда других ученых.

В работе получил развитие метод геомеханического обеспечения принципиально нового способа скважинной гидродобычи полезных ископаемых, разработанного в УРАН ИПКОН РАН (под руководством академиков К.Н. Трубецкого и В.А. Чантурия), который коренным образом отличается от традиционных способов СГД. Основной особенностью разработанного способа является исключение экологических последствий за счет подготовки гидросмеси в месте залегания полезного ископаемого и оставления в выработанном пространстве пустой породы.

Сущность способа заключается в следующем. При отработке месторождения полезного ископаемого, например, угля, производят мощное физическое воздействие на пласт, включая гидравлическое разрушение напорной струей воды, добываясь дезинтеграции и перевода в забое разрушенной горной массы в гидросмесь. Полученную гидросмесь интенсивно перемешивают, а затем отстаивают, при этом осаждение тяжелой ее части происходит под собственным весом пустой породы на дно вымытой полости. После осаждения тяжелой части пульпу полезного ископаемого транспортируют по трубам на поверхность к потребителю и на обогатительную фабрику для брикетирования.

Данный способ позволяет осуществлять непрерывный процесс добычи полезного ископаемого, обогащения и доставки его к потребителю в автоматическом режиме без выдачи отходов обогащения на поверхность. При этом негативные особенности Подмосковского угольного бассейна превращаются в его достоинства. Большая обводненность бассейна позволяет использовать имеющиеся

на месторождении воды для технологических процессов, а пропластки сланцев, песчаников и других пород – для естественной закладки выработанного пространства.

В ходе исследований установлено, что при скважинной гидродобыче образуется полость вначале треугольной формы в вертикальном сечении, а затем по мере выемки полезного ископаемого - трапециевидной формы.

Важным параметром, определяющим форму выработанного пространства, является угол стока водоугольной суспензии (ν), образующийся при добыче полезного ископаемого указанным способом. Механизм образования угла ν был предметом лабораторных исследований.

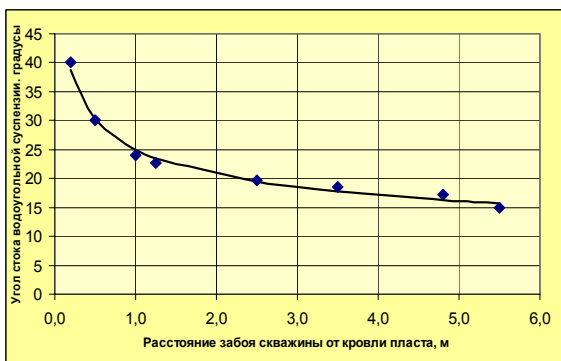


Рис. 1. Зависимость угла стока водоугольной суспензии (в градусах) от расстояния между забоем скважины и кровлей пласта (в метрах):

◆ - экспериментальные данные,

— - аналитическая аппроксимация экспериментальной зависимости.

Исследования показали, что угол стока раздробленной увлажненной породы зависит от расстояния забоя скважины от кровли пласта.

Полученную экспериментальную зависимость значения угла стока водоугольной суспензии от глубины забоя скважины ниже кровли пласта (рис. 1) можно аппроксимировать аналитическим выражением гиперболического вида:

$$\nu = 1^\circ \cdot \frac{25 \text{ м}}{h_m^{0.27}}, \quad (1)$$

где h_m – расстояние забоя скважины от кровли пласта, м.

При изучении влияния выработанного пространства на земную поверхность установлено, что характерные точки мульды сдвижения при треугольной в сечении форме выработанного пространства при СГД занимают то же положение на земной поверхности, что и при традиционной прямоугольной форме выработанного пространства.

Отличительной особенностью геомеханического обеспечения СГД является дистанционность процесса выемки полезного ископаемого и связанное с этим отсутствие возможности визуальных наблюдений и регистрации проявлений процесса сдвижения непосредственно в очистном забое. При этом с целью установления параметров процесса сдвижения и своевременного прогнозирования сдвижения земной поверхности необходимо определять местоположение и размеры выработанного пространства косвенным путем.

При традиционных способах добычи решается прямая задача геомеханики: по известным параметрам выработанного пространства (форме, размерам и местоположению) определяются расчетным путем ожидаемые сдвижения и деформации земной поверхности, которые затем сравниваются с фактическими данными наблюдений на земной поверхности и с допустимыми их значениями.

При СГД параметры выработанного пространства определяются по наблюдаемым сдвигам и деформациям земной поверхности на основании использования установленных закономерностей развития геомеханических процессов, то есть решая обратную геомеханическую задачу. Так, в зависимости от соотношения местоположения характерных точек мульды сдвижения и границ выработанного пространства можно определять параметры выработки – местоположение, размеры и форму и т.д.

Пересечения линий, проведенных от характерных точек мульды сдвижения под соответствующими углами влияния, которые определяются при решении прямой задачи геомеханики, при СГД (при решении обратной геомеханической задачи) указывают на положение границы выработанного пространства.

В ходе анализа данных многолетних наблюдений на многих угольных шахтах были исследованы зависимости углов наклона линий, соединяющих границу выработанного пространства с характерными точками мульды сдвижения, от основных влияющих факторов. В настоящее время методы определения параметров выработанного пространства при скважинных способах добычи

базируются преимущественно на взаимосвязи местоположения максимальных наклонов в мульде сдвига с границей выработанного пространства.

Под углом максимального влияния наклонов на положение выработанного пространства σ_i понимают внешний относительно выработанного пространства угол наклона линии, соединяющей интервал на участке земной поверхности с максимальным наклоном и границу выработанного пространства.

Анализ наблюдений показал, что местоположение точки с максимальным наклоном в мульде сдвига относительно границы выработанного пространства зависит от коэффициента подработанности земной поверхности n , глубины ведения горных работ H и вынимаемой мощности полезного ископаемого m .

Установлена следующая зависимость значений угла σ_i от указанных факторов:

$$\sigma_i = 90^\circ + \operatorname{arctg} \sqrt{c \cdot \frac{m}{H} + 3^\circ n}, \quad (2)$$

где H – глубина ведения горных работ, м;

n – коэффициент подработанности земной поверхности;

m – вынимаемая мощность пласта, м;

c – коэффициент, зависящий от свойств горных пород; определяется соотношением:

$$c = 1 + \frac{f}{2}, \quad (3)$$

где f – коэффициент крепости по М. М. Протодяконову.

Однако точность определения местоположения выработанного пространства только по углу σ_i недостаточна, для ее повышения нами была исследована возможность применения граничного угла δ_0 .

В результате аналитической обработки результатов наблюдений за сдвижением горных пород и материалов нормативных документов выявлена зависимость граничного угла δ_0 от прочностных свойств горных пород (рис. 2).

Эту зависимость можно аппроксимировать аналитическим выражением вида:

$$\delta_0 = 40^\circ + 12,5^\circ \sqrt{f}. \quad (4)$$

Использование этой зависимости позволит существенно повысить точность определения местоположения выработанного пространства.

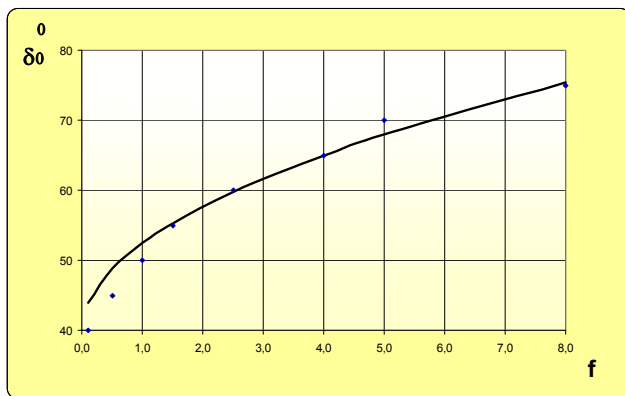


Рис. 2. Зависимость граничного угла δ_0 от коэффициента крепости пород f .

Одним из основных вопросов геомеханического обеспечения СГД является расчет ожидаемых сдвижений и деформаций земной поверхности, поскольку традиционные методы расчета имеют ограниченное применение для выработанного пространства, имеющего косоугольную форму в сечении (рис. 3). Поэтому потребовалось разработать специальный метод расчета ожидаемых деформаций земной поверхности, позволяющий учитывать специфику образования выработанного пространства при СГД.

В основу метода положены классические положения о влиянии элементарных объемов выработанного пространства на земную поверхность и метод типовых кривых, но с существенными изменениями и дополнениями.

Как было упомянуто ранее, выработанное пространство имеет треугольную форму в вертикальном сечении (рис. 3). В связи с этим выработка оказывает неравномерное влияние на поверхность, то есть вынимаемая мощность меняется от геологической до нуля.

Оседание η_z в точке земной поверхности с относительной координатой z определяется из выражения:

$$\eta_z = \eta_m \cdot S_z, \quad (5)$$

где $\eta_m = q_0 \cdot m$ - максимальное оседание земной поверхности в мулде сдвижения, то есть

$$\eta_z = q_0 \cdot m \cdot S_z, \quad (6)$$

где q_0 – относительное максимальное оседание при полной подработке земной поверхности;

m – максимальная вынимаемая мощность пласта, м.

Для расчета деформаций земной поверхности в этих условиях выработанное пространство разбивается на элементы $i_1, i_2, i_3 \dots$. Величина мощности элементов m_i уменьшается от центра выработанного пространства к границам в линейной зависимости $m_i = (1-z)m$.

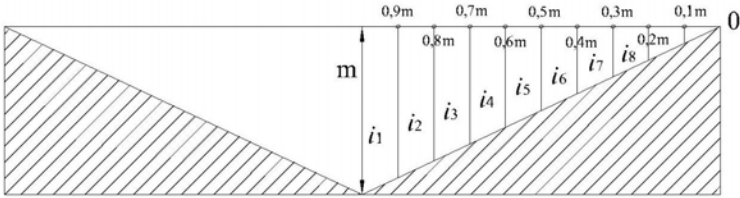


Рис. 3. Схема изменения мощности выработанного пространства при СГД.

При этом оседания находятся в следующей зависимости от вынутой мощности m :

$$\eta_z = q_0 \cdot [(1-z) \cdot m] \cdot S_z \quad (7)$$

или

$$\eta_z = \eta_m \cdot S_z \cdot (1-z). \quad (8)$$

Наклоны и кривизна мульды сдвижения определяются во всех перечисленных методах как первая и вторая производные от кривой мульды оседания. Горизонтальные деформации - первая производная от функции горизонтальных сдвижений.

Деформации земной поверхности определяются по следующим зависимостям распределения деформаций в мульде сдвижения:

- наклоны
$$i_z = \eta_z' = \frac{\eta_m}{L} \cdot (S_z' \cdot (1-z) - 0,1 \cdot S_z), \quad (9)$$

- кривизна
$$K_z = \frac{\eta_m}{L^2} \cdot (S_z'' \cdot (1-z) - 0,2 \cdot S_z'), \quad (10)$$

- горизонтальные сдвижения
$$\xi_z = 0,5 \cdot \alpha_0 \cdot \eta_m \cdot F_z \cdot (1-z), \quad (11)$$

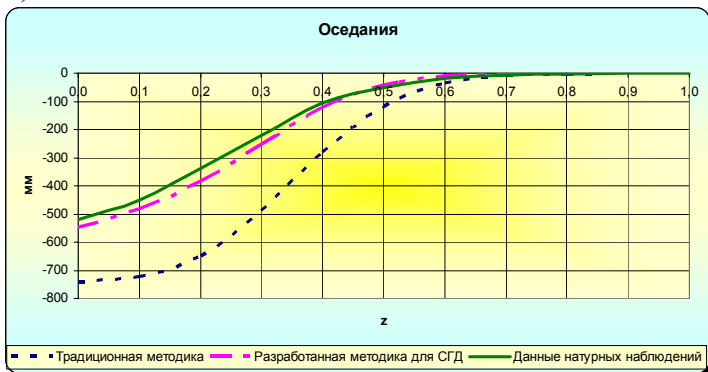
- горизонтальные деформации
$$\varepsilon_z = \frac{0,5 \cdot \alpha_0 \cdot \eta_m}{L} \cdot (F_z' \cdot (1-z) - 0,1 \cdot F_z), \quad (12)$$

где $\eta_z, i_z, K_z, \xi_z, \varepsilon_z$ - соответственно оседание, наклон, кривизна, горизонтальное сдвижение и относительная горизонтальная деформация в

точке с абсциссой x (начало координат в точке максимального оседания), L - длина полумульды, $z=x/L$ - текущая относительная координата в полумульде сдвижения.

Правомерность данного метода подтверждается результатами наблюдений за сдвижением земной поверхности на польских рудниках при подземной выплавке серы. В результате сравнения деформаций, определенных по двум методикам (рис. 4), видно, что сдвижения земной поверхности при СГД носят более плавный характер, а деформации уменьшаются до 30 % по сравнению с традиционными способами добычи.

а)



б)

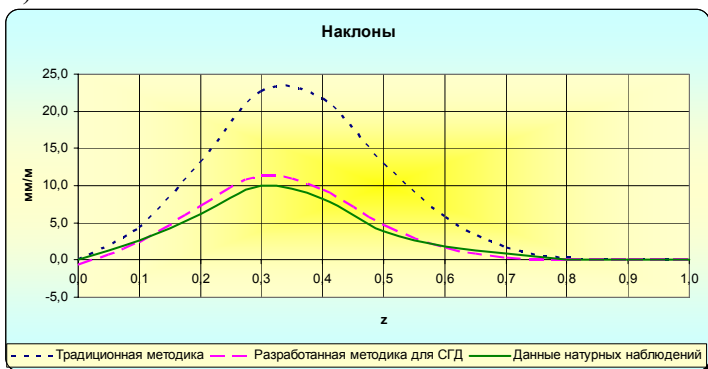


Рис. 4. Сравнение результатов расчета деформаций, полученных по традиционной методике и по методике, разработанной для СГД, с данными природных наблюдений: а) оседания; б) наклоны.

Путем обработки материалов многолетних природных наблюдений за сдвижением земной поверхности в ходе подземной

разработки угольных месторождений нами исследована погрешность определения местоположения выработанного пространства по разным видам и разному количеству критериев.

В качестве показателя, характеризующего погрешность определения местоположения выработки, используется показатель:

$$l_0 = \frac{l}{H}, \quad (13)$$

где l - линейное отклонение истинной границы выработки от определенной по углам максимального влияния (рис. 5);

H - средняя глубина ведения горных работ.



Рис. 5. Схема к определению местоположения выработанного пространства по характерным точкам мвльды свлижения.

Установлено, что с увеличением количества используемых критериев растет точность определения местоположения выработки. Использование в качестве одного из критериев граничного угла δ_0 значительно увеличивает точность прогноза расположения выработанного пространства.

Зависимости относительной погрешности определения границ выработанного пространства от количества используемых критериев можно аппроксимировать аналитическими выражениями:

- при учете влияния граничного угла прослеживается степенная зависимость:

$$l_0 = 0,06 \cdot k^{-0,9}; \quad (14)$$

- без учета этого критерия - параболическая зависимость:

$$l_0 = -0,002 \cdot k^2 - 0,004 \cdot k + 0,07, \quad (15)$$

где k - количество одновременно используемых критериев.

Установлено, что оптимальным при решении обратной задачи геомеханики является использование одновременно трех видов деформаций с учетом в качестве одного из критериев влияния граничного угла на местоположение выработанного пространства. Дальнейшее увеличение числа критериев не оказывает существенного влияния на повышение точности определения местоположения выработанного пространства (рис. 6).

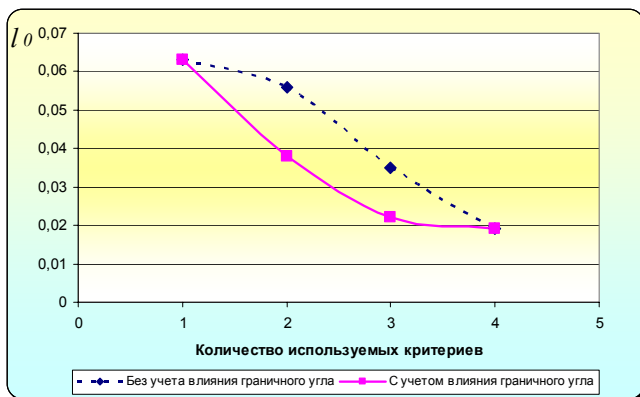


Рис. 6. Зависимость относительной погрешности определения границ выработанного пространства от количества используемых критериев.

Для прогнозирования обрушения кровли пород в выработанное пространство и соответственно обеспечения безопасного ведения горных работ необходимо определить критериальные признаки, предшествующие потере устойчивости кровли. Так, по методу профессора В.Д. Слесарева трещины в наиболее опасном сечении появляются в условиях, когда растягивающие напряжения в нижнем волокне опасного сечения достигнут пределов прочности на разрыв. Одним из недостатков метода В.Д. Слесарева является невозможность контроля состояния кровли выработанного пространства и управления этим состоянием на основании результатов инструментальных наблюдений. Для устранения этого недостатка нами более подробно рассмотрено влияние изгиба слоистого массива горных пород на характер и величины его деформаций.

Установлена зависимость предельного пролета от наблюдаемых горизонтальных деформаций на земной поверхности и прочностных свойств горных пород:

$$l = h \sqrt{\frac{3\varepsilon_T E}{0,4\tau_{max}}}, \quad (16)$$

где h – мощность слоев кровли, м;
 ε_T – горизонтальные деформации слоя толщи горных пород;
 E – модуль упругости, МПа;
 τ_{max} – максимальные касательные напряжения, МПа.

Используя установленную зависимость для общего случая (16) и для случая с критическим значением горизонтальных деформаций

$\varepsilon_{\text{крит}} = 5 \cdot 10^{-3}$ и соответствующим ему значением первого предельного пролета l_1 :

$$l_1 = h \sqrt{\frac{3\varepsilon_{\text{крит}} E}{0,4\tau_{\text{max}}}}, \quad (17)$$

поделив (16) на (17) сокращения, получим выражение для величины обнажения кровли выработки при измеренном значении горизонтальных деформаций ε в данный момент времени:

$$l = l_1 \sqrt{\frac{\varepsilon_T}{\varepsilon_{\text{крит}}}}. \quad (18)$$

Установлена зависимость значений горизонтальных деформаций поверхности слоя толщи горных пород ε_T от измеренных деформаций на поверхности ε_{II} :

$$\varepsilon_T = \varepsilon_{II} \cdot \frac{H}{H_T}, \quad (19)$$

где H_T – удаление толщи горных пород от плоскости пласта, м.

Данная методика позволяет оценить реальное состояние массива, контролировать деформационные процессы и прогнозировать их развитие путем сравнения измеряемых величин деформаций с их критериальными значениями, которые соответствуют реальным условиям подработки.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

На основании выполненных исследований в диссертационной работе решена актуальная научная задача, состоящая в разработке методов геомеханического обеспечения скважинной гидродобычи угля, имеющая большое значение для повышения безопасности и эффективности горных работ и эксплуатации подрабатываемых объектов. Основные выводы, научные и практические результаты работы заключаются в следующем:

1. Установлено, что при СГД выработанное пространство имеет косоугольную форму в вертикальном сечении.

2. Показано, что угол наклона линии, соединяющей границу выработанного пространства и точку мульды сдвижения с максимальным наклоном, зависит от коэффициента подработанности земной поверхности, глубины ведения горных работ и крепости горных пород. Установлена зависимость его значения от влияющих факторов.

3. Получила развитие методика решения обратной геомеханической задачи, которая основывается на использовании нескольких критериев при определении местоположения выработанного пространства. Установлено, что точность определения параметров выработки повышается по степенной зависимости от количества одновременно используемых характерных точек мульды сдвижения. При этом оптимальным является использование одновременно трех видов деформаций с учетом в качестве одного из критериев влияния граничного угла на местоположение выработанного пространства.

4. Разработан новый метод расчета ожидаемых сдвижений и деформаций горных пород и земной поверхности, в котором впервые учитывается особенность формы выработанного пространства при СГД, заключающаяся в уменьшении вынимаемой мощности пласта от центра выработки к ее границам.

5. Разработана методика определения состояния кровли выработанного пространства, позволяющая оценивать реальное состояние массива в заданный момент времени, контролировать деформационные процессы и прогнозировать их развитие путем сравнения измеряемых величин деформаций с их критериальными значениями, которые соответствуют реальным условиям подработки.

6. Разработаны методические рекомендации по геомеханическому обеспечению скважинной гидродобычи угля для горных предприятий.

Основные положения диссертации опубликованы в следующих работах автора:

В изданиях, рекомендованных ВАК РФ:

1. Есина Е. Н. Особенности геомеханического обеспечения скважинной гидродобычи полезных ископаемых. Маркшейдерский вестник, № 5 – 2008 г. С. 31-32.

2. Иофис М. А., Есина Е. Н. Пути повышения безопасности при скважинной гидродобыче полезных ископаемых. Безопасность труда в промышленности, № 2 – 2009 г. С. 14-15.

3. Есина Е.Н. Особенности управления геомеханическими процессами при скважинной гидродобыче угля. Маркшейдерия и недропользование, № 4 – 2010г. С. 7-8.

В прочих изданиях:

4. Ильин А. М., Иофис М. А., Есина Е. Н. Пути снижения рисков возникновения аварийных ситуаций при добыче полезных ископаемых//Промышленная безопасность. Избранные научные труды/Колл. авт. - М.: НТЦ <Промышленная безопасность>, 2007. - 309-313 с.

5. Есина Е. Н. Особенности определения местоположения и размеров выработанного пространства при скважинной гидродобыче. Проблемы освоения недр в XXI веке глазами молодых. Материалы 5 научной школы молодых ученых и специалистов. 11 – 14 ноября 2008 г. – М: УРАН ИПКОН РАН, 2008. ISBN – 5 – 201 – 15600 – 2. С. 106 – 110.

6. Есина Е.Н. Исследование зависимости взаимного положения характерных точек мульды сдвижения и границ выработанного пространства. Деформирование и разрушение материалов с дефектами и динамические явления в горных породах и выработках: Материалы XIX Международ. науч. школы. – Симферополь: Таврич. нац. ун-т, 2009. С. 104-106.

7. Иофис М.А., Есина Е.Н. Методика геомеханического обеспечения скважинной гидродобычи. НАУКОВІ ПРАЦІ УКРНДМІ НАН УКРАЇНИ. Випуск 5 (частина I) / Під заг. ред. А.В.Анциферова. – Донецк, УкрНДМІ НАН України, 2009. С. 106-113.

8. Кошелев В.Н., Есина Е.Н. Перспективы использования ресурсов Подмосковского угольного бассейна с помощью скважинной гидродобычи. Проблемы освоения недр в XXI веке глазами молодых. Материалы 6 Международной научной школы молодых ученых и специалистов. 16 – 20 ноября 2009 г. – М: УРАН ИПКОН РАН, 2009. С. 146-149.

9. Иофис М.А., Есина Е.Н.. Совершенствование методов оценки состояния кровли горных выработок. Горная геомеханика и маркшейдерское дело: сборник научных трудов. – СПб.: ВНИМИ, 2009. – С. 103-108.