

Д-р. техн. наук, проф. Г.А. Шевелев,
д-р. техн. наук В.Г. Перепелица
(ИГТМ НАН Украины)

ГЕОТЕХНИЧЕСКАЯ МЕХАНИКА В НАУЧНЫХ ТРУДАХ ДОКТОРА ТЕХНИЧЕСКИХ НАУК В.С. КУЛИНИЧА

Викладено основні результати вивчення властивостей та стану масиву гірських порід як гетерогенного середовища, які отримані доктором технічних наук Кулиничем В.С. Показано подальший розвиток даного напрямку на прикладі робіт, що виконуються у відділі гірничої аерогазодинаміки ІГТМ НАН України.

THE GEOTECHNICAL MECHANICS IN PROCEEDINGS DOCTORS TECHNICAL SCIENCES V.S KULINICH

The basic results of analysis of properties and conditions of a rock mass as the heterogeneous environment, received by Dr.Sci.Tech. Kulinichem V.S. the further development of the given direction on an example of the operations which are carried out in a department mining aerogas dynamics IGTM NAS of Ukraine are stated.

В 1967 году ГКНТ СССР (Госкомитет по науке и технике) принял постановление по решению проблем разработки месторождений полезных ископаемых на больших глубинах. Одной из них являлась проблема борьбы с выбросами породы и газа.

С достижением глубин более 800 м при проходке полевых выработок стали проявляться выбросы песчаников, которые гораздо прочнее и менее газоносны по сравнению с угольными пластами. На строящейся тогда шахте «Петровская Глубокая» (ныне шахта им. А. А. Скочинского) ежегодно происходило более 300 выбросов породы и газа, что значительно сказывалось на безопасности работ, стоимости и темпах строительства.

Не была ясна природа, механизм выбросов и тем более, как бороться с этим явлением, кроме сотрясательного взрывания.

Если ранее отдел горной аерогазодинамики занимался проблемами проветривания шахт, борьбой с метаном, выделившимся в атмосферу горных выработок, то теперь предстояло проникать в глубь массива и изучать газодинамические процессы, происходящие внутри него.

В отделе была создана неструктурная лаборатория во главе с канд. техн. наук Шевелевым Г.А., в состав которой приняли ряд новых сотрудников. Один из них – горный инженер Кулинич Виктор Степанович. Опытный специалист, окончивший в 1955 году ДГИ по специальности «Разработка месторождений полезных ископаемых» и работавший начальником шахты «Пролетарская - Крутая» треста «Макеевуголь».

Это был поступок. Он свидетельствовал о неумемном желании заниматься наукой. Оставив высокую хозяйственную должность, благоустроенный быт, он был принят в научный отдел на должность главного механика.

Имея большой практический опыт и ознакомившись с методологией научных исследований, В.С. Кулинич определил направленность своей будущей ра-

боты – использование опережающей выемки вышележащих угольных пластов для предотвращения выбросов песчаников путем их частичной разгрузки от напряжений и дегазации. Подобный региональный способ, используемый для предотвращения внезапных выбросов угля и газа, известен. Он широко применяется там, где позволяют горнотехнические условия, благодаря своей эффективности. Но как будет количественно изменяться геомеханическое состояние песчаников и их выбросоопасность известно не было, поскольку ранее подобные исследования не проводились. Этими исследованиями и занялся В.С. Кулинич.

Существует ряд особенностей, которые необходимо было учитывать:

- песчаники, в которых происходят газодинамические явления, существенно отличаются по строению, вещественному составу и свойствам от удароопасных и выбросоопасных угольных пластов;

- полевые выработки закладываются в породах почвы и, следовательно, способом защиты может быть опережающая наработка, радиус защитного действия которой распространяется на меньшее расстояние, чем при подработке;

- параметры и эффективность пластовой наработки как защитного мероприятия могут быть надежно определены путем комплексных исследований ее влияния на изменение состояния выбросоопасного породного массива и результатов опытно-промышленной проверки в конкретных горно-геологических условиях.

Необходимо было решить целый ряд задач геотехнической механики, основными из которых явились:

- исследование основных параметров, характеризующих состояние нетронутого породного массива;

- изучение закономерностей изменения напряженно-деформированного состояния, давления газа, механических свойств и степени выбросоопасности массива песчаника в процессе его наработки;

- определение параметров рационального расположения полевых выработок относительно очистных забоев по условиям предотвращения выбросов породы и газа;

- осуществление опытно-промышленной проверки опережающей наработки как способа предотвращения выбросов песчаника и газа.

Исследуемыми параметрами являлись: по коллекторским свойствам - давление газа, газоносность, скорость газовыделения, проницаемость и закономерности их изменения при различном напряженно-деформированном состоянии; по механическим свойствам – пределы прочности на сжатие, растяжение, коэффициент крепости пород в массиве и их изменение при различной степени газонасыщенности. Обширный комплекс исследований необходимо было выполнить в лабораторных и шахтных условиях. Для этого создавали новые методики и стенды. Это касалось определения величины напряжений, крепости массива песчаника и определения пределов прочности образцов при различной степени их газонасыщенности. В дальнейшем на все созданные способы и устройства были получены авторские свидетельства на изобретения.

Шахтные эксперименты проводились на строящейся шахте «Петровская-Глубокая» комбината Донецкуголь по песчанику h_4Sh_7 , залегающим на глубине 1100 м и на действующей шахте им. К.И. Поченкова комбината Макеевуголь (песчаник m_2Sm_3) на глубине 900 м, где представлялась реальная возможность изучить характер и пределы изменения всех перечисленных параметров по мере подвигания надрабатывающего забоя лавы, выполнить опытно-промышленную проверку способа и дать соответствующие практические рекомендации. Подобные эксперименты были весьма длительны во времени (более ста дней), поскольку замерные станции оборудовались задолго до подхода лавы и наблюдения велись вплоть до уплотнения обрушенных горных пород кровли, когда контролируемые параметры стабилизировались на новом уровне.

В итоге был получен обширный экспериментальный материал. Установлено, что в выбросоопасных и смежных с ними невыбросоопасных зонах напряжения практически одинаковы и составляют 34,0-50,0 МПа, что в 1,5-1,8 раза выше уровня гравитационных напряжений на глубине 900-1200 м. Крепость песчаника в выбросоопасных и невыбросоопасных зонах различна, соответственно составляя $f = 8 \pm 1$ и $f = 11 \pm 1,5$. Измеренное давление газа в выбросоопасных зонах песчаника m_2Sm_3 составляло 4,0-7,6 МПа, в песчанике h_4Sh_7 достигало 8,0-11,0 МПа. Пределы прочности газонасыщенных образцов в 1,3-1,7 раза ниже, чем дегазированных.

Для примера на рис.1 показаны результаты одного из шахтных экспериментов, на нем отражены закономерности изменения во времени давления газа в пробуренных скважинах, буримости песчаника, коэффициента его крепости и величины напряжений по мере подвигания забоя лавы.

В условиях шахты им. К.И. Поченкова определены геометрические размеры и основные параметры зон опорного давления, разгрузки и уплотнения пород.

Изучены характер и пределы изменения напряжений в надрабатываемом массиве. Инструментально установлено, что в зоне опорного давления напряжения возрастают на 15-20 % по сравнению с исходными, в зоне разгрузки их величина снижается в 2-3 раза, а в зоне уплотнения постепенно возрастают до уровня гравитационных. Изучены закономерности изменения давления газа и скорости газоотдачи песчаника во взаимосвязи со сдвижением и характером деформирования надрабатываемых пород. Показано, что скорость газоотдачи песчаника в процессе надработки возрастает в 50-300 раз, а давление газа снижается до 0,5-0,6 МПа, что соответствует степени дегазации массива на 85-90 %.

Экспериментально установлена численная взаимосвязь между дегазацией и крепостью песчаника. В процессе надработки выбросоопасных зон коэффициент крепости песчаника увеличивался, достигая значений $f = 10-13$. Полученные данные подтверждаются также выполненными на специально созданном стенде лабораторными исследованиями, в результате которых установлено, что пределы сопротивления газонасыщенных образцов песчаников сжатию и рас-

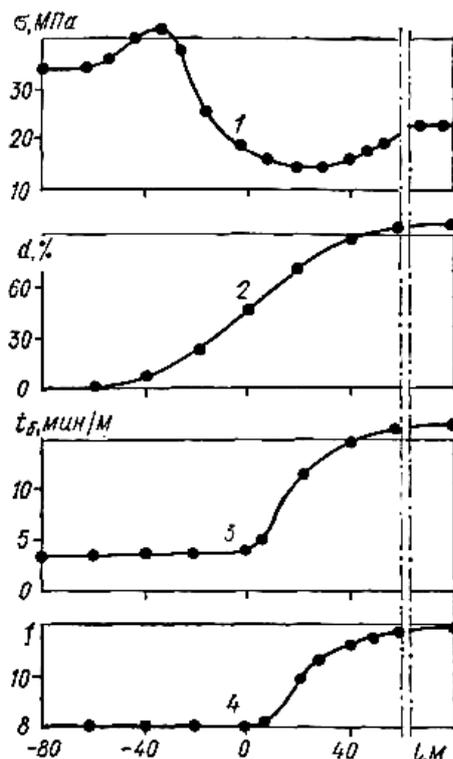


Рис. 1.- Характер изменения напряжений (1), степени дегазации (2), буримости (3) и крепости (4) пород в массиве выбросоопасного песчаника при его надработке лавой

тяжению, снижались в 1,3-1,7 раза, составляя $\sigma_{\text{пс}} = 58,0-92,0$ МПа, $\sigma_{\delta} = 4,0-7,0$ МПа.

Понятно, один человек не мог осуществить столь обширный объем работ. Участвовали другие сотрудники. Работа выполнялась в рамках госбюджетной и хоздоговорной тематики. В.С.Кулинич был ответственным исполнителем. Методологическую помощь ему оказывали научные руководители.

В итоге за сравнительно короткий срок (5 лет) он подготовил и в 1973 году защитил кандидатскую диссертацию на тему «Исследование влияния пластовой надработки на снижение выбросоопасности песчаников в действующих глубоких шахтах Донбасса». Уже в те годы его научные статьи были опубликованы в ведущих научных журналах страны: «Уголь» [1], «Уголь Украины» [2], «Шахтное строительство» [3], «Известия ВУЗов. Горный журнал» [4].

После защиты диссертации В.С. Кулинич не оставил это направление, уделив большее внимание вопросам практического использования способа. Так, совместно с ВНИМИ (головной организацией Минуглепрома СССР по защитным пластам) был составлен и утвержден отраслевой нормативный документ «Перспективные схемы использования защитных пластов для предотвращения выбросов породы и газа в Донецком бассейне».

Изложенное не означает, что в отделе не велись другие научные исследования. Изучались природа и механизм выбросов песчаника, создавались современ-

ные методы расчета сложных вентиляционных сетей шахт с использованием ЭВМ, способы борьбы с метаном и проветривания добычных участков газобильных шахт, обеспечивающих суточную добычу угля 1000 т и более, разрабатывались прецизионные приборы контроля параметров рудничной атмосферы и др. Достаточно сказать, что по этим направлениям сотрудниками отдела были защищены две докторские диссертации (Тян Р.Б. – 1972 г., Грецингер Б.Е. – 1974 г.) и целый ряд кандидатских (Задара В.М. – 1969 г., Фрундин В.Е. – 1970 г., Панов Н.С., Потемкин В.Я., Шинковский В.А. – 1971 г., Боровский А.В. – 1974 г., Вечеров В.И., Светличный В.П., Шишацкий А.Г. – 1975 г.).

Используя накопленный научный потенциал, к.т.н. В.С. Кулинич дальнейшие усилия направил на решение фундаментальных задач геотехнической механики – создание научных основ и методов определения параметров состояния напряженного газонасыщенного горного массива.

Известно, что состояние горного массива определяется величиной напряжений, коллекторскими и механическими свойствами среды. Знание численных значений этих параметров является основой решения всех последующих задач.

Напряжения влияют на коллекторские и механические свойства пород, а газ, находящийся в поровом пространстве среды, изменяет ее свойства и состояние. То есть наблюдается взаимное влияние этих факторов друг на друга. Выявить подобную взаимосвязь в количественном отношении и явилось целью последующей научной работы В.С. Кулинича. Наибольшую сложность представляло определение компонент поля напряжений по их направлению и величине.

Ранее, как известно, напряжения в горном массиве рассчитывали согласно гравитационной гипотезе академика А.Н. Динника, когда вертикальную составляющую приравнивали к гравитационной, а горизонтальные полагали равными между собой и меньше вертикальной на величину бокового отпора.

В 1958 году шведский геомеханик Н. Хаст впервые измерил численно неравные между собой горизонтальные напряжения, одно из которых превышало вертикальную гравитационную составляющую действующего поля напряжений. На базе обобщения результатов экспериментальных исследований, выполненных практически во всех геологических регионах Земли, был подтвержден разнокомпонентный характер распределения главных напряжений в горных породах, сформулирована и получила признание геодинамическая модель напряженного состояния верхних слоев земной коры, в которой, наряду с доказательством разнокомпонентности действующих полей напряжений, не исключалось существование равнокомпонентного или близкого к нему напряженного состояния массива горных пород.

Существуют три экспериментальных способа определения напряжений. Геофизические методы позволяют определять лишь относительные изменения напряжений, а не их абсолютную величину. Так называемый метод «разгрузки» более информативен. Но его применение возможно только в научно-исследовательских целях из-за большой трудоемкости.

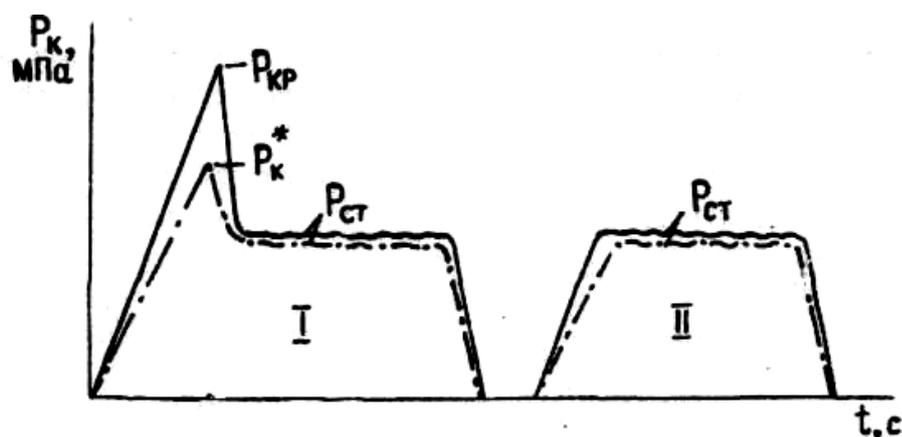
Более перспективным, по мнению отечественных и зарубежных ученых, является метод гидравлического разрыва, идея создания которого в середине 50-х

годов была высказана Ю.П. Желтовым и С.А. Христиановичем. В 1957 г. американскими учеными М. Хабертом и Д. Виллисом была предложена упрощенная критериальная зависимость для расчета главных горизонтальных напряжений в породном массиве по параметрам гидроразрыва в вертикальных скважинах, пробуренных с земной поверхности. С 60-х годов метод гидроразрыва начал использоваться в зарубежной, а затем и в отечественной практике.

На базе выполненного в ИГТМ АН Украины сопоставительного анализа результатов отечественных и зарубежных исследований установлено, что в теоретическом обеспечении метода гидравлического разрыва, технологии его применения и математической интерпретации конечных результатов имеются существенные погрешности, обусловленные недостаточной изученностью внутрискважинного разрушения горных пород как процесса взаимодействия природных и технологических факторов, а для рационального использования метода в шахтных условиях необходимо выполнение работ по созданию научных основ способов, средств и технологии определения трех главных составляющих поля напряжений.

Гидравлический разрыв в склонных к хрупкому разрушению средах представляет собой процесс начального образования и пространственного распространения трещин под действием внутрискважинного гидростатического давления. Признаком гидроразрыва (см. рис.2) является скачкообразное снижение избыточного давления рабочей жидкости в загерметизированной нагнетательной камере с последующей стабилизацией его на пониженном уровне при постоянном темпе нагнетания. Инструментально фиксируемые численные значения критических и стабилизированных параметров гидроразрыва используются для определения величины и направления главных компонент поля напряжений в массиве горных пород. Физической основой метода определения главных напряжений по параметрам гидроразрыва является количественная их зависимость от напряженно-деформированного состояния и свойств разрушаемой среды. Для изучения особенностей процесса внутрискважинного разрушения горных пород гидростатической нагрузкой и определения основных факторов, влияющих на параметры гидравлического разрыва, был выполнен комплекс лабораторных и натурных исследований с использованием тензометрических, акустических и фотомеханических экспериментальных методов, скоростной киносъемки и видеорегистрации.

Сопrotивление скальных горных пород гидравлическому разрыву при соблюдении условий геометрического подобия и постоянном темпе нагнетания рабочей жидкости значительно отличается от известных прочностных характеристик, полученных при одноосных механических нагружениях. Оно меньше предела прочности на сжатие и вдвое превышает предельное сопротивление растяжению. Это объясняется тем, что условия внутрискважинного разрушения породы на контуре нагнетательной камеры при одновременном воздействии равных по величине и противоположных по знаку тангенциальных и радиальных напряжений соответствуют состоянию сдвига.



I, II - первоначальный и повторный циклы нагнетания;
 ——— - при безраспорной герметизации камеры;
 - - - - при использовании распорного герметизатора.

Рис. 2. — Изменение давления рабочей жидкости в нагнетательной камере при гидравлическом разрыве.

Величина и характер распределения внешней нагрузки обуславливают пространственные и силовые параметры процесса внутрискважинного гидростатического разрушения. Характерной особенностью при разнокомпонентном напряженном состоянии является зарождение и распространение трещин гидро-разрыва в радиальной плоскости ортогонально меньшей составляющей поля напряжений.

Результатами выполненных натурных исследований (шахты им. Поченкова, им. Скочинского, им. Гагарина) при гидроразрывах в 40 измерительных скважинах (длиной от 10 до 20 м каждая) подтверждены характерные особенности процесса внутрискважинного разрушения. В частности, статистически надежно установлено существенное различие между критическим давлением рабочей жидкости и максимальным гидравлическим давлением соответственно при безраспорном и распорном способах герметизации нагнетательных камер. Давление рабочей жидкости после первичного внутрискважинного трещинообразования стабилизируется примерно на постоянном уровне и не зависит от продолжительности периода нагнетания и количества последующих нагнетательных циклов. Путем последовательного выполнения гидроразрывов с использованием распорных однопакерных герметизаторов, перемещаемых после каждого цикла в направлении от устья измерительной скважины к её забойной поверхности, подтверждена достоверность вывода о локальном характере области внутрискважинного разрушения, обусловленного взаимодействием гидравлического и распорного силовых полей. Этот технологический прием, значительно повышающий информативность и статистическую надежность результатов скважинных натурных исследований, назван нами гидроразрывным каротажем, а метод определения напряжений по параметрам гидроразрыва в пробуренных из подземных горных выработок измерительных скважинах с использованием распорных герметизирующих устройств - методом локального гидравлического разрыва.

В целом результатами выполненного комплекса аналитических и экспериментальных исследований подтверждена достоверность научных положений об особенностях гидравлического разрыва как процесса взаимодействия природных и технологических факторов.

Разработка расчетного аппарата метода локального гидроразрыва была выполнена на базе решения плоских задач теории упругости о предельном состоянии склонной к хрупкому разрушению толстостенной области с круговым вырезом, нагруженной на бесконечности внешним (горным), а внутри гидростатическим давлениями.

Направление главных составляющих поля напряжений определяется по пространственной ориентации плоскости гидроразрыва в измерительных скважинах, используя оптические устройства или импрессионные пакеры.

Для определения величины и направления главных составляющих тензора напряжений в породном массиве методом локального гидроразрыва необходимо наличие не менее двух взаимно ортогональных измерительных скважин, одна из которых - субвертикальна относительно земной поверхности, а вторую - горизонтальную располагают параллельно или ортогонально плоскости гидроразрыва, образованного в первой измерительной скважине.

По результатам более 480 измерений, выполненных в 10 угольных шахтах Донбасса и 2 бокситовых рудниках северного Урала, показано, что численные значения вертикальной составляющей (σ_z) в преобладающем количестве определений (85 %) близки к соответствующему гравитационному уровню; большей по численным значениям является одна из горизонтальных компонент (σ_x), в 1,5 - 2,2 раза превышающая вертикальную составляющую; вторая горизонтальная компонента (σ_y) изменяется в пределах от 50 до 90 % от величины вертикальной составляющей (см. рис.3).

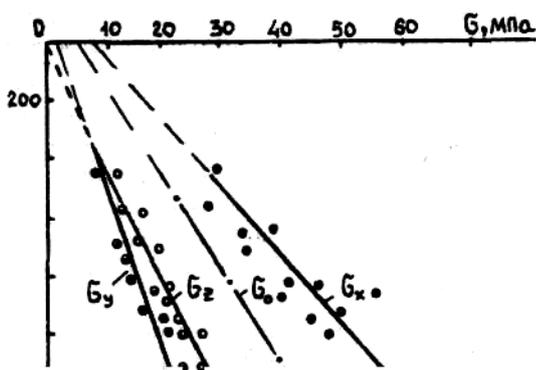


Рис.3.- Осредненные значения вертикальной (σ_z) и горизонтальных ($\sigma_{x,y}$) главных составляющих поля напряжений в массиве горных пород на глубине (H); σ_o - октаэдрическое напряжение.

Азимутальная ориентация главной составляющей поля напряжений в исследованных горно-геологических условиях изменялась от субширотного (шахта им. К.И. Поченкова) до субмеридиального (шахта им. А.А. Скочинского).

Представленные результаты подробно изложены в публикациях В.С. Кулинича [5-9], а новизна разработанных способов и устройств подтверждены авторскими свидетельствами [10- 12].

В.С. Кулиничем исследовано влияние степени газонасыщенности песчаников на их прочностные свойства. Для понимания природы подобного взаимодействия образцы при испытаниях насыщали не только метаном, но и гелием, воздухом, азотом. Сравнительные испытания показали, что состав насыщающего флюида существенного влияния не оказывает. Основными факторами оставались степень газонасыщенности и давление газа. Это объясняется низкой сорбционной емкостью песчаников по сравнению с углем, когда проявляется не физико-химическая природа (сорбционное понижение прочности), а физико-механическое – расклинивающий эффект действия сжатого газа в поровой структуре среды [13- 17]. В природных условиях крепость песчаника определялась по буримости [18].

На рис. 4 показан один из примеров подобной серии экспериментов. Крепость песчаника в невыбросоопасных зонах массива до и после прохода лавы практически не изменилась оставаясь на уровне $f = 10$. В то же время в выбросоопасных зонах она первоначально составляла $f = 8$, а затем после дегазации возросла до тех же $f = 10$. Нами совместно с геологами был выполнен детальный анализ поровой структуры и вещественного состава образцов песчаника, отобранных в этих зонах. Он подтвердил их существенные различия, чем объясняются экспериментально полученные результаты.

Важным аспектом научной деятельности В.С. Кулинича явились исследования влияния напряжений на изменение коллекторских свойств пород. Одним из определяющих параметров является коэффициент газовой проницаемости, поскольку под действием внешнего поля напряжений он изменяется в десятки-сотни раз, а от этого зависит газоотдача массива.

Первые свои исследования в этом направлении инженер В.С. Кулинич начинал, работая еще над кандидатской диссертацией и определяя дебит метана в скважины в процессе защитной выемки угольного пласта.

Газовая проницаемость, как известно, является одним из показателей, интегрально характеризующий фильтрационные свойства газовых коллекторов.

Количественно газовая проницаемость пористых сред оценивается коэффициентом, определяемым расчетным путем по известной формуле Дарси, в которую, кроме геометрических параметров, входят динамическая вязкость газа, объемный расход фильтрующегося газа и разность давлений на контуре зоны фильтрации.

Численные значения коэффициента проницаемости необходимы не только при определении коллекторских свойств пористых сред, но и при решении многих прикладных задач в области вентиляции шахт, дегазации пластов, борьбы с выбросами угля, породы и газа, добычи метана и др.

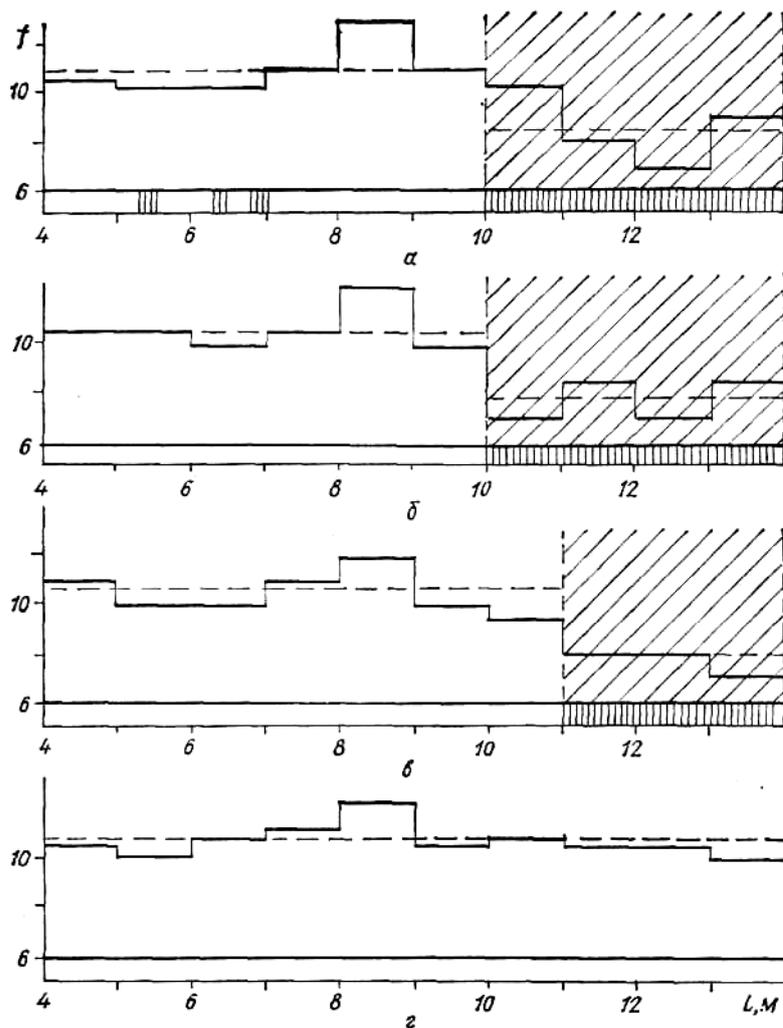


Рис. 4. - Характер изменения крепости песчаника по длине скважин, пробуренных вне зоны влияния очистных работ (а), за 10 м до подхода лавы (б), в 10 (в) и 40 (г) м после прохода лавы

Напряжения в уравнение Дарси в явном виде не входят, но проницаемость существенно от них зависит. Чтобы определить количественную взаимосвязь между ними, необходимо в каждом конкретном случае наряду с определением коэффициента газовой проницаемости замерять или рассчитывать напряжение.

Неравнокомпонентность поля напряжений согласно гравитационной гипотезе академика А.Н. Динника учитывалась коэффициентом бокового отпора (λ), который зависит от коэффициента Пуассона (ν) и всегда меньше единицы.

Для хрупких горных пород типа песчаников $\nu = 0,25$, тогда $\lambda \approx 0,33$.

В лабораторных условиях моделировалось такое же соотношение компонент главных напряжений. Отметим, что атмосферное и гидравлическое давления всегда равнокомпонентно ($\sigma_z = \sigma_x = \sigma_y$), то есть $\lambda = 1$, поскольку эти среды не сопротивляются изменению формы.

На рис. 5 показаны экспериментальные данные изменения газопроницаемости образцов горных пород с повышением напряжений и в функции коэффициента λ .

Максимальные значения коэффициентов K соответствуют разгруженным образцам, а минимальные – напряженным образцам при равнокомпонентном объемном сжатии, когда $\lambda = 1$, то есть $\sigma_1 = \sigma_2 = \sigma_3$. Отсюда видно, что соотношение компонент поля напряжений столь же существенно влияет на коэффициент газопроницаемости, как и величина самих напряжений.

Итогом многолетних исследований В.С. Кулинича явилась докторская диссертация, которую он защитил в 1993 году на тему «Научные основы и методы определения параметров состояния газоносного породного массива для повышения безопасности и эффективности подземных горных работ». Столь длительный срок выполнения работы определяется не только сложностью решаемых задач, но и глубиной их проработки, доказательством новизны и достоверности полученных результатов.

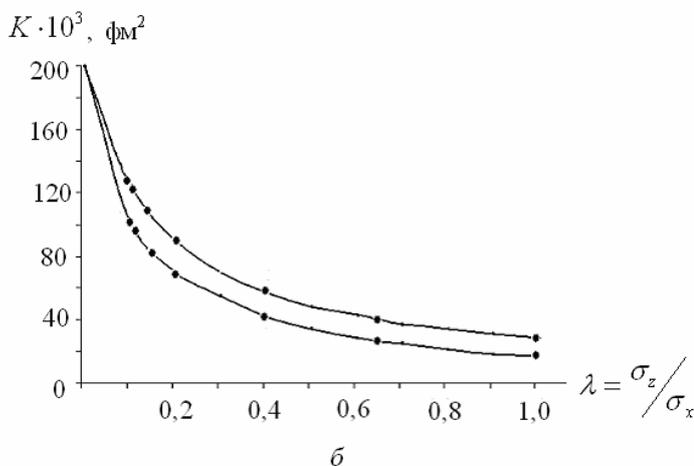
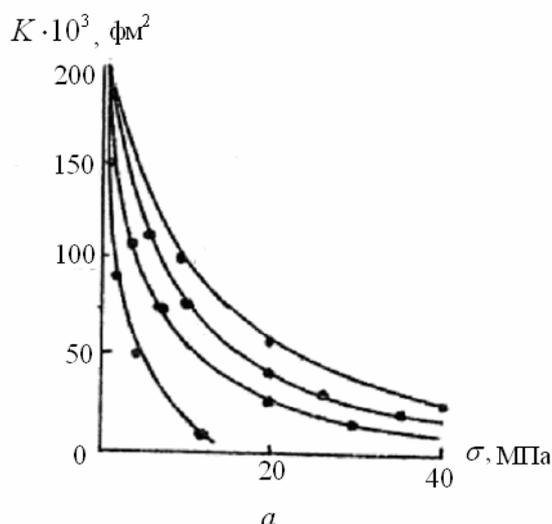


Рис. 5. – Изменение коэффициента газовой проницаемости K различных образцов песчаника: а – в зависимости от внешней нагрузки σ ; б – от коэффициента λ

В этот период другими сотрудниками, работавшими рядом с В.С. Кулиничем, были выполнены свои научные исследования и в разные годы защищены диссертации: докторские – Г.А. Шевелев (1982 г.), В.И. Мякенький (1984 г.), К.К. Софийский (1990 г.); кандидатские – Б.Л. Заславский, В.А. Олейник, А.П. Петух, В.И. Тейтель, В.Б. Демченко, С.В. Кулинич.

Последующие годы научной деятельности В.С. Кулинича были посвящены расширению области практического использования результатов, обобщению научных данных и их углубленному анализу.

Были разработаны и реализованы на ряде шахт рекомендации по рациональному пространственному расположению горных выработок, которое обеспечивало их устойчивость. Для этого в каждом конкретном случае экспериментально определяла компоненты поля напряжений и их пространственная ориентация.

Была подготовлена и опубликована в 1995 году монография «Методы и средства определения параметров геомеханического состояния газоносного породного массива» [19], в которой были обобщены полученные научные результаты.

Апофеозом научной деятельности д.т.н. В.С. Кулинича по праву можно считать научное открытие, зарегистрированное в 2005 году (диплом № 280), «Закономерность изменения газовой проницаемости горных пород при переходе их из равнокомпонентного объемного напряженного состояния в разнокомпонентное» [20].

Формула открытия звучит следующим образом: «Экспериментально установлена неизвестная ранее закономерность изменения газовой проницаемости горных пород при переходе их из объемного равнокомпонентного напряженного состояния в разнокомпонентное, заключающаяся в том, что при трансформации допредельного равнокомпонентного напряженного состояния горных пород в разнокомпонентное газовая проницаемость возрастает в направлении градиента газового давления до гиперболической зависимости в функции изменения степени разнокомпонентности главных напряжений, ортогональных движению фильтрующегося газового потока, обусловлена активизацией деформационных процессов, структурирующих фильтрационную систему разнокомпонентно напряженной газонасыщенной среды».

Она сформулирована академически строго, но не очень популярно для понимания. Здесь следует выделить ключевую фразу: «...газовая проницаемость возрастает в направлении градиента газового давления ... в функции изменения степени разнокомпонентности главных напряжений, ортогональных движению фильтрующегося газового потока».

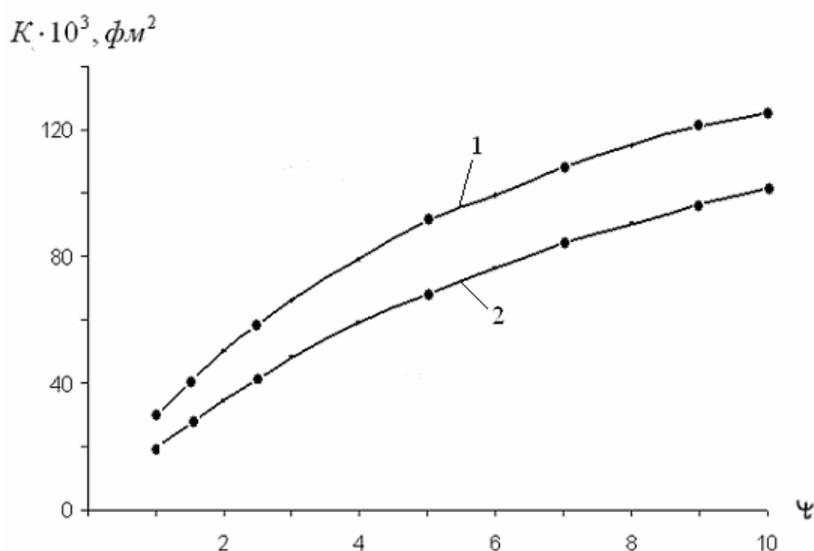
Условия равнокомпонентного объемного сжатия оптимальны для уплотнения трещинно-поровых сред за счет уменьшения их внутренней пустотности. При разнокомпонентном поле сжимающих напряжений площадь поперечного сечения фильтрационных каналов наоборот может увеличиваться вследствие активизации деформационных процессов, структурирующих фильтрационную систему в разнокомпонентно напряженной среде. Трещины, по разному ориен-

тированные относительно главных напряжений, могут «схлопываться», раскрываться и даже расти.

В зоне влияния горных работ поле напряжений претерпевает локальные изменения по сравнению с нетронутым массивом. Но именно в этих зонах происходит фильтрация газа в выработки. Более того, направление фильтрационных потоков зависит не от напряжений, а от расположения поверхности стока и градиента давления газа. Чтобы установить закономерность изменения коэффициента газопроницаемости в этих условиях, необходимо знать компоненты поля напряжений, ортогональных направлению потока, безотносительно к осям координат, и «не привязываться» к коэффициенту λ .

Более информативным и близким к реальным условиям при оценке разнокомпонентности действующих полей напряжений в породных массивах нами предложено использовать соотношение большей составляющей σ_1 к меньшей σ_3 , ортогональных направлению фильтрационного потока, в виде коэффициента $\psi = \sigma_1 / \sigma_3 > 1$.

Именно такой подход позволил установить и доказать неизвестную ранее закономерность, графическое отображение которой показано на рис. 6.



1, 2 – номера образцов

Рис. 6. - Изменение газовой проницаемости образцов горных пород при переходе из равнокомпонентного объемного напряженного состояния в разнокомпонентное.

Изложенные результаты были представлены в виде заявки на научное открытие. После экспертизы во ВНИИГПЭ на научную новизну и достоверность Международная академия авторов научных открытий и изобретений, Международная ассоциация авторов научных открытий и Российская академия естественных наук зарегистрировали данное открытие.

Научная значимость его состоит в принципиально новом представлении об изменении газовой проницаемости разнокомпонентно напряженных сред в за-

висимости от степени разнокомпонентности главных напряжений, ортогональных направлению движения фильтрующегося газового потока. Практическая важность открытия состоит в том, что оно дает основу для прогнозирования фильтрационных процессов, происходящих в объемно напряженных газонасыщенных средах, и для разработки рациональных технических решений по повышению эффективности дегазационных мероприятий с учетом величины и характера распределения главных составляющих действующего поля напряжений [21].

Резюмируя вышеизложенное, можно с уверенностью отметить, что доктор технических наук В.С. Кулинич своими научными трудами внес весомый вклад в развитие геотехнической механики в области изучения свойств и состояния гетерогенных сред, которое в дальнейшем продолжается отделом горной аэрогазодинамики Института геотехнической механики им. Н.С. Полякова НАН Украины.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Шевелев Г.А., Кулинич В.С. Опережающая отработка угольного пласта - эффективный метод предотвращения выбросов песчаника и газа при проведении полевых выработок // Уголь. - 1972. - № 1. - С. 49-53.
2. Исследование закономерностей сдвижения массива горных пород при отработке угольных пластов / Б.И. Мягкий, Л.Я. Шило, В.С. Кулинич, В.И. Мякенький, Г.А. Шевелев // Уголь Украины. - 1972. - № 10. - С. 11-12.
3. Снижение выбросоопасности песчаника в полевых выработках путем опережающей выемки угольного пласта / Ф.А. Абрамов, Г.А. Шевелев, А.Н. Зорин, В.И. Мякенький, В.С. Кулинич / Шахтное строительство. - 1972. - № 12. - С. 6-9.
4. Мякенький В.И., Шевелев Г.А., Кулинич В.С. Сдвижение выбросоопасного породного массива при надработке угольным пластом // Изв. вузов. Горн. журн. - 1973. - № 1. - С. 28-31.
5. Шевелев Г.А., Кулинич В.С., Лозовский В.Ф. Определение напряжений в выбросоопасных песчаниках методом гидроразрыва // Уголь. - 1973. - № 7. - С. 51-55.
6. Кулинич В.С. Определение величины и направления напряжений в массиве горных пород // Разработка месторождений полезных ископаемых. - Киев: Наук, думка, 1984. - № 69. - С.17-20.
7. Кулинич В.С. Теоретические и экспериментальные аспекты измерения напряжений в массиве горных пород гидравлическим разрывом // Исследования напряжений в горных породах. - Новосибирск: СО АН СССР, 1985. - С. 67-74.
8. Кулинич В.С., Шевелев Г.А. Использование гидроразрыва для измерения напряжений в массиве пород // Уголь Украины. - 1986. - № 3. - С. 13-16.
9. Кулинич В.С. Оборудование и аппаратура для измерения напряжений в массиве горных пород способом гидравлического разрыва // Уголь. - 1988. - № 10. - С. 32-33.
10. А.с. № 857484, СССР. Способ оценки напряженного состояния горных пород / Ф.А. Абрамов, В.С. Кулинич, Г.А. Шевелев, В.Ф. Лозовский, Ю.А. Герасименко. - Оpubл. в Б.И., 1981, № 31.
11. А.с. № 1234624, СССР. Способ оценки напряженного состояния горных пород / В.С. Кулинич, В.И. Тейтель. - Оpubл. в Б.И., 1986, № 20.
12. А.с. № 1286770, СССР. Способ образования трещины в плоскости, перпендикулярной оси скважины / В.С. Кулинич, В.И. Тейтель, В.И. Задорожный, В.Ф. Лозовский, Ю.А. Герасименко, Н.В. Санжаренко. - Оpubл. в Б.И., 1987, № 4.
13. Кулинич В.С., Шевелев Г.А., Лозовский В.Ф. Определение прочностных свойств газонасыщенных образцов горных пород // Уголь Украины. - 1977. - № 8. - С.26.
14. Кулинич В.С., Шевелев Г.А. Влияние разгрузки и дегазации выбросоопасного массива песчаника на изменение его механических свойств // Уголь. - 1978. - № 3. - С. 26-27.
15. Абрамов Ф.А., Кулинич В.С., Шевелев Г.А., Репка В.В. Физико-химический способ предотвращения газодинамических явлений в щитовых лавах // Уголь Украины. - 1982. - № 10. - С. 22-24.
16. Кулинич В.С. Газонасыщенность массива призабойной части подготовительных выработок, проводимых по выбросоопасным песчаникам // Разработка месторождений полезных ископаемых. - Киев: Наук, думка, 1984. - № 68. - С. 27-30.
17. А.с. № 468005, СССР. Способ определения прочностных свойств образцов горных пород / Ф.А. Абрамов, В.С. Кулинич, Г.А. Шевелев, В.Ф. Лозовский. - Оpubл. в Б.И., 1975, № 15.

18. Шевелев Г.А., Кулинич В.С. Буримость как метод оценки механических свойств выбросоопасных зон в массиве песчаника // Уголь. - 1974. - № 12. - С. 38-41.

19. 3. Кулинич В.С., Шевелев Г.А., Егоров С.И. Методы и средства определения параметров геомеханического состояния газоносного породного массива. - Донецк. ЦБНТИ, 1994. - 202 с.

20. Кулинич В.С., Перепелица В.Г., Лукинов В.В., Радченко В.В., Заболотный А.Г., Шевелев Г.А., Иванчишин С.Я., Кулинич С.В., Курносков С.А., Подтуркин Д.Г. Закономерность изменения газовой проницаемости горных пород при переходе их из равнокомпонентного объемного напряженного состояния в разнокомпонентное. – Научные открытия (Сб. кратких описаний научных открытий, научных идей, научных гипотез – 2005) , дипл. № 280: Изд. «Сударыня», С.-Пет., М. – 2006.

21. Перепелица В.Г., Кулинич В.С., Шевелев Г.А., Кулинич С.В. Изменение газовой проницаемости в напряженных горных породах // Уголь Украины. – 2006. - № 3. – С. 33-35.

УДК 622.411.332.023:537-962

Академик НАН Украины,
д-р техн. наук, проф. А.Ф. Булат,
канд. техн. наук С.Ю. Макеев,
канд. техн. наук В.И. Лойк,
инж. В.Я. Осенний,
канд. техн. наук С.Ю. Андреев
(ИГТМ НАН Украины),
мл. науч. сотр. А.С. Баскевич (ДГХТУ)

СТРУКТУРНЫЕ ИЗМЕНЕНИЯ В МЕТАНОСОДЕРЖАЩИХ ПОРОДАХ В РЕЗУЛЬТАТЕ СВЧ ВОЗДЕЙСТВИЯ

Приведено результати експериментальних досліджень по руйнуванню зразків пісковика і алевроліту при впливі на них енергією надвисоких частот. Встановлені характерні закономірності зміни структурних властивостей цих гірських порід.

STRUCTURAL CHANGES IN ROCKS CONTAINING METHANE, AS A RESULT OF INFLUENCE BY ENERGY OVER HIGH-FREQUENCIES

The results of experimental researches on destruction of sandstones, claystones and siltstones samples at influence on them by an over high-frequencies are given. The characteristic conformities of these rocks structural properties changes are set.

Эффективность способов воздействия на углеводородные залежи зависит от глубины изменения внутренней структуры вещества, на которое направлено это воздействие. Особенно важно изменение сорбционного объема пород (угля), если таковой имеется. Для вмещающих пород надо учитывать, что определяющими факторами газоносности песчаников являются пористость и проницаемость, а в меньшей степени – сорбционная метаноемкость. Для аргиллитов и алевролитов, наоборот, наиболее существенна сорбционная метаноемкость.

Выполненные ранее исследования по электроразрядному разрушению горных пород с целью их дегазации [1] показали, что этот способ рационально применять на песчаниках и неэффективно использовать для алевролитов и аргиллитов. Что касается последних, то нижеприведенные исследования демонст-