

УДК 622.02:622.411.332:556.324

Р.А. Дякун, канд. техн. наук, мл. науч. сотр.,
В.Я. Осенний, науч. сотр.,
В.Н. Светличный, мл. науч. сотр.
(ИГТМ НАН Украины)

ИССЛЕДОВАНИЕ ФИЗИКО-МЕХАНИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК ГОРНЫХ ПОРОД ПРИ ИХ ГАЗОВОДОНАСЫЩЕНИИ

Р.А. Дякун, канд. техн. наук, мол.наук. співр.,
В.Я. Осінній, наук. співр.,
В.М. Світличний, мол. наук. співр.
(ІГТМ НАН України)

ДОСЛІДЖЕННЯ ФІЗИКО-МЕХАНІЧНИХ ХАРАКТЕРИСТИК ГІРСЬКИХ ПОРІД ПРИ ЇХ ГАЗОВОДОНАСИЧЕННІ

R.A. Dyakun, Ph.D. (Tech.), Junior Researcher,
V.Ya. Osenniy, M.S. (Tech.),
V.N. Svetlichniy, M.S. (Tech.)
(IGTM NAS of Ukraine)

STUDY OF PHYSICAL AND MECHANICAL PROPERTIES OF THE ROCKS AT THEIR GAS-AND-WATER SATURATION

Аннотация. В работе представлен оригинальный метод физического моделирования газоводонасыщения горных пород, в частности песчаников с существенно отличающимся цементирующим составом и пористостью. Газоводонасыщение проводится с одновременным использованием эффекта образования вакуума по закону Клапейрона-Менделеева в структуре породы во время ее остывания в горячей воде и одновременным воздействием вакуума на разогретую воду с образцом. Установлено, что в песчанике с кварцевым цементом и пористостью 1% при газоводонасыщении наблюдается его упрочнение, но при наличии едва заметной нарушенности структуры такие прочностные характеристики как предел прочности, модуль упругости и удельная энергия, накопленная образцом при одноосном сжатии перед разрушением, могут снижаться на 37, 38 и 43% соответственно.

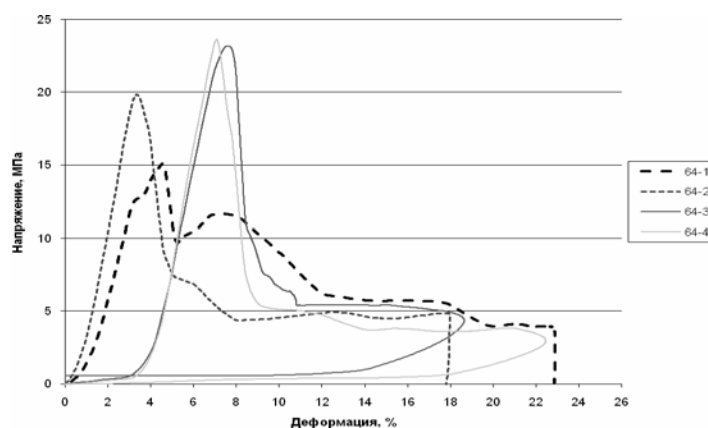
Ключевые слова: газоводонасыщение, модуль упругости, предел прочности.

Одной из особенностей ведения работ на современных угольных шахтах является флюидонасыщенность углепородного массива. Как известно, газ и вода существенно влияют на физико-механические свойства горных пород и, как следствие, знание изменения физико-механических характеристик пород вмещающих полезное ископаемое дает возможность их учета при планировании интенсивности ведения горных работ [1-4], дегазации углепородного массива, а также выборе методов управления горным давлением.

Авторами была разработана методика флюидонасыщения горных пород осадочного происхождения для исследования процессов и характера разрушения при различных уровнях флюидонасыщенности.

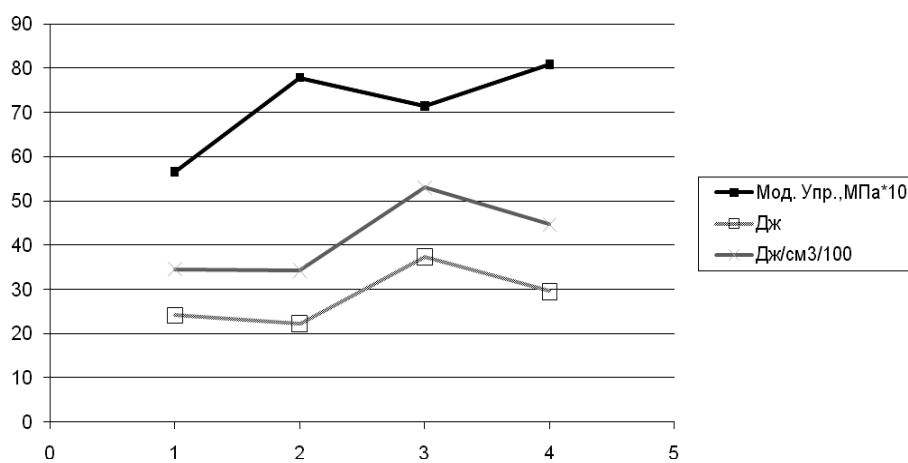
Известно, что при газонасыщении горных пород предел прочности и затраченная энергия на деформирование перед разрушением, отнесенная к объему испытываемой породы, снижаются, что объясняется влиянием газа под давлением в порах горной массы как способствующего разрушению породы по всему объему порового пространства на растяжение. Влияние жидкости по механизму подобно, с той лишь разницей, что при сжатии горной породы происходит снижение объема порового пространства и жидкость, несжимаемая и зажатая в пространстве, начинает действовать также на разрыв в объеме порового пространства горной породы который заполняет.

Пример изменения физико-механических параметров при одноосном сжатии для дегазированного и газонасыщенного алевролита и угля представлены на рис.1, 2 и табл.1, 2)



64-1, 64-2 - образцы газонасыщенные; 64-3, 64-4 - образцы дегазированные

Рисунок 1 – Диаграмма напряжение-деформация



1, 2 – образцы газонасыщенные; 3, 4 – образцы дегазированные

Рисунок 2 – Изменение физико-механических характеристик алевролита при его газонасыщении

В таблице приведены данные по испытаниям на одноосное сжатие по алевролиту [2].

Таблица 1 – Пример изменения физико-механических характеристик алевролита при его газонасыщении

Параметры	Алевролит, шахта «Павлоградская»	
	Газонасыщенный	Дегазированный
Модуль упругости, МПа	672,2	761,3
Предел прочности, МПа	17,5	23,0
Удельная энергия, Дж/см ³	0,343	0,488

Из таблицы 1 видно, что при газонасыщении предел прочности, модуль упругости и удельная энергия упругого деформирования перед разрушением снижаются по отношению к дегазированной породе соответственно на 24, 12 и 30%.

В таблице 2 приведены данные [5] по изменению физико-механических свойств угля отобранного из пласта m_3 , ПАТ «Шахта им. А.Ф. Засядько».

Таблица 2 - Физико-механические свойства угля пласта m_3 , ПАТ «Шахта им. А.Ф. Засядько» [5]

Образец №	Нарушенный	Газонасыщение в течении 1 часа	Модуль $E_{упр}$ упругости, МПа	Предел прочности на сжатие, МПа	Удельная $E_{уд}$ энергия накопленная образцом при одноосном сжатии перед разрушением		Предел прочности на изгиб, МПа	Изменение при газонасыщении		
					Дж/см ³	Дж/г		$E_{упр}$, %	$\sigma_{пр}$, %	$A_{уд}$, %
1	да	нет	315	7,6	0,130	0,092	0,74	---	---	---
2	да	да	320	3,9	0,061	0,043		+4,4	-45,8	-65,2
3	да	нет	298	6,8	0,221	0,156	0,53	---	---	---
4	нет	нет	471	14,1	0,575	0,411	1,27	---	---	---
5	нет	да	1118	12,9	0,273	0,195		+137,3	-8,5	-52,5

Из табл. 2 видно, что удельная $A_{уд}$ энергия, накопленная образцом при одноосном сжатии перед разрушением, является явным индикатором степени нарушения структуры образца при его газонасыщении.

Для проведения исследований по газо-водонасыщению были взяты пробы песчаника отобранного из кровли пласта C_{10}^B шахты «Днепровская» ПАО «ДТЭК Павлоградуголь» и из углевмещающего песчаника шахты «Павлоградская».

В песчанике из кровли пласта C_{10}^B шахты Днепровская не просматриваются

литологические разности в отличие от песчаника шахты «Павлоградская», где песчаник мелкозернистый на глинистом цементе с просматривающимися литологическими разностями.

Порода высушивалась при температуре 120°C в течении 48 часов и после испытывалась на одноосное сжатие – материнская порода (МП); помещались сразу из сушильной камеры в кипящую воду и выдерживались в течении 1 часа – порода «Кипяток» или влагонасыщенная; после сушильной камеры помещались в кипящую воду и выдерживались до приобретения водой комнатной температуры в камере под действием вакуума $0,7 \text{ атм.}$, – порода «Вакуум». Дополнительное воздействие на породу в тексте показано, например, как: Вак+ N_2 или Вак+ CO_2 , что означает порода после влагонасыщения под вакуумом выдерживалась в течении 1 часа, и в дальнейшем разрушалась одноосным сжатием, в газовой среде под давлением около 6 МПа соответственно азот и углекислота.

По данным исследований (рис.3) следует, что дегазация газонасыщенных техническим азотом под давлением 6 МПа образцов приводит к увеличению модуля упругости E , предела прочности на сжатие $\sigma_{сж}$ и удельной энергии $A_{уд}$ сжатия перед разрушением на 13, 31 и 42%, соответственно.

На рис.3 показано, что после дегазации ранее газонасыщенных техническим азотом (давление насыщения 6 МПа) сухих образцов песчаника $\sigma_{сж}$, E и $A_{уд}$ увеличиваются на 19, 19 и 34% соответственно.

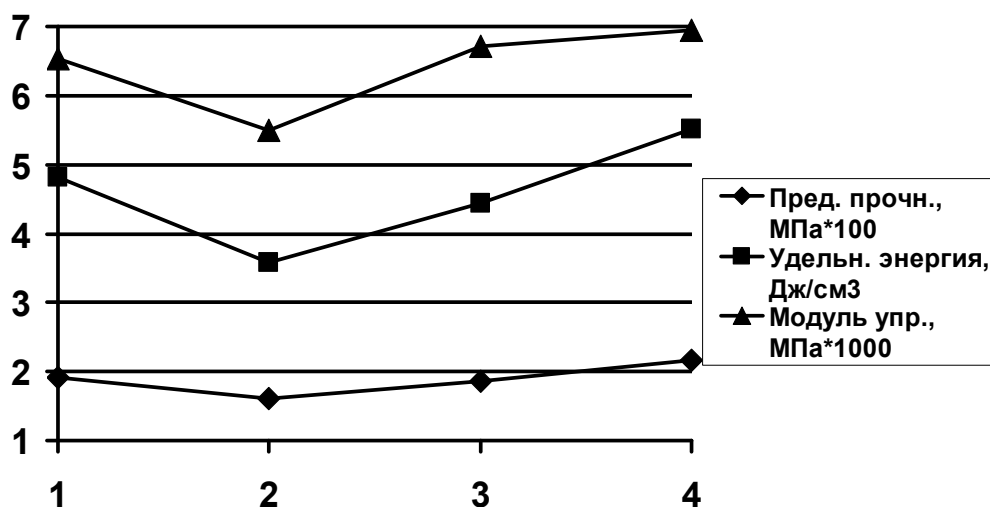


Рисунок 3 – Изменение физико-механических свойств песчаника, отобранного из кровли пласта C_{10}^{B} шахты Днепровская ПАО «ДТЭК Павлоградуголь», где по оси абсцисс: 1 – материнская порода; 2 – газонасыщенная порода; 3 – водонасыщенная порода; 4 – газоводонасыщенная порода

Для анализа характера поведения породы при нагружении построены графики модуль упругости – напряжение сжатия.

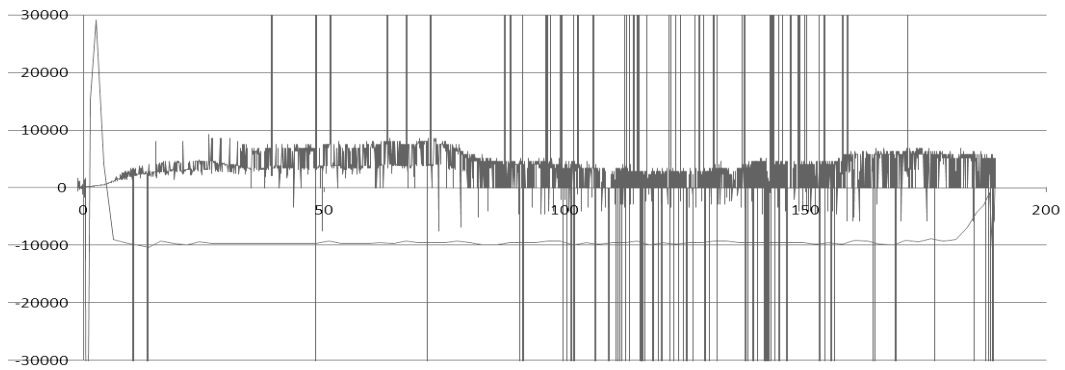


Рисунок 4 – Изменение модуля упругости при нагружении песчаника, отобранного из кровли пласта C_{10}^B шахты Днепроовская для образца «МП»; по оси абсцисс – напряжение сжатия, МПа; по оси ординат – модуль упругости, МПа

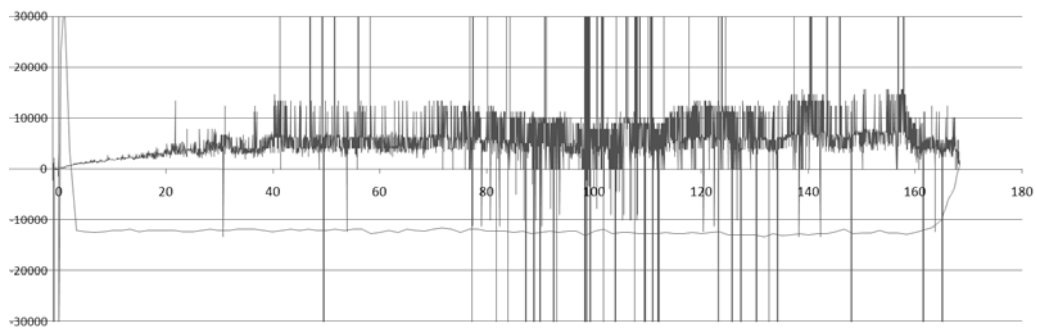


Рисунок 5 – Изменение модуля упругости при нагружении песчаника, отобранного из кровли пласта C_{10}^B шахты Днепроовская для образца «Кипяток» без газонасыщения; по оси абсцисс – напряжение сжатия, МПа; по оси ординат – модуль упругости, МПа



Рисунок 6 – Характер разрушения песчаника, отобранного из кровли пласта C_{10}^B шахты Днепроовская для образца «Кипяток»

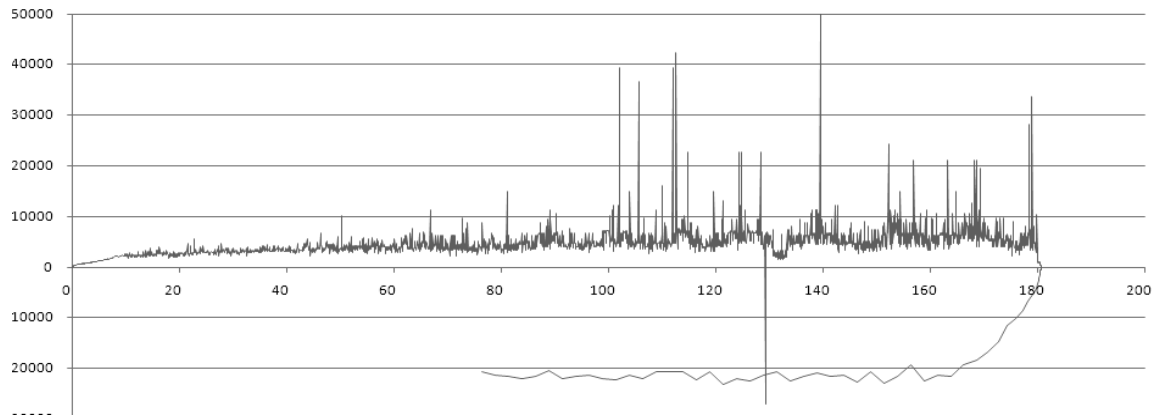


Рисунок 7 – Изменение модуля упругости при нагружении песчаника, отобранного из кровли пласта C_{10}^B шахты Днепроовская для образца «Кипяток+CO₂» по оси абсцисс – напряжение сжатия, МПа; по оси ординат – модуль упругости, МПа

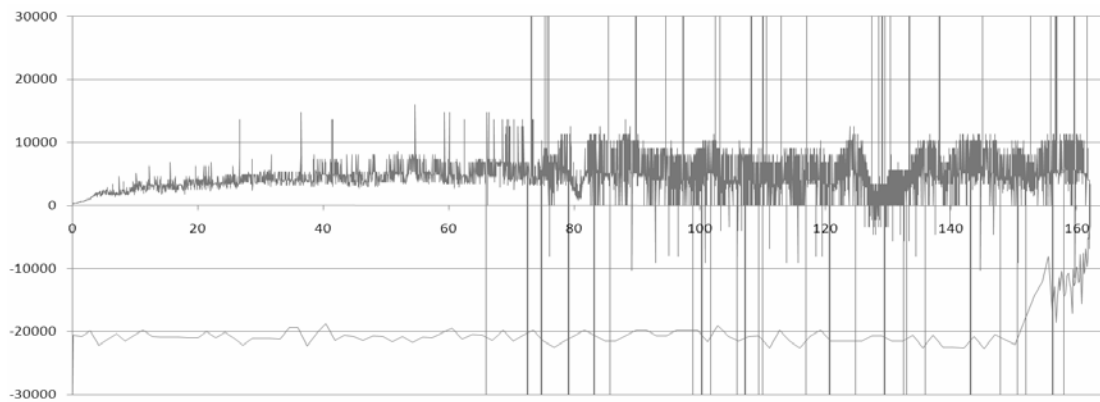


Рисунок 8 – Изменение модуля упругости при нагружении песчаника, отобранного из кровли пласта C_{10}^B шахты Днепроовская для газонасыщенного образца без влагонасыщения; по оси абсцисс – напряжение сжатия, МПа; по оси ординат – модуль упругости, МПа



Рисунок 9 – Характер разрушения песчаника, отобранного из кровли пласта C_{10}^B шахты Днепроовская для газонасыщенного образца без влагонасыщения

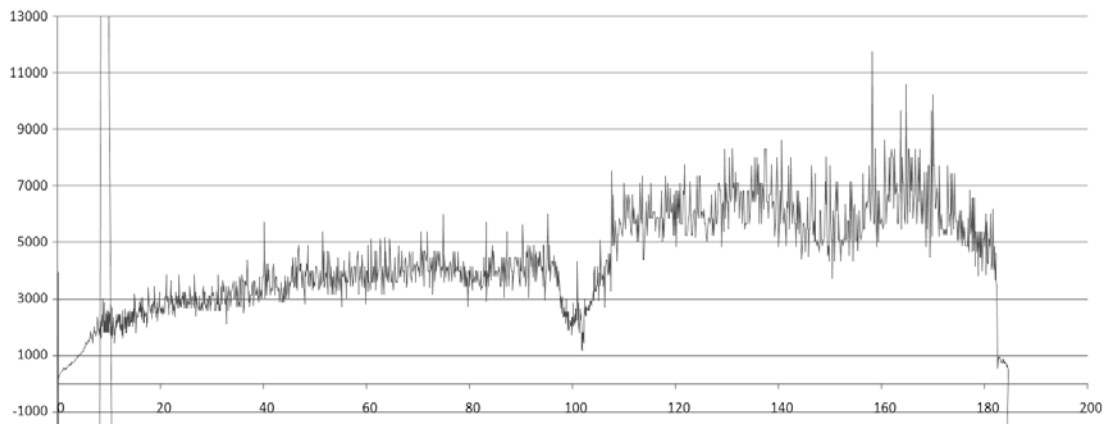


Рисунок 10 – Изменение модуля упругости при нагружении песчаника, отобранного из кровли пласта C_{10}^B шахты Днепроовская для образца «Кипяток+CO₂» по оси абсцисс – напряжение сжатия, МПа; по оси ординат – модуль упругости, МПа

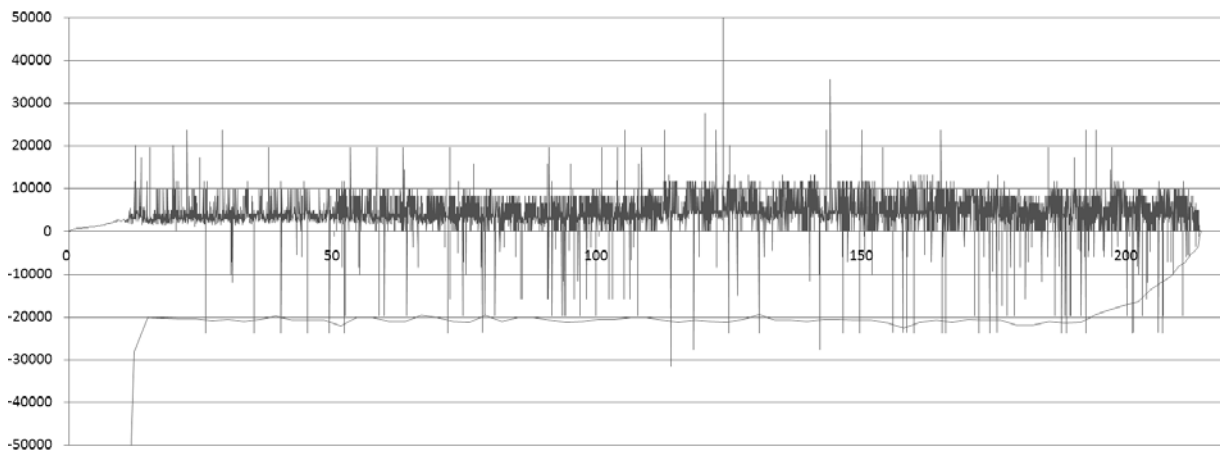


Рисунок 11 – Изменение модуля упругости при нагружении песчаника, отобранного из кровли пласта C_{10}^B шахты Днепроовская для образца «Вак+CO₂» по оси абсцисс – напряжение сжатия, МПа; по оси ординат – модуль упругости, МПа



Рисунок 12 – Характер разрушения песчаника, отобранного из кровли пласта C_{10}^B шахты Днепроовская для образца «Вак+CO₂»

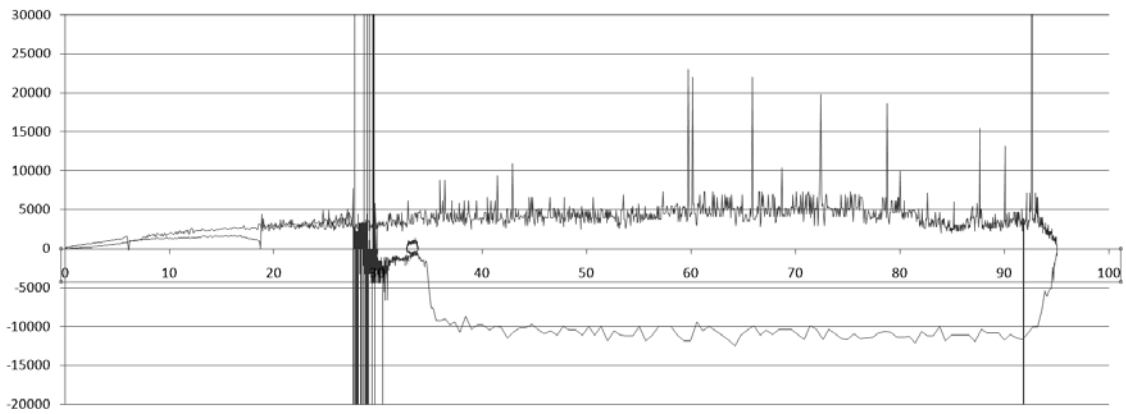


Рисунок 13 – Изменение модуля упругости при нагружении песчаника, отобранного на шахте «Павлоградская» для образца «МП»; по оси абсцисс – напряжение сжатия, МПа; по оси ординат – модуль упругости, МПа

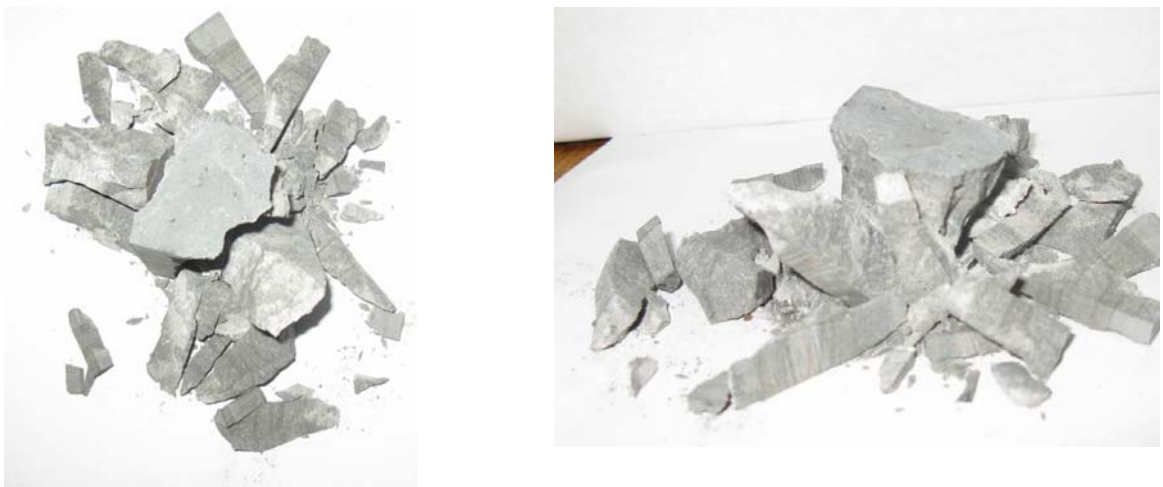


Рисунок 14 – Характер разрушения песчаника, отобранного из углевмещающего песчаника шахты «Павлоградская» для образца «МП»

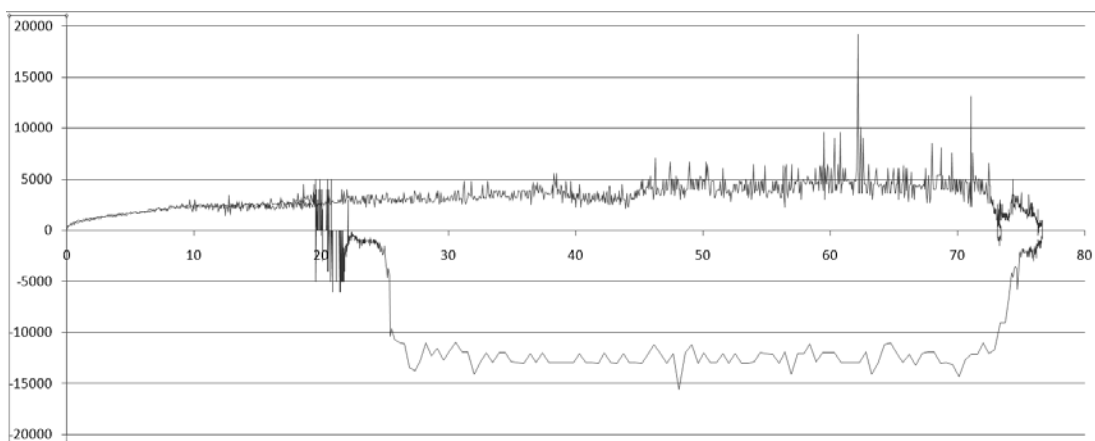


Рисунок 15 – Изменение модуля упругости при нагружении песчаника, отобранного из углевмещающего песчаника шахты «Павлоградская» для образца «Вак+N₂»; по оси абсцисс – напряжение сжатия, МПа; по оси ординат – модуль упругости, МПа



Рисунок 16 – Характер разрушения песчаника, отобранного из угле вмещающего песчаника шахты «Павлоградская» для образца «Вак+N₂»

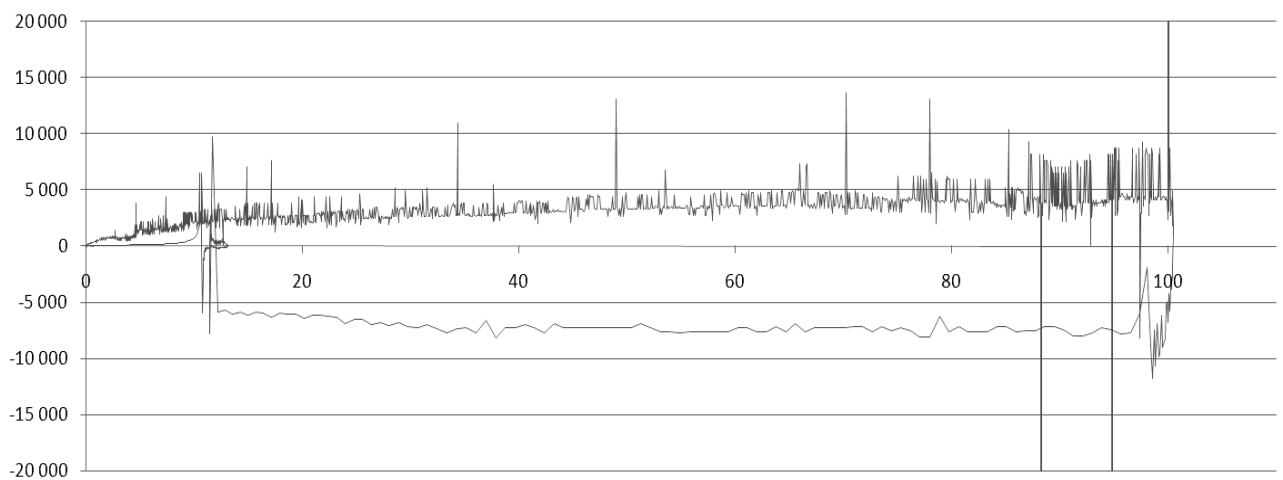


Рисунок 17 – Характер разрушения песчаника, отобранного из угле вмещающего песчаника шахты «Павлоградская» для образца «Кипяток»

При дегазации и водонасыщении образцов песчаника (рис.3) пористостью 1% происходит увеличение $\sigma_{сж}$, E , $A_{уд}$ по отношению к газонасыщенным соответственно на 15, 22, 23%. При газоводонасыщении образцов песчаника происходит увеличение $\sigma_{сж}$, E , $A_{уд}$ по отношению к дегазированным сухим образцам соответственно на 13, 6, 14%. Особенность полученных данных заключается в уменьшении $\sigma_{сж}$, E и $A_{уд}$ при дегазации флюидонасыщенного песчаника.

Для управления состоянием флюидонасыщенного углепородного массива и характером реакции выбросоопасных пластов угля на забое [4, 5], важным является учет изменения предела прочности, модуля упругости и удельной энергии, при которых происходит развитие запредельного деформирования, для разной степени флюидонасыщенности вмещающих пород и, соответственно, подбора схем, степени их дегазации и способов крепления горных выработок.

Для более детального изучения механизма разрушения образцов песчаника был проведен рассев по фракциям (рис.18-21), где по оси абсцисс указан номер сита, а по оси ординат – процентное содержание фракции по массе относитель-

ной общей массы образца, в подрисуночной надписи через дробь указано соответственно: $\sigma_{сж}$, МПа / $E_{упр}$, МПа / $A_{уд}$, Дж/см³ / давление газа, атм/. Для фракции №1 значение по оси ординат для наглядности уменьшено в 10раз.

Размеры фракций следующие:

Фракция №1=+10мм; Фракция №2=+7мм; Фракция №3=+5мм;
Фракция №4=+3мм; Фракция №5=+2мм; Фракция №6=+1мм;
Фракция №7=+0,5мм; Фракция №8=+0,25мм; Фракция №9=-0,25мм.

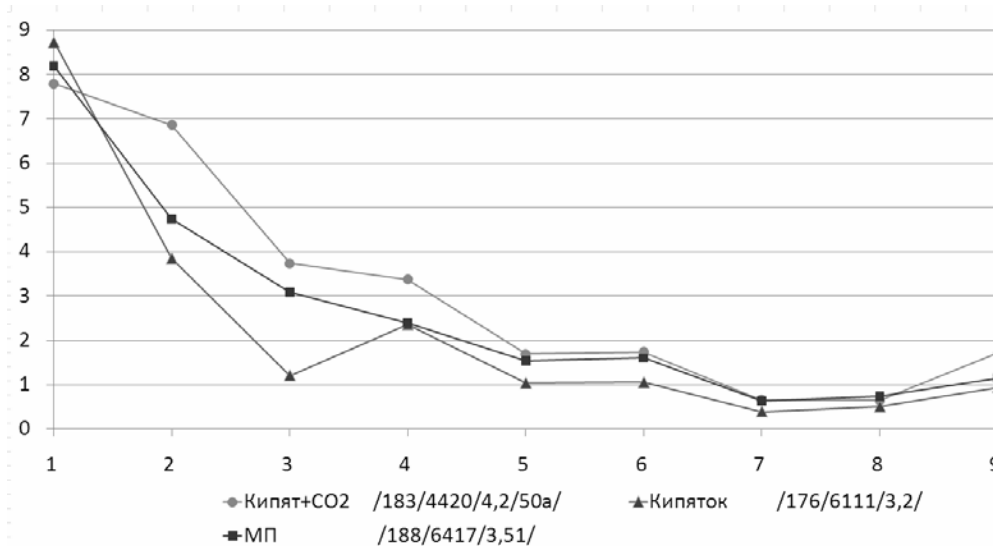


Рисунок 18 – Рассев по фракциям для песчаника кровли пласта С₁₀^В шахты Днепроовская

Порода «Кипяток» в фракциях №2 и №3 наблюдается тенденция на увеличение прочности, но в фракциях №5-9 происходит перераспределение структуры песчаника в противоположном направлении – снижение энергоемкой составляющей показателя деформирования при сжатии и поэтому прочностные характеристики в рассматриваемой комбинации наименьшие, равные 3,2 Дж/см³ и 176 МПа.

Кипяток+СО₂ в фракции №1 просматривается стремление к упрочнению, что компенсируется фракциями №2-3. Фракции 4-6 способствуют увеличению энергоемкости деформации предразрушения. В особенности стремление к упрочнению просматривается в №9, но высокие значения №2-4 приводят к образованию магистральных трещин и разрушению при напряжениях сжатия 183 МПа. Особенность этой породы – наименьшее значение количества фракций №1 и наибольшее по фракции №9, что приводит к наибольшему значению удельной энергии деформирования до предела прочности на уровне 4,2 Дж/см³.

Наиболее отличимой является группа Вак+СО₂, (рис.19) где объем фракций №1-3 практически соответствуют значениям МП, что указывает о схожести в свойствах сдерживания краевой частью образца его центральной части от расширения при диспергировании во время нагружения.

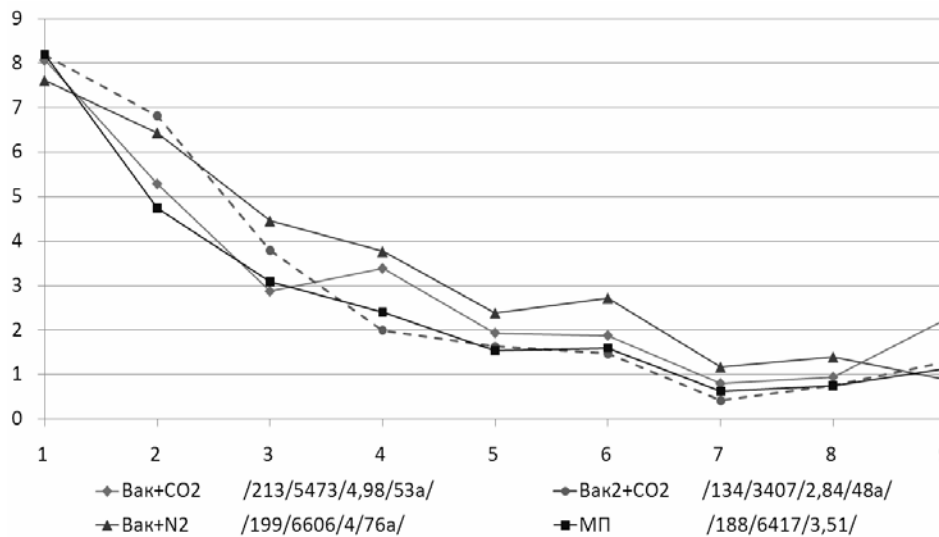


Рисунок 19 – Рассев по фракциям для песчаника кровли пласта C_{10}^B шахты Днепроовская.

Увеличение количества фракций №9 в 2раза приводит к увеличению $A_{yд}$ в 1,5 раза по отношению к МП. При этом пропорциональное увеличение долей фракций с №4 по №8 приводит к более рациональному сдерживанию расширяющегося центра с превалирующей фракцией №9 на их прорыв за границы образца и соответственно достигается увеличение прочности Вак+CO₂ по отношению к МП на 13%. Сам факт увеличения доли фракций №4-9 приводит к снижению модуля упругости из-за увеличения пластичности и поэтому увеличение $A_{yд}$ на 40%.

Завышенное значение объема фракций 2-4 для образца Вак+N₂ приводит к увеличению модуля упругости по отношению к МП на 190 МПа, но слишком интенсивный рост E_y и снижение образования дефектов на уровне фракций №9 по отношению к МП приводит к достижению предела прочности на уровне 199 МПа, т.е. на 6% больше предела прочности МП.

Для породы Вак2+CO₂ неизменная позиция фракций в интервале № 4-9 и завышенные значения для фракций №2-3 указывает ускоренное образование магистральных трещин и поэтому наиболее низкому значению предела прочности в 134 МПа, т.е. наличию геомеханических факторов необеспеченного стремления к росту модуля упругости, что привело к его фактическому снижению, а также наименьшему значению удельной энергии деформирования породы до разрушения на уровне 2,84 Дж/см³, т.е. снижению на 20%, причиной чему является практически неизменное количество фракций № 4-9.

Образец Вак2+CO₂ отличается от Вак+CO₂ тем, что на одной из граней просматривалась волосяная трещина и по результатам испытаний следует, что при газоводонасыщении песчаника пористостью 1% наблюдается его упрочнение, но при наличии едва заметной нарушенности при газоводонасыщении прочностные характеристики $\sigma_{сж}$, E и $A_{yд}$ могут снижаются по отношению к газоводонасыщенному на 37, 38 и 43% соответственно, в зависимости от степени нарушенности.

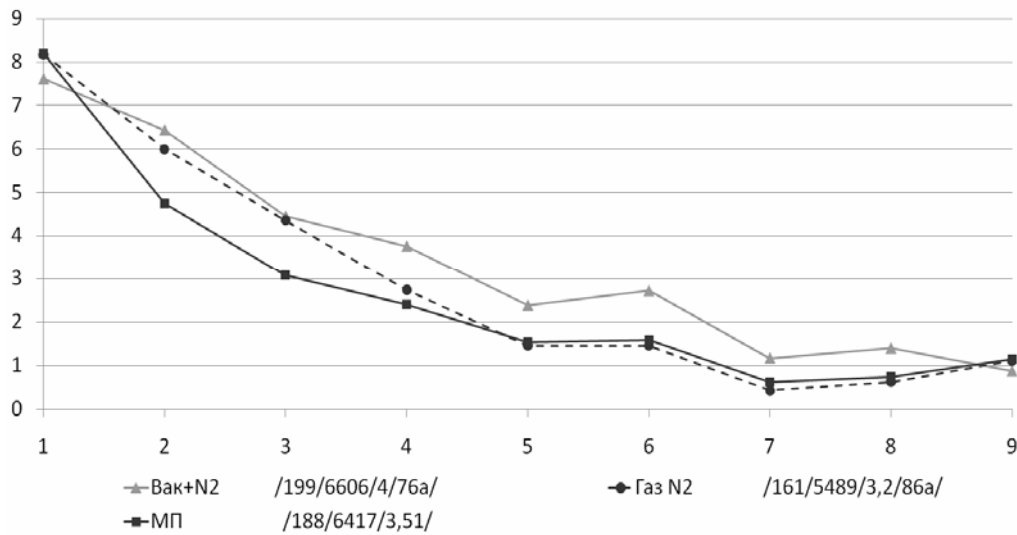


Рисунок 20 – Рассев по фракциям для песчаника кровли пласта C_{10}^B шахты Днепроовская

Для породы Газ N_2 характерным является завышенное значение фракций №2-4 и уменьшенное значение фракций №6-8, что указывает на стремление к увеличению модуля упругости, однако оно не обеспечивается увеличением объема фракций №5-9, а наоборот происходит их снижение и соответственно модуля упругости, A_{y0} и предела прочности.

Более выгодно в отношении увеличения прочностных характеристик выглядит проба Вак+ N_2 за счет использования энергии сжатия газа при ограниченной проницаемости породы.

Для породы Кипят+ CO_2 (рис.2) возможность увеличения модуля упругости не обеспечивается развитием дислокаций на уровне фракций 5-8, что приводит к увеличению A_{y0} на 20% при практически неизменном значении предела прочности.

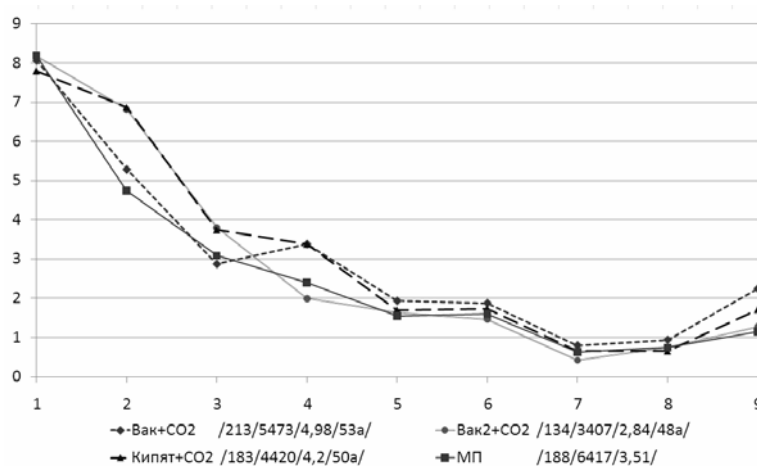


Рисунок 21 – Рассев по фракциям для песчаника кровли пласта C_{10}^B шахты Днепроовская

Выводы. Дегазация газонасыщенных техническим азотом под давлением 6 МПа образцов приводит к увеличению модуля упругости E , предела прочности на сжатие $\sigma_{сж}$ и удельной энергии $A_{уд}$ сжатия перед разрушением на 13, 31 и 42%, соответственно.

При газоводонасыщении образцов песчаника пористостью 1% происходит увеличение $\sigma_{сж}$, E , $A_{уд}$ по отношению к дегазированным сухим образцам соответственно на 13, 6, 14%. Особенность полученных данных заключается в уменьшении $\sigma_{сж}$, E и $A_{уд}$ при дегазации флюидонасыщенного песчаника, но при наличии едва заметной нарушенности при газоводонасыщении прочностные характеристики $\sigma_{сж}$, E и $A_{уд}$ резко снижаются по отношению к дегазированной породе и могут достигать уровня 37, 38 и 43% соответственно, – в зависимости от степени нарушенности.

Наиболее целесообразным условием для обеспечения устойчивости выработок в условиях ограниченной проницаемости газоводонасыщенного песчаника в зоне опорного давления которая формируется вокруг выработки является сохранение целостности структуры массива в зоне опорного давления, т.к. при образовании нарушенных техногенных зон в газоводонасыщенном массиве приводит к резкому снижению прочностных характеристик углевмещающих пород. В случае если выработка входит в зону влияния тектонического нарушения, то целесообразным в этом случае является ее предварительная дегазация с последующим обеспечением максимального подпора контура выработки высококонесущей крепью, т.к. в условиях высокой проницаемости и трещиноватости несущая способность горных пород резко снижается.

Для управления состоянием флюидонасыщенного углепородного массива и характером реакции выбросоопасных пластов угля на забое [4, 5], важным является учет изменения предела прочности, модуля упругости и удельной энергии, при которых происходит развитие запредельного деформирования для разных степеней флюидонасыщенности и нарушенности структуры вмещающих пород и, соответственно, подбора схем и степени их дегазации и способов крепления горных выработок для обеспечения бесперебойного высокоэффективного их поддержания без проявления газодинамических явлений.

Краткосрочное проявление экстремумов модуля упругости, значительно превышающих среднее значение, для песчаника шахты «Павлоградская», приводит к упрочнению породы, тогда как для песчаника, отобранного из кровли пласта C_{10}^B шахты «Днепровская» нестационарное аномально резкое увеличение модуля упругости приводит к снижению прочностных характеристик породы из-за отличия цемента песчаников – когда увеличивается модуль упругости для породы с глинистым цементом это является условием упрочнения из-за высокой пластичности глинистых составляющих структуры, которая в дальнейшем нивелирует резкое возрастание жесткости породы, а для пород с кварцевым цементом резкое увеличение модуля упругости снижает предел прочности из-за высокой хрупкости цемента и соответственно образование магистральных трещин разрушения.

СПИСОК ЛІТЕРАТУРЫ

1. Булич, Ю. Ю. Расслоение пород в условиях проведения подготовительной выработки на шахте «Трудовская» / Ю.Ю. Булич, В.Я. Осенний, Ю.С. Опрышко // Деформирование и разрушение материалов с дефектами и динамические явления в горных породах и выработках: Материалы XXII Межд. науч. школы. – Симферополь, 2012. – С. 69-71.
2. Makeev, S.Yu. Влияние газонасыщенности на процессы трещинообразования и разрушения горных пород / С.Ю. Makeev, В.Я. Осенний, Р.А. Дякун // Геотехническая механика: Межвед. сб. науч. тр. / ИГТМ НАН Украины. – Днепропетровск, 2012. – вып. 105. – С. 39-46.
3. Булич, Ю. Ю. Особенности расслоения и смещения пород в зоне влияния забоя выработки в сложных условиях угольной шахты / Ю. Ю. Булич, В. Я. Осенний, Ю.С. Опрышко // Сучасні ресурсоенерго-зберігаючі технології гірничого виробництва: Наук.-виробн. збірник КрНУ. – Кременчук: 2011. – вып. 2. – С.95-103.
4. Дякун, Р.А. Моделирование динамического разрушения предельно напряженного угля по радиально-послойному механизму вблизи тектонического нарушения / Р.А. Дякун, К.К. Подольак, И.Л. Дякун, В.Н. Светличный // Деформирование и разрушение материалов с дефектами и динамические явления в горных породах и выработках: Материалы XXII Межд. науч. школы. – Симферополь, 2012. – С. 120-124.
- 5 Дякун, Р.А. Визначення особливостей процесу утворення тонкодисперсних фракцій вугілля при його динамічному руйнуванні: дис.... канд. техн. наук: 05.15.09 / Дякун Р.А. – Дніпропетровськ: ИГТМ НАНУ, 2011 – 161с.

REFERENCES

1. Bulich, Yu.Yu., Osenniy, V.Ya. and Opryishko, Yu.S. (2012), “ Bundle of rocks in terms of development working in the mine "Trudovskaya"”, *Deformirovanie i razrushenie materialov s defektami i dinamicheskie yavleniya v gornyih porodah i vyirabotkah*, [Deformation and destruction materials with defects and dynamic phenomena in rocks and mines], *Materialyi XXII Mezhd. nauch. Shkolyi* [Materials XXII International Research School], Simferopol, Ukraine, pp. 69-71.
2. Makeev, S.Yu., Osenniy, V.Ya. and Dyakun, R.A. (2012), “Effect of gas saturation on the processes of cracking and fracture the rocks”, *Geo-Technical Mechanics*, no. 105, pp. 39-46.
3. Bulich, Yu.Yu., Osenniy, V.Ya. and Opryishko, Yu.S. (2011), “Features and fibration displacement of rocks in the zone of influence of slaughtering develop under difficult circumstances of a coal mine”, *Sovremennyye resursoenergo-sberegayuschie tehnologii gornogo proizvodstva*, no. 2, pp. 95-103.
4. Dyakun, R.A., Podolyak, K.K., Dyakun, I.L. and Svetlichnyiy, V.N. (2012), “Modeling dynamic destruction extremely intense coal radial layer by layer mechanism near a tectonic disturbance” *Deformirovanie i razrushenie materialov s defektami i dinamicheskie yavleniya v gornyih porodah i vyirabotkah*, [Deformation and destruction materials with defects and dynamic phenomena in rocks and mines], *Materialyi XXII Mezhd. nauch. Shkolyi* [Materials XXII International Research School], Simferopol, Ukraine, pp. 120-124.
5. Dyakun, R.A. (2011), Defining features of the formation of fine fractions of coal at its dynamic fracture, Ph.D. dissertation, Geotechnical and rock mechanics, M.S. Poljakov Institute of Geotechnical Mechanics under NAS of Ukraine, Dnepropetrovsk, Ukraine.

Об авторах

Дякун Роман Анатольевич, кандидат технических наук, младший научный сотрудник в отделе Управления динамическим проявлением горного давления, Институт геотехнической механики им. Н.С. Полякова Национальной академии наук Украины (ИГТМ НАН Украины), Днепропетровск, Украина, romen@ua.fm.

Осенний Валентин Яковлевич, научный сотрудник в отделе Проблем разработки месторождений на больших глубинах, Институт геотехнической механики им. Н.С. Полякова Национальной академии наук Украины (ИГТМ НАН Украины), Днепропетровск, Украина.

Светличный Вячеслав Николаевич, младший научный сотрудник в отделе Управления динамическим проявлением горного давления, Институт геотехнической механики им. Н.С. Полякова Национальной академии наук Украины (ИГТМ НАН Украины), Днепропетровск, Украина.

About the authors

Dyakun Roman Anatolevich, Candidate of Technical Sciences (Ph.D), Junior Researcher in Department of Pressure Dynamics Control in Rocks, M.S. Polyakov Institute of Geotechnical Mechanics under the

National Academy of Sciences of Ukraine (IGTM NAS of Ukraine), Dnepropetrovsk, Ukraine, romen@ua.fm.

Oseennyi Valentin Yakovlevich, Researcher in Department of Mineral Mining at Great Depths, M.S. Polyakov Institute of Geotechnical Mechanics under the National Academy of Sciences of Ukraine (IGTM NAS of Ukraine), Dnepropetrovsk, Ukraine.

Svetlichiy Vyacheslav Nicolaevich, Junior Researcher, Junior Researcher in Department of Pressure Dynamics Control in Rocks, M.S. Polyakov Institute of Geotechnical Mechanics under the National Academy of Sciences of Ukraine (IGTM NAS of Ukraine), Dnepropetrovsk, Ukraine.

Анотація. У роботі представлений оригінальний метод фізичного моделювання газоводонасичення гірських порід, зокрема пісковиків, які істотно відрізняються цементуючим складом і пористістю. Газоводонасичення проводиться з одночасним використанням ефекту утворення вакууму за законом Клапейрона - Менделєєва в структурі породи під час її охолодження в гарячій воді та одночасним впливом вакууму на розігріту воду із зразком. Встановлено, що в пісковикі з кварцовим цементом і пористістю 1 % при газоводонасиченні спостерігається його зміцнення, але за наявності ледь помітної порушеності структури такі характеристики, як межа міцності, модуль пружності і питома енергія, яка накопичена зразком при одноосьовому стисненні перед руйнуванням, можуть знижуватись на 37, 38 і 43 % відповідно.

Ключові слова: газоводонасичення, модуль пружності, межа міцності.

Abstract. The work presents an original method for physical modeling of gas-and-water saturation of rocks and, in particular, in sandstones which differ by binder components and porosity. The rocks are saturated with gas and water simultaneously with effect of vacuum formation by the Mendeleev-Clapeyron law in the rock structure during the rock cooling in hot water with simultaneous impact of the vacuum on the heated water with the sample. It is stated that at gas-and-water saturation sandstone with quartz cement and porosity of 1% is hardened, but if the structure is at least slightly disturbed such strength characteristics as tensile strength and elastic modulus as well as specific energy accumulated by the sample under uniaxial compression before its destruction can decrease by 37, 38 and 43%, respectively.

Keywords: gas-and-water saturation, modulus of elasticity, tensile strength

Статья поступила в редакцию 8.01.2014

Рекомендовано к публикации д-ром техн. наук С.П. Минеевым

УДК 622.234.5:32:532.595.2

С.П. Минеев, д-р техн. наук., профессор
(ИГТМ НАН Украины),
А.А. Потапенко, инженер
("Донецкая угольная энергетическая компания")

**МЕХАНИЗМ ФИЛЬТРАЦИОННЫХ ПРОЦЕССОВ В ГОРНОМ
МАССИВЕ ПРИ НАЛОЖЕНИИ ГИДРАВЛИЧЕСКИХ УДАРОВ НА
СТОЛБ НАГНЕТАЕМОЙ В ПЛАСТ ЖИДКОСТИ**

С.П. Мінєєв, д-р техн. наук, професор
(ИГТМ НАН України),
О.О. Потапенко, інженер
(«Донецька вугільна енергетична компанія»)

**МЕХАНИЗМ ФІЛЬТРАЦІЙНИХ ПРОЦЕСІВ У ГІРНИЧОМУ МАСИВІ
ПІД ЧАС НАКЛАДЕННЯ ГІДРАВЛІЧНИХ УДАРІВ НА СТОВПІ РІДИНИ,
ЯКА НАГНІТАЄТЬСЯ У ПЛАСТ**

S.P. Mineev, D.Sc. (Tech.), Professor
(IGTM NAS of Ukraine),
A.A. Potapenko, M.S. (Tech.)
("Donetsk Coal Energy Company")

**MECHANISM OF FILTRATION PROCESSES IN THE ROCKS AT
APPLYING HYDRAULIC SHOCK ON THE COLUMN OF LIQUID
INJECTED INTO THE STRATUM**

Аннотация. В работе обоснован механизм фильтрационных процессов в горном массиве, происходящих при наложении гидравлических ударов на поток нагнетаемой в угольный пласт жидкости. Данный механизм может быть использован для повышения эффективности нагнетания жидкости в пласт в режиме его гидравлического рыхления. Модель данного механизма позволяет оценить условия рыхления призабойной части пласта и параметры эффективного увлажнения угольного массива при выполнении противовыбросного мероприятия. Приведена зависимость изменения пористости по мере циклического нагружения массива за счет накопления повреждений в угле. Показано, что пористость и проницаемость угольного массива монотонно возрастают до определенной величины при увеличении числа циклов ударного нагружения, при этом средний суммарный переток нагнетаемой в пласт жидкости возрастает с ростом числа циклов ударного нагружения.

Ключевые слова: увлажнение массива, противовыбросное мероприятие, гидроудар, фильтрационный процесс.

При снижении выбросоопасности угольных пластов на шахтах используют различные методы, основанные на нагнетании жидкости в массиве, такие как: