

## ИССЛЕДОВАНИЕ СВОЙСТВ УГЛЯ ПРИ ЕГО БУРЕНИИ И ГАЗО-ВОДОНАСЫЩЕНИИ

*С.П. Минеев, Р.А. Дякун, Институт геотехнической механики им.Н.С. Полякова НАН Украины, Украина*

*А.А. Потапенко, П.Ю. Моисеенко, ГП «Донецкая угольная энергетическая компания», Украина*

Приведены результаты исследований физико-механических характеристик угля пласта  $h'_6$  «Смоляниновский» шахты имени А.А. Скочинского (г. Донецк) при его бурении, газо- и водонасыщении.

Одной из особенностей ведения работ на шахте имени А.А. Скочинского является отработка особо высокогазоносного выбросоопасного пласта  $h'_6$  с природной газоносностью  $22,2\text{ м}^3/\text{т.г.м.}$ , опасного по суфлярным выделениям метана и взрывчатости угольной пыли, склонного к самовозгоранию. Основным способом предотвращения внезапных выбросов угля и газа на шахте является гидрорыхление пласта с контролем его эффективности и учетом свойств горных пород [1-4]. Цель работы – определение физико-механических свойств угля пласта  $h'_6$  при одноосном сжатии и в предельно напряженном состоянии при его бурении, газо- и водонасыщении.

Для экспериментов по бурению изготавливались образцы с соотношением ширины к высоте 4/1, при нагружении их на прессе до уровней 14 и 27 МПа проводилось бурение электродрелью мощностью 740 Вт с давлением на забой скважины 1,9 и 3,7 МПа для каждого из нагружений. Для экспериментов по изучению физико-механических свойств угля изготавливались образцы кубической формы с размерами  $40\times 40\times 40$  мм и в форме пластин с размерами  $36\times 36\times 4$  мм. Исследования проводились по методикам представленных в работах [2, 5-7] на модернизированном прессе типа П-50 с использованием стенда по бурению и датчиков перемещения компании BALLUFF, и аналогово-цифрового преобразователя компании National Instruments [7].

Результаты экспериментов приведены ниже – на рис. 1-4 показано изменение параметров бурения от времени для образцов с различными усредненным напряжением сжатия и давлением подачи сверла на забой.

На рис. 1 видно, что изменение напряженного состояния в образце и скорость бурения тенденциозно сонаправлены – при увеличении напряженности в образце во время бурения, увеличивается скорость бурения, при уменьшении напряженности – скорость бурения снижается. Так при изменении напряженного состояния с 13,5 до 12,7 МПа скорость бурения снижается с 0,32 до 0,15 м/мин, т.е. при снижении напряженного состояния угля на 6 % скорость бурения снижается на 50 % для случая усредненного сжатия 14 МПа. При увеличении с 12,7 до 13,1 МПа скорость бурения увеличивается с 0,1 до 0,16, т.е. при увеличении напряженности на 3,15 %, скорость бурения увеличивается на 60 % для усредненного напряжения сжатия 14 МПа и давления на забой скважины 1,9 МПа.

При этом характерной особенностью для спектра акустической эмиссии в образце (см. рис. 1) угля при бурении является то, что до середины интервала, по времени бурения, частота эмиссии наблюдается в интервале 20 Гц-7,5 кГц с амплитудой 50% от максимального значения, после этого дополнительно появляется частота в интервале 12,5-18 кГц, причем амплитуда в конце бурения соизмерима с амплитудой низкочастотной составляющей спектра, что указывает на повышенный расход энергии на разрушение угля, а именно на микроуровне, т.е. значительный выход штыба.

На рис. 2 отмечено, что тенденциозность между напряжением сжатия и скоростью бурения отсутствует на начальном этапе эксперимента, интервал времени 41,5-42,5с, но в интервале времени 42,5-44,5с сонаправленность присутствует, а именно при снижении напряженного состояния при бурении с 14,4 до 13,9 МПа в интервале времени 42,5-44,5с

скорость бурения снижается с 0,8 до 0,2 м/мин, т.е. при уменьшении напряженного состояния во время бурения на 3,5 % скорость бурения снижается на 75 %. В интервале времени 44,5-48,7с напряженность в образце увеличивается с 13,9 до 14,1 МПа, а скорость бурения увеличивается с 0,2 до 0,35 м/мин, т.е. при увеличении напряженности на 1,5 % скорость бурения увеличивается на 75 % для усредненного сжатия образца угля 14 МПа и усилия подачи 3,7 МПа.

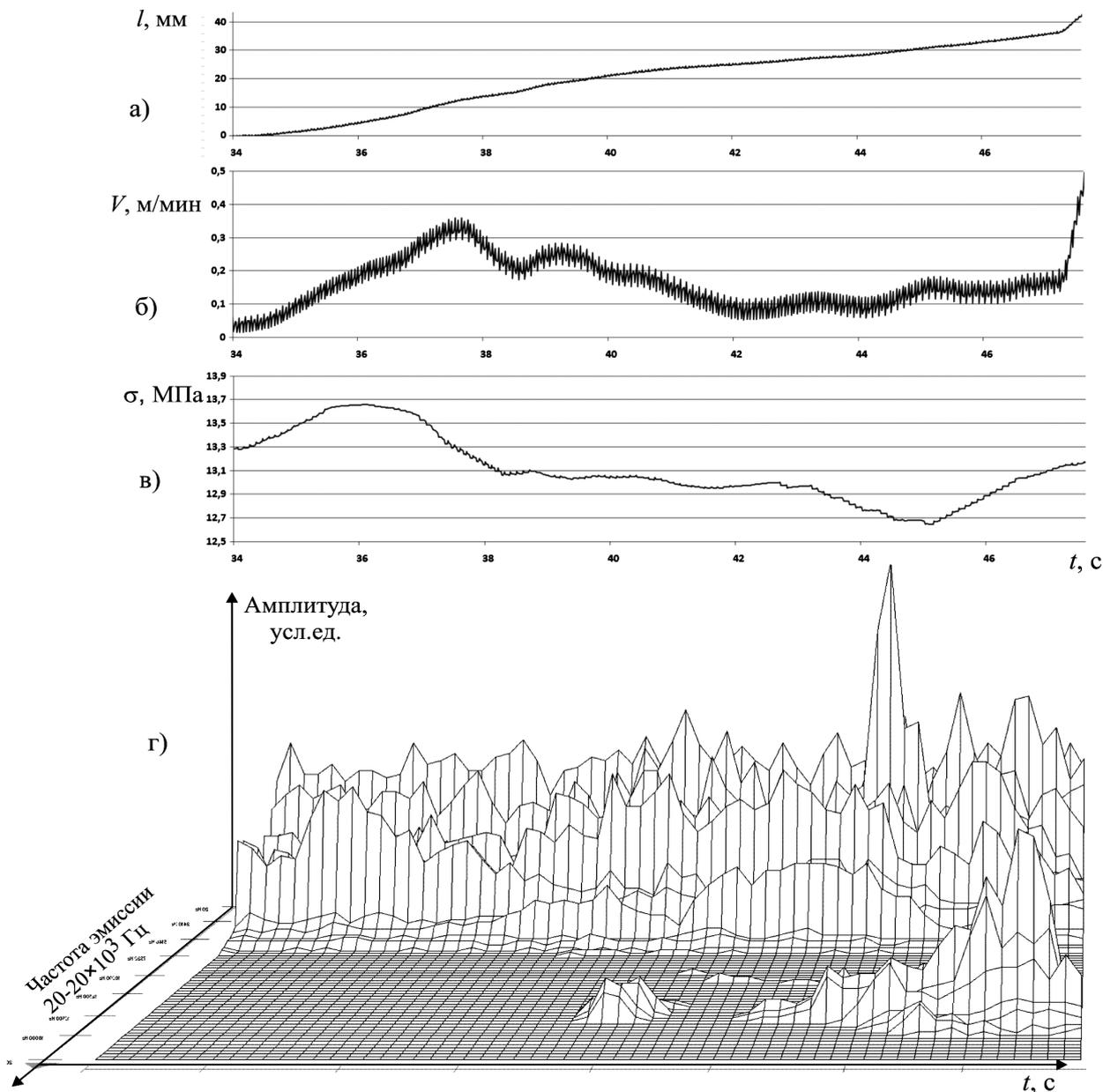


Рис. 1. Изменение параметров бурения от времени для образца с усредненным напряжением сжатия 14 МПа и давления подачи сверла на забой 1,9 МПа: *а* – перемещение забоя скважины при бурении, мм; *б* – изменение скорости бурения, м/мин; *в* – изменение напряженного состояния образца при бурении, МПа; *г* – изменение спектра акустической эмиссии в образце при бурении

Характерной особенностью для спектра акустической эмиссии в образце (см. рис.2) угля при бурении является то, что амплитуда измеряемая в условных единицах по отношению к максимально зафиксированной, является стабильной на уровне 90 % в интервале частот 20 Гц-2,4 КГц. При этом практически на всем интервале по времени бурения присутствует эмиссия в интервале 11,2-19,2 кГц. В интервалах 7,5-11,2 и 19,2-20,5 кГц эмиссия отсутствует.

Из рис.3 следует, что сонаправленность тенденции изменения напряженного состояния и скорости бурения присутствует в интервале времени бурения 58-73с. При этом следует отметить, что при снижении напряженного состояния с 27,7 МПа до 26 МПа происходит снижение скорости бурения с 0,37 до 0,08 м/мин, а при увеличении напряжения сжатия с 26 до 26,5 МПа происходит увеличение скорости бурения с 0,08 до 0,14 м/мин. То есть для усредненного напряжения сжатия 27 МПа при снижении напряженности в угле, во время бурения на 6 % происходит снижение скорости бурения на 78 %, а при увеличении напряженности на 2% происходит увеличение скорости бурения на 75 %.

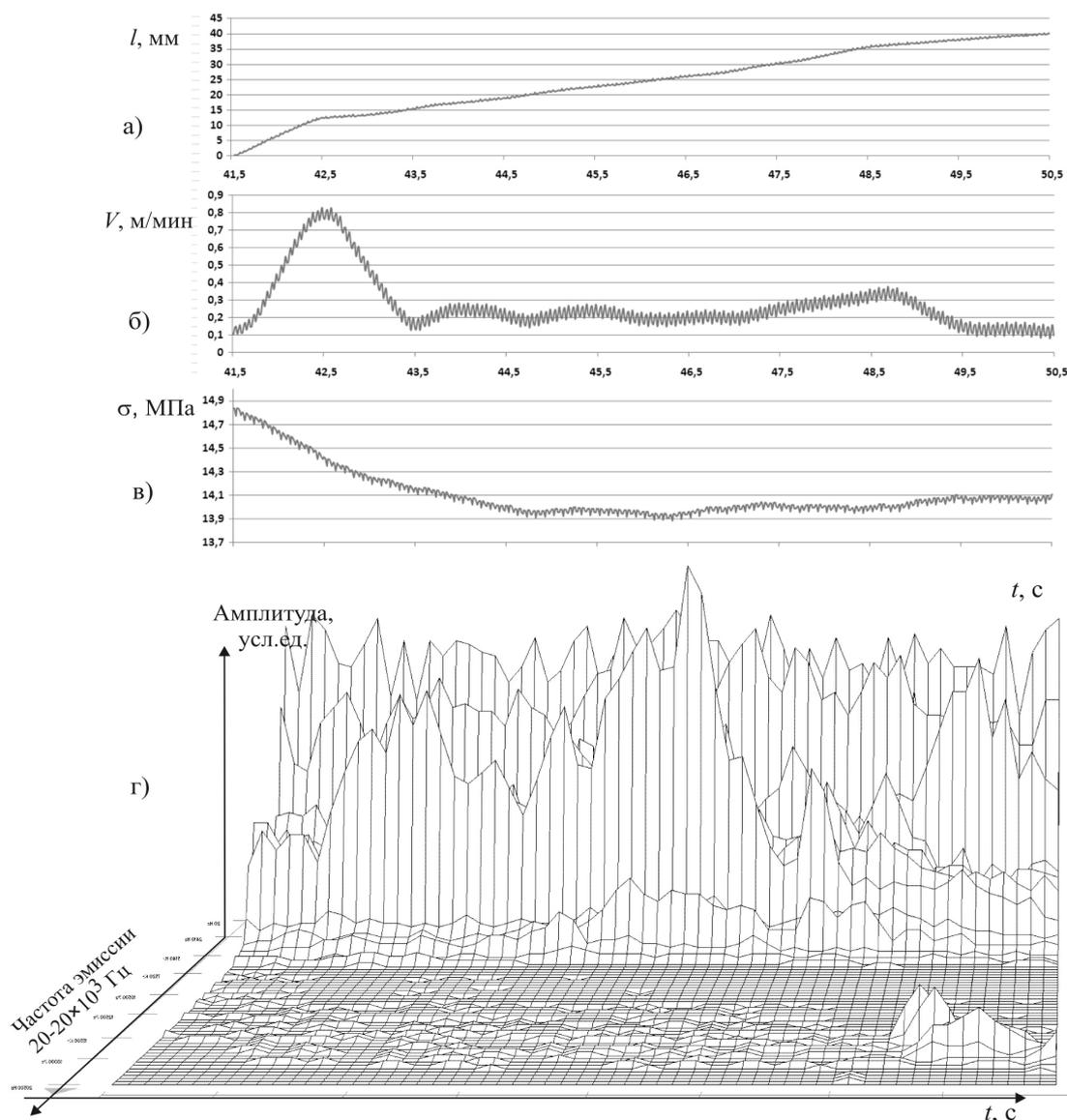


Рис. 2. Изменение параметров при бурении для образца с усредненным напряжением сжатия 14 МПа и давления подачи сверла на забой 3,7 МПа, где *a*, *б*, *в* и *г* – смотрите на рис. 1

Характерной особенностью для спектра акустической эмиссии в образце (см. рис. 3) угля при бурении является то, что амплитуда измеряемая в условных единицах по отношению к максимально зафиксированной, является стабильной на уровне 80 % в интервале частот 20 Гц-2,4 КГц. При этом до середины интервала по времени есть одинокие всплески спектров в районе 10,5 и 15,5 кГц, во второй половине интервала по времени бурения присутствуют хаотично расположенные одинокие всплески спектров эмиссии в интервале 7,5-17,2 кГц с амплитудой около 5 %.

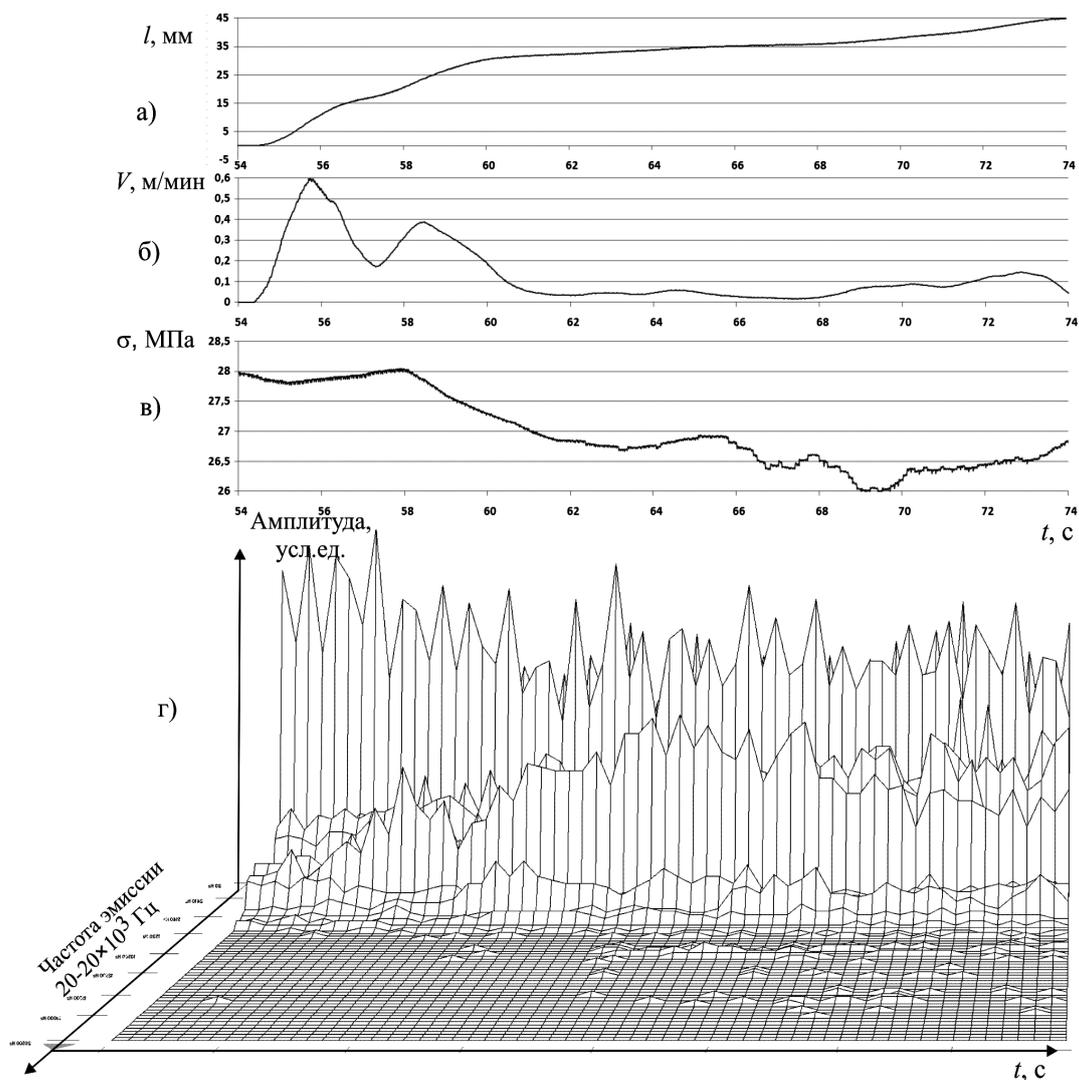


Рис. 3. Изменение параметров при бурении для образца с усредненным напряжением сжатия 27 МПа и давления подачи сверла на забой скважины 1,9 МПа, где *a*, *б*, *в* и *г* – смотрите на рис. 1

Для рис. 4 следует, что изменение напряженного состояния при бурении из всех рассматриваемых случаев было наименьшим. Особенностью этого образца заключается в том, что перед бурением был проведен цикл воздействия на образец – нагрузка до 27 МПа и полная разгрузка, после чего заново была проведена нагрузка образца до уровня усредненного сжатия 27 МПа и осуществлено бурение.

И как следствие циклического воздействия на образец и, соответственно, приведение структуры угля в значительно более нарушенное состояние привело к наиболее стабильному напряженному состоянию образца при бурении из всех ранее рассматриваемых примеров, также по данным акустических исследований следует, что разрушение происходит на разных уровнях – от макро- до микроуровня, спектр эмиссии занимает интервал от 20 Гц до 20 кГц.

При этом при снижении напряженного состояния в результате бурения с 27,67 МПа до 27,65 МПа в интервале времени 273-281 с привело к снижению скорости бурения с 0,35 до 0,15 м/мин, то есть снижение напряженного состояния на 0,1% приводит к снижению скорости бурения на 57%. При этом при увеличении напряженного состояния с 27,67 МПа до 27,69 МПа привело к увеличению скорости бурения с 0,22 до 0,32 м/мин, то есть с увеличением напряженного состояния на 0,1% увеличение скорости бурения составляет 45%. Усредненные результаты по бурению для различных напряжений сжатия образцов угля и усилий подачи сверла на забой скважины представлены в таблице.

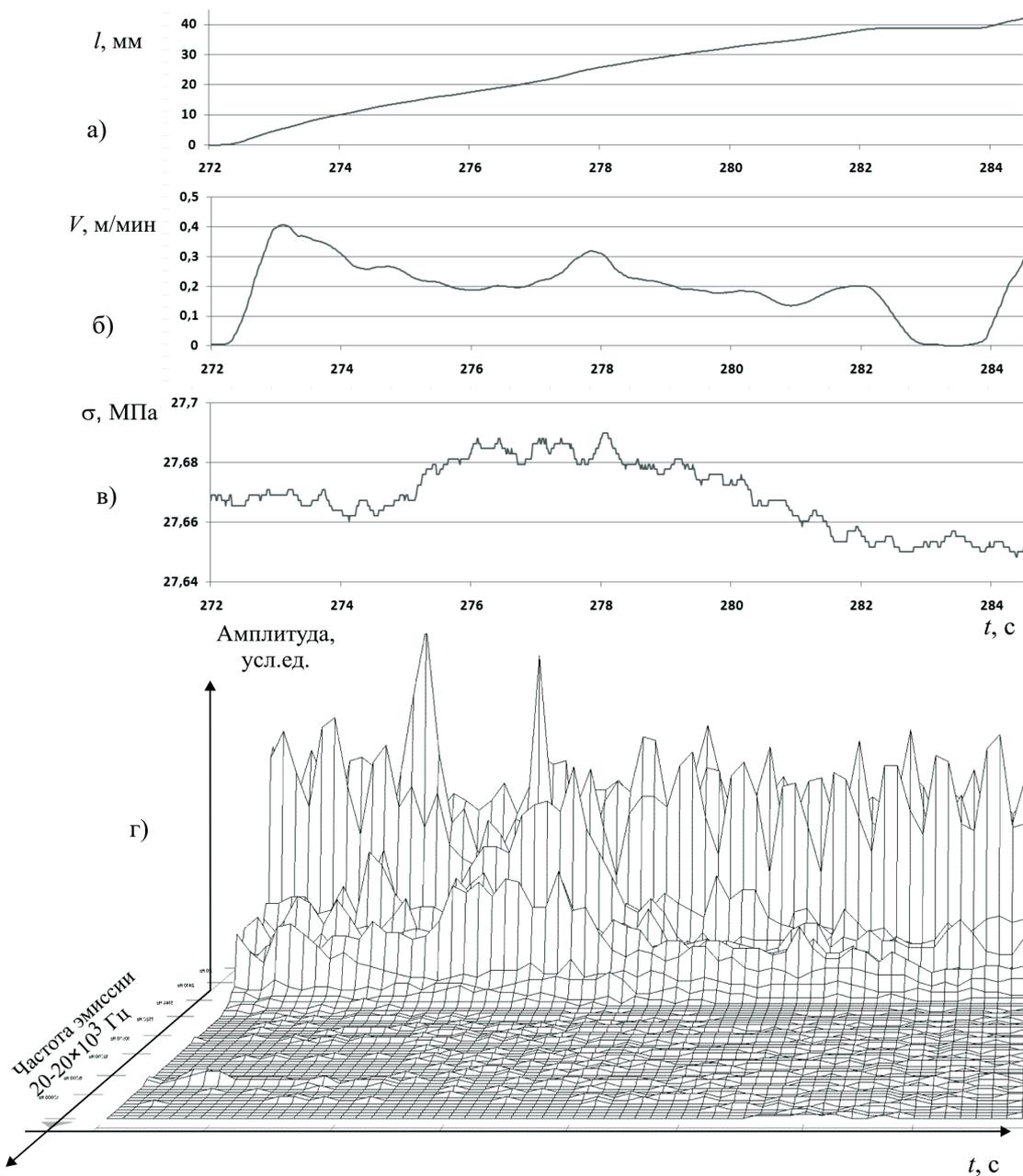


Рис. 4. Изменение параметров при бурении для образца с усредненным напряжением сжатия 27 МПа и давления подачи сверла на забой 3,7 МПа, где *а*, *б*, *в* и *г* – смотрите на рис.1

Из таблицы следует, что наибольшая эффективность бурения наблюдается, когда амплитуда акустической эмиссии является стабильной на уровне 90 % в интервале частот 20 Гц-2,4 КГц, при этом практически на всем интервале по времени бурения присутствует эмиссия в интервале 11,2-19,2 кГц с амплитудой 3,5%. В интервалах 7,5-11,2 и 19,2-20,5 кГц эмиссия отсутствует. При увеличении усредненного сжатия в образце угля с 14 до 27 МПа и давления подачи сверла на забой 1,9 МПа средняя скорость бурения снижается с 0,189 до 0,137 м/мин, т.е. при увеличении напряженности на 50 % средняя скорость бурения снижается на 27 %. При увеличении усредненного сжатия в образце угля с 14 до 27 МПа и давления подачи сверла на забой 3,7 МПа средняя скорость бурения снижается с 0,267 до 0,204 м/мин, т.е. при увеличении напряженности на 50 % средняя скорость бурения снижается на 23 %.

Таблица – Общие результаты по бурению

№рис №обр	Давление $P_{св}$ подачи	Напряжение $\sigma_{сж}$ сжатия	Средняя скорость	Примечания: описание спектра акустического излучения при бурении
--------------	-----------------------------	------------------------------------	---------------------	---

	сверла, МПа	образца, МПа $\sigma_{сж}/P_{св}$	бурения, м/мин	образца
$\frac{3}{5}$	1,9	$\frac{27}{14,21}$	0,137	С середины интервала по времени бурения присутствует акустическая эмиссия в интервале 5,1-17 кГц
$\frac{4}{1}$	3,7	$\frac{27}{7,29}$	0,204	На первой 2/3 интервала по времени бурения присутствует акустическая эмиссия в интервале 5-19кГц, и на последней 1/3 интервала по времени интервал акустической эмиссии увеличивается до 20кГц
$\frac{1}{3}$	1,9	$\frac{14}{7,36}$	0,189	До середины интервала по времени бурения частота эмиссии наблюдается в интервале 20 Гц-7,5 кГц с амплитудой 50%, после этого дополнительно, появляется частота в интервале 12,5-18 кГц с амплитудой до 50 %
$\frac{2}{4}$	3,7	$\frac{14}{3,78}$	0,267	Амплитуда является стабильной на уровне 90 % в интервале частот 20 Гц-2,4 КГц. При этом практически на всем интервале по времени бурения присутствует эмиссия в интервале 11,2-19,2 кГц с амплитудой 3,5%. В интервалах 7,5-11,2 и 19,2-20,5 кГц эмиссия отсутствует.

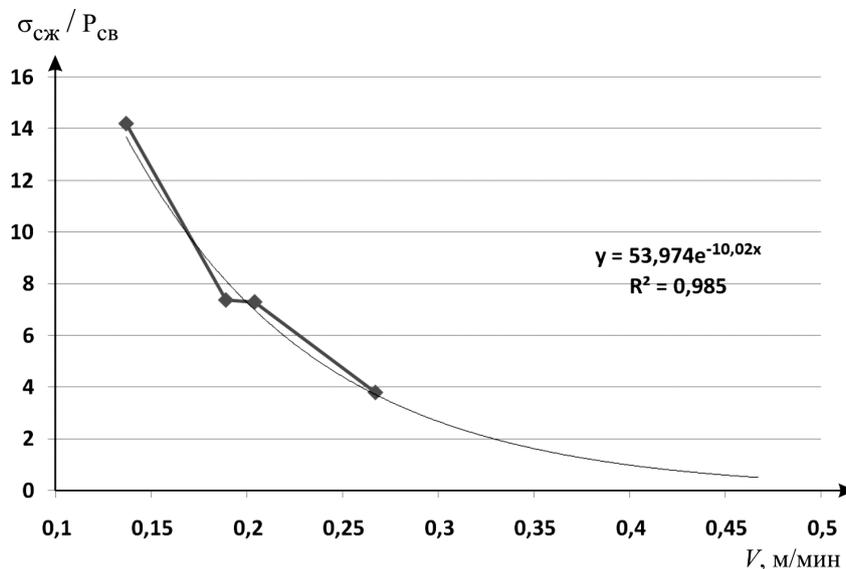


Рис.5. Изменение  $\sigma_{сж}/P_{св}$  от скорости бурения

Также по данным бурения (табл., и рис. 5) наблюдается экспоненциальная зависимость между соотношением усредненного напряжения сжатия угля к давлению подачи сверла на забой скважины и скоростью бурения, которая указывает на то, что для более эффективного бурения необходимо, чтобы давление на забой скважины приближалось к напряжению сжатия угля.

В целом из табл. следует, что при увеличении напряжения сжатия угля средняя скорость бурения снижается, при уменьшении напряжения сжатия скорость бурения увеличивается. Но по данным изменения напряженного состояния угольных образцов во время бурения

наблюдается обратная направленная тенденция изменения скорости бурения – например для рис.3 следует, что для случая увеличения напряженности на 2% происходит увеличение скорости бурения на 75 % при усредненном напряжении сжатия 27 МПа, для рис.2. следует, что при усредненном напряжении сжатия 14 МПа и при уменьшении напряженного состояния во время бурения на 3,5 % скорость бурения снижается на 75 %.

В дальнейшем были исследованы физико-механические характеристики угля пласта  $h'_6$  «Смоляниновский» Шахты имени А.А. Скочинского при его газо- и водонасыщении во время испытания на одноосное сжатие и в предельно напряженном состоянии.

При исследовании физико-механических свойств угля при его газо- и водонасыщении установлено, что для образцов кубической формы для сухого, влажного и газоводонасыщенного угля нарушенного строения предел прочности изменяется соответственно 13,2, 6,0 и 4,2 МПа (рис.6), т.е. предел прочности при увеличении степени флюидонасыщенности снижается по отношению к сухому образцу, соответственно, на 54 % и 68 %, при этом установившийся при нагрузке модуль упругости (рис.6) снижается соответственно на 56 % и 60 %.

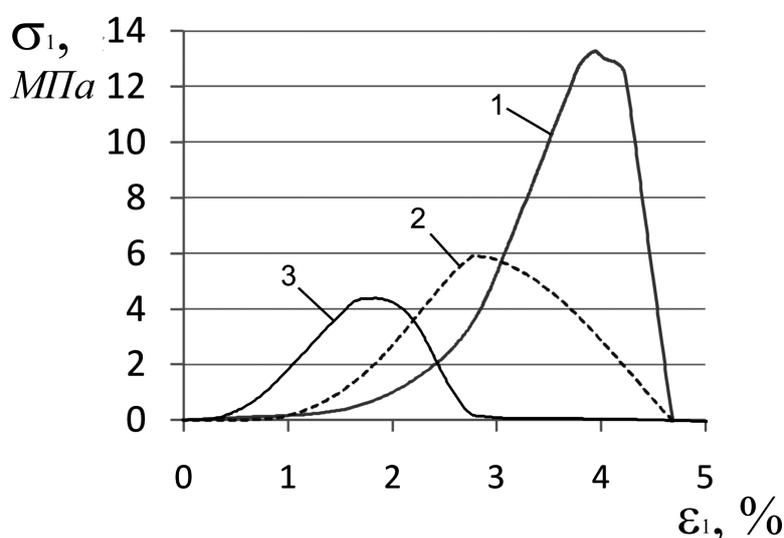


Рис. 6. Изменение предела прочности образцов кубической формы из угля нарушенной структуры пласта  $h'_6$  от степени их флюидонасыщенности: 1 – сухой образец, высушенный при температуре 150°C в течении 1,5 часа; 2 – образец, увлажненный до уровня 1,5%; 3 – образец, увлажненный до уровня 2,1% и газонасыщенный техническим азотом под давлением 10,6 МПа, испытания которого проводились в газовой среде

На начальной стадии нагружения (рис. 7) до уровня 2,7 МПа наибольший модуль упругости наблюдается у газоводонасыщенного образца, среднее значение наблюдается у водонасыщенного и наименьшее у сухого образца. При увеличении нагрузки более 2,7 МПа модуль упругости сухого образца начинает превышать остальные, а среднее и наименьшее значения, соответственно, наблюдаются у водонасыщенного и газоводонасыщенного образцов. Увеличение модуля упругости на начальной стадии нагружения с увеличением степени флюидонасыщенности объясняется тем, что кроме скелета образца нагрузку также начинает принимать га себя и вода в порах угля (для случая влагонасыщенного образца) или вода с газом под давлением (для случая газоводонасыщенного образца угля). Поэтому у газоводонасыщенного образца наибольший модуль упругости на начальной стадии нагружения. Однако после достижения рубежа 2,7 МПа ситуация по модулю упругости изменяется симметрично наоборот, т.к. вода и газ начинают разрушать скелет образца и модуль упругости, для газоводонасыщенного образца, до предела прочности становится наименьшим, для водонасыщенного – средним и для сухого образца – наибольшим. Следует отметить, что при увеличении нагрузки сжатия более 2,7 МПа в сухом образце наблюдаются значительные нестационарные процессы изменения модуля упругости в интервалах

700...1400 МПа при нагружении и -2450...-3500 МПа при разрушении (модуль спада).

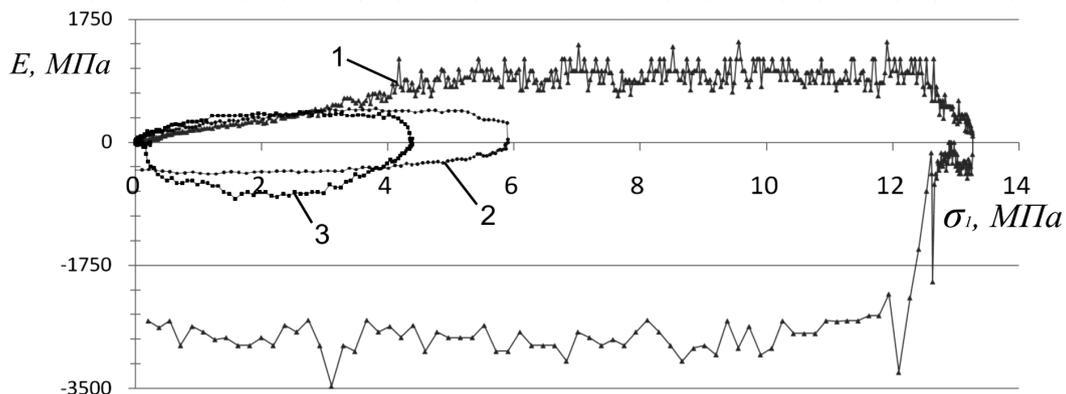


Рис.7. Изменение модуля упругости образцов кубической формы из угля нарушенной структуры пласта  $h'_6$  от степени флюидонасыщенности во время определения прочности на одноосное сжатие: 1, 2, 3 – смотри на рис.6

Особенностью деформирования водонасыщенного образца является то, что при большем значении предела прочности по отношению к газодонасыщенному образцу модуль спада при разрушении у него меньше на 50%, хотя потенциальная энергия сжатия перед разрушением на 50% больше, что указывает на более мягкое разрушение при большем значении потенциальной энергии сжатия (см.рис. 6, 7).

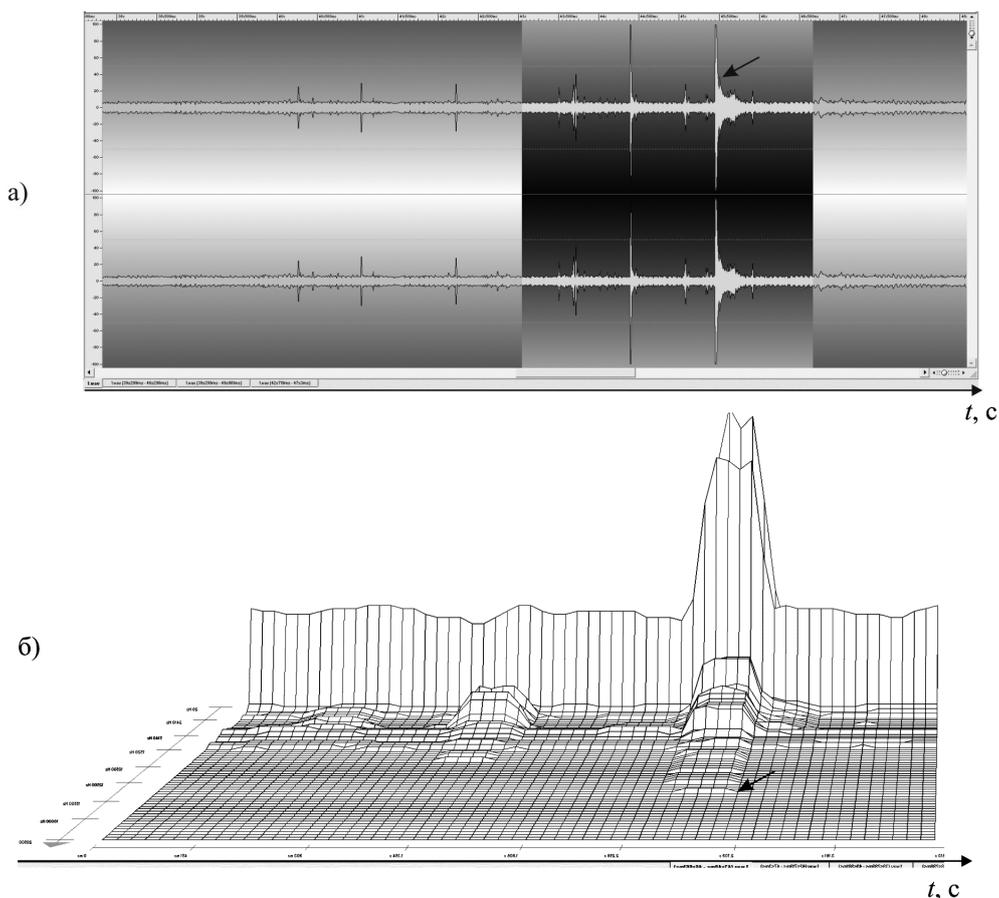


Рис. 8. Акустическая эмиссия (а) и спектр эмиссии (б) перед и во время разрушения образца №1, предел прочности 13,2 МПа (см.рис. 6,7); стрелкой показан момент разрушения

По данным акустической эмиссии по образцу №1 (см.рис. 6-8) видно, что перед разрушением появляются отдельные всплески акустической эмиссии в интервале части от

20 Гц до 9 кГц. Сам процесс разрушения характеризуется интервалом спектра частот от 20 Гц до 15 кГц, который после возникновения исчезает за 0,2с – признак хрупкого разрушения.

Перед разрушением влагонасыщенного образца имею место низкочастотные всплески акустической эмиссии, причем в момент начала разрушения спектр эмиссии затрагивает интервалы частот 1-17 кГц и 18 -19,5 кГц. При этом главным отличием по отношению к сухому образцу является – большое количество акустических событий после достижения предела прочности и частота излучений плавно снижается с 18 до 1 кГц за время 1с, что говорит о значительно более плавном разрушении при достижении предела прочности.

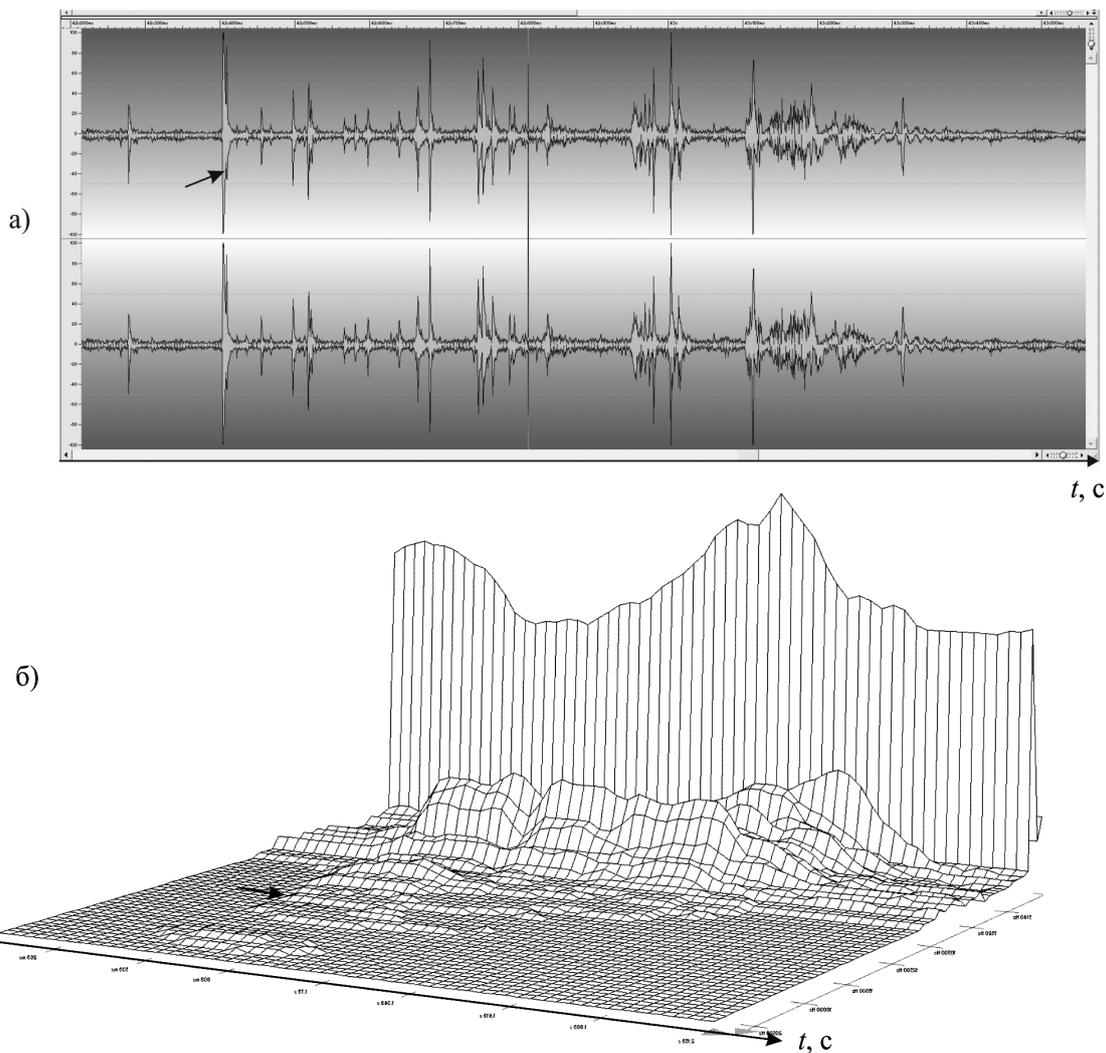


Рис. 9. Акустическая эмиссия (а) и спектр эмиссии (б) перед и во время разрушения образца №2, предел прочности 6 МПа (см.рис.6,7) стрелкой показан момент начала разрушения

Рассматривая рис. 10 для образца 3 (см. рис.6, 7) разрушение, по-видимому, реализуется на таком уровне, что акустическая эмиссия на измеряемом диапазоне не зафиксирована. Для образца 3 следует, что разрушение реализуется на субмикроруровне и акустической эмиссии выше амплитуды помех системы не выявлено, т.е. весь объем несущей части образца разрушается плавно на субмикроруровне с переходом в псевдопластическое состояние за счет энергии газа и этот массовый переход приводит к большому значению модуля спада, чем у водонасыщенного образца и, следовательно – более резкой потери несущей способности при меньшем значении потенциальной энергии сжатия.

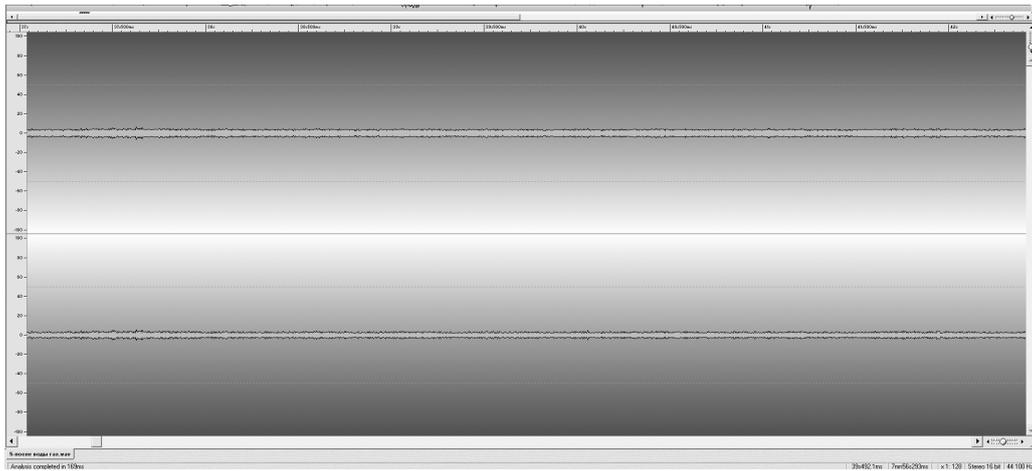


Рис. 10. Акустическая эмиссия для 3-го образца, газодонасыщенного – прочность 4,5 МПа (см.рис.6,7)

В дальнейшем эксперименты проводились с обеспечением предельно напряженного состояния угля по методике [5-7]. При одноосном нагружении пластины с природной влажностью (рис. 11) имело место проявление удара (кратковременное динамическое явление) в образце при уровне напряжений сжатия 47 МПа, после которого сохраняется его несущая способность).

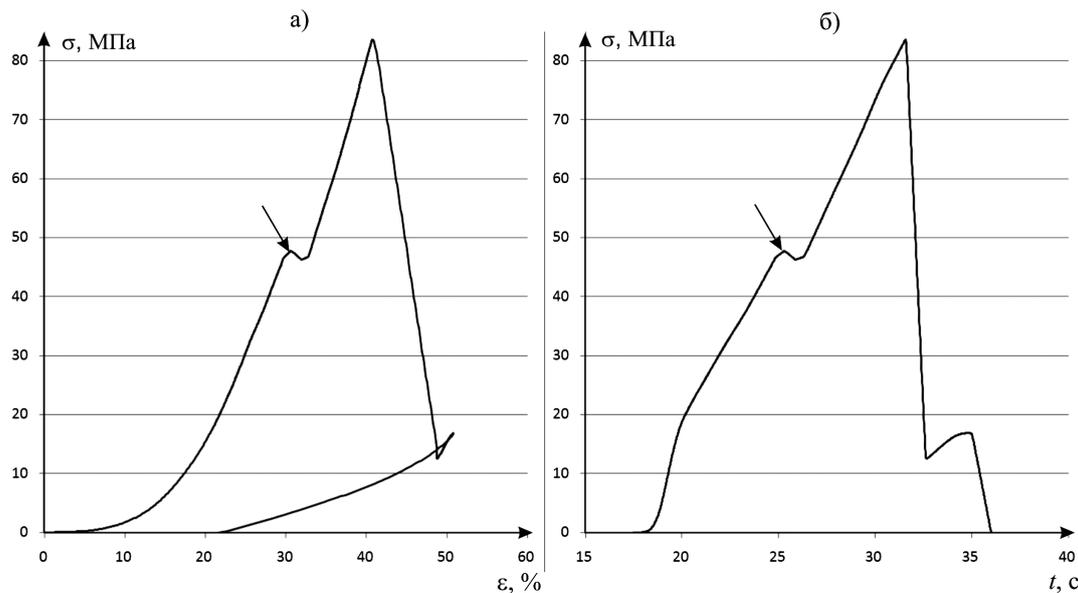


Рис. 11 – Диаграмма напряжение – деформация (а) напряжение – время (б) для образца угля ненарушенной структуры в виде пластины с естественной влажностью, где стрелкой показано начало проявления удара

Следует отметить, что в случае нагружения образца пластины изготовленной из ненарушенного угля с естественной влажностью без газонасыщения перед ударом происходит большое количество акустических событий в интервале частот 4 – 7,5 кГц., сам удар затрагивает интервал частот 20 Гц – 20 кГц, после чего наступает относительное затишье (рис. 12). Удар проявляется двойным всплеском – первый характерен тем, что амплитуда 20 Гц излучения составляет 50 % от максимальной зафиксированной амплитуды излучения с максимальной частотой 20 кГц, тогда как второй всплеск характеризуется для частоты 20 Гц амплитудой 100 % и наибольшей частотой излучения 18 кГц.

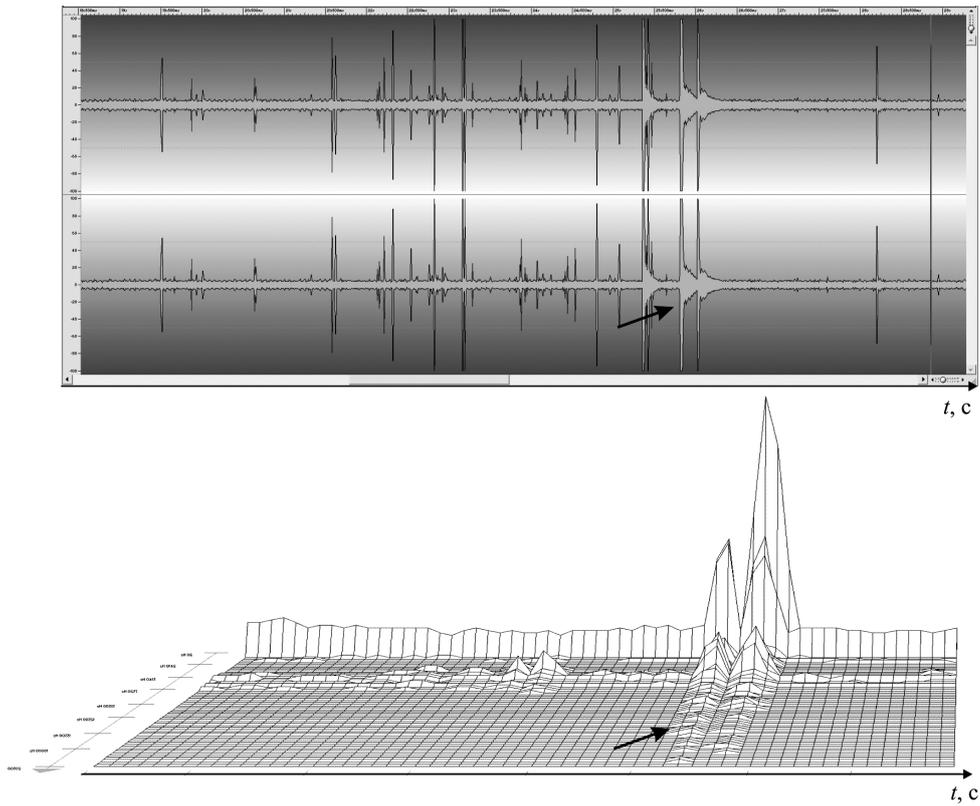


Рис. 12 –Акустическая активность ненарушенной пластины без воды и газа перед разрушением интервал времени 19-29с (см. рис. 11, б); стрелкой показан момент начала проявления удара

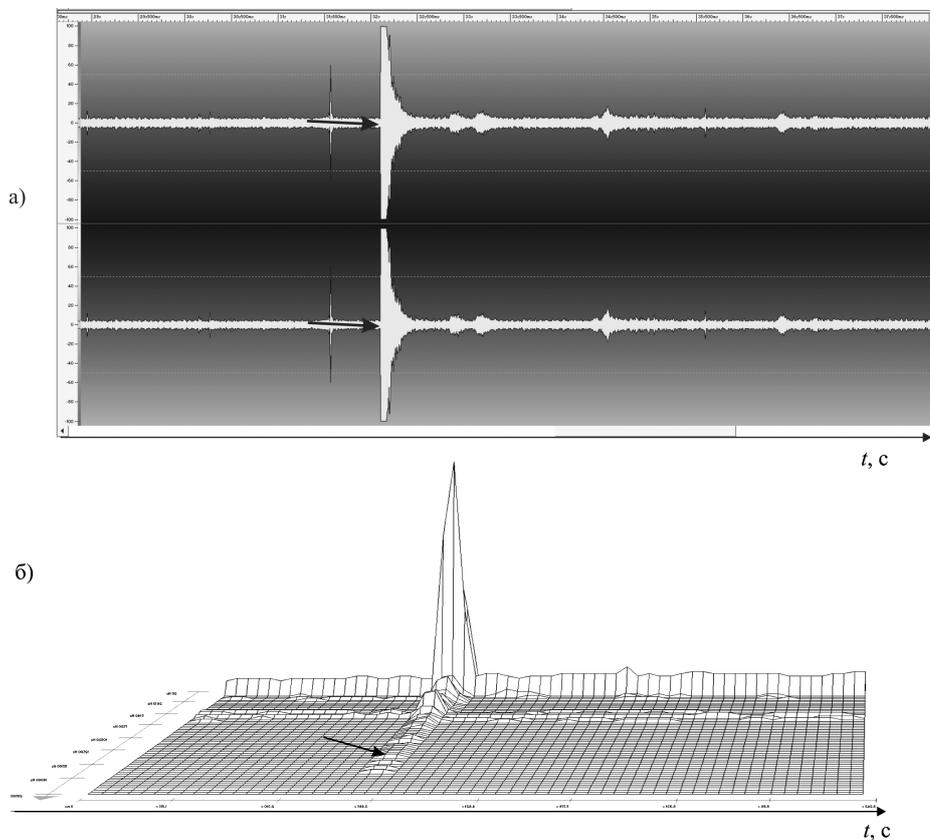


Рис. 13. Акустическая эмиссия при одноосном сжатии дегазированной пластины с естественной влажностью, интервал времени 29-38с (см.рис. 11) стрелкой показан момент начала проявления разрушения

Предел прочности для влагонасыщенной пластины по отношению к образцу пластины с естественной влажностью увеличивается от 83 до 120 МПа, т.е. на 44%. При этом в обоих случаях в процессе нагружения пластин проявлялись идентичные по своей природе акустические события – кратковременные динамические явления (см. рис. 12а, и 15а).

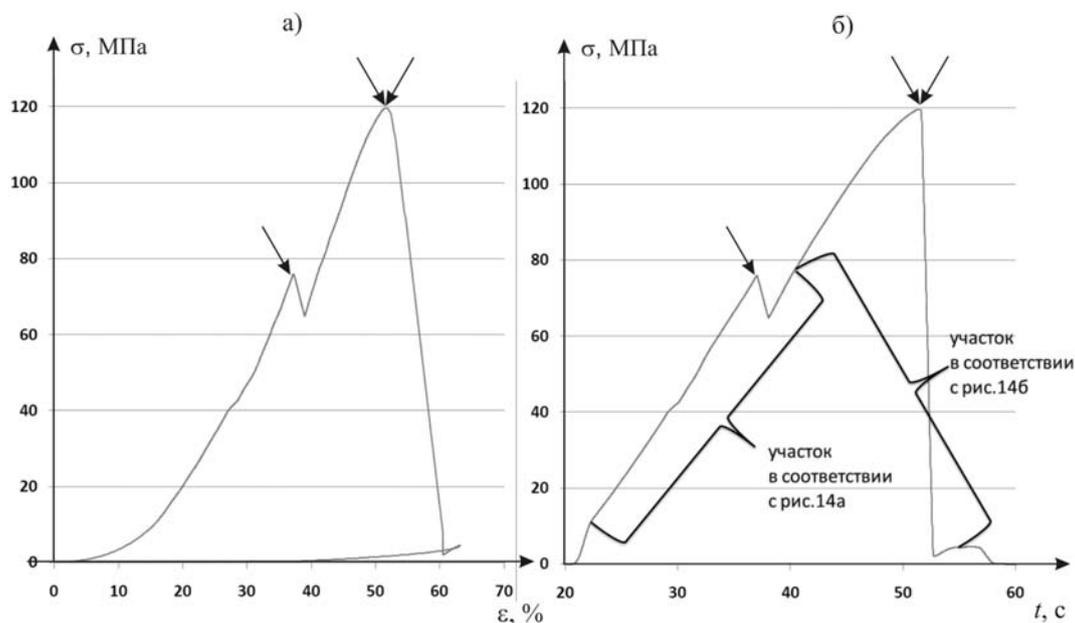


Рис. 14 Диаграмма напряжение – деформация (а) и напряжение – время (б) для образца в виде пластины водонасыщенного угля ненарушенной структуры; стрелкой показан момент начала прочвления удара, двойной стрелкой – предел прочности

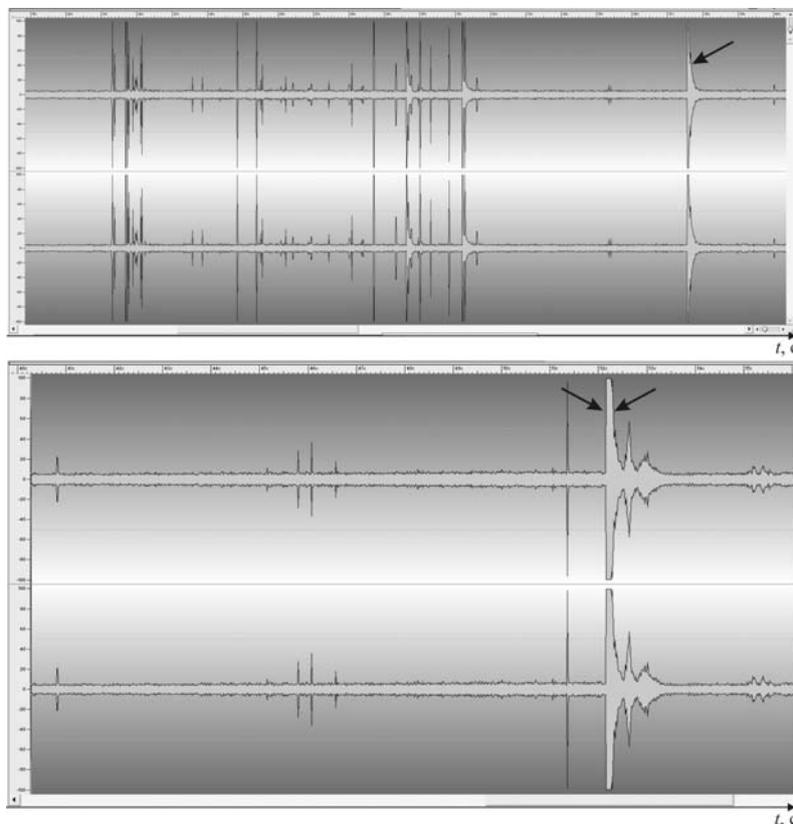


Рис. 15. Акустическая эмиссия водонасыщенного образца ненарушенного угля в виде пластины, где а – интервал времени 19-40с; б – интервал времени 40-56с (см. рис. 14)

При одноосном нагружении влагонасыщенной пластины имело место проявление удара в образце при уровне напряжений сжатия 75 МПа, т.е. уровень, по напряжению сжатия, проявления удара увеличивается на 59% от 47 МПа (для угля ненарушенной структуры с природной влажностью) и, следовательно, уровень выбросоопасности снижается.

Из рис. 15 следует, что акустическая эмиссия водонасыщенной и ненасыщенной для ненарушенной пластины идентичны, с той лишь разницей, что проявление удара в водонасыщенном угле происходит при более высоком напряжении сжатия.

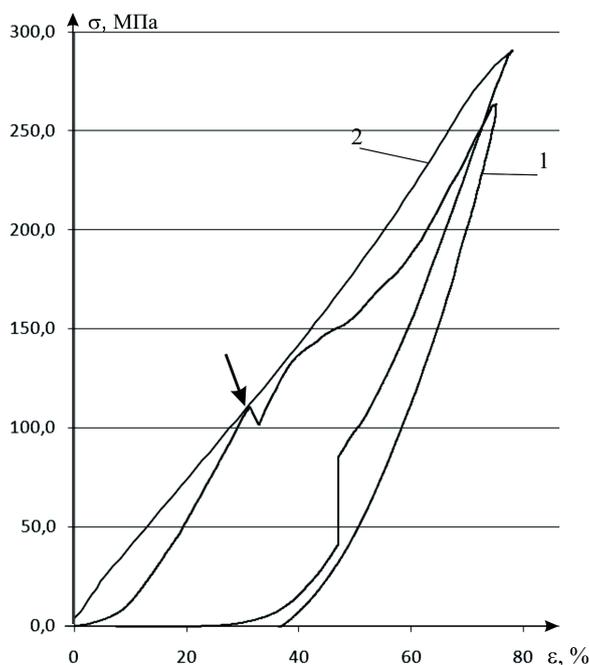


Рис. 16. Диаграмма напряжение – деформация газоводонасыщенной пластины ненарушенного угля, где 1 – диаграмма нагружения с проявлением удара без достижения предела прочности; 2 – диаграмма повторного нагружения без достижения предела прочности и резкой разгрузки за 0,2с

Анализ графиков на рис. 16 показывает, что для газоводонасыщенной пластины угля ненарушенной структуры предел прочности не был достигнут на уровне 262 МПа, при этом при напряжении сжатия 108 МПа в образце был зафиксирован удар. Динамического разрушения не было зафиксировано при повторной нагрузке и резкой разгрузке за 0,2с (график 2 на рис 16). Наибольшие напряжения сжатия, при которых было проявление ударов во время деформировании пластин имело место при сжатии газоводонасыщенного угля, а для угля с естественной влажностью и водонасыщенного уровень напряжений был меньше на 56% и 44%, соответственно.

Для пластин нарушенной структуры из водонасыщенного угля и углей с естественной влажностью предел прочности составлял 90 МПа и 220 МПа соответственно, т.е предел прочности нарушенного угля с естественной влажностью больше предела прочности влагонасыщенного нарушенного угля на 60 %. При этом во время нагружения влагонасыщенных пластин угля были зафиксированы незначительные по амплитуде акустические события, которые являлись следствием процесса шелушения – послонного отрыва частиц краевой части предельно напряженного угля. А для газоводонасыщенной пластины угля нарушенной структуры предел прочности не был достигнут при нагружении до 320 МПа, при этом акустических событий не было выявлено при нагружении и резкой разгрузке за 0,2с.

Таким образом для проб угля ненарушенной и нарушенной структуры пласта  $h'_6$  одновременное газо- и водонасыщение снижает вероятность динамического разрушения. А для дегазированного и водонасыщенного нарушенного угля вероятность динамического разрушения

пластин увеличивается. На практике при наличии геологических данных о состоянии угля на участке шахты (нарушенный или ненарушенный) для ненарушенного угля следует реализовать обеспечение одновременно двух процессов – дегазацию и водонасыщение, т.е. выполнения методики соответствующих противовыбросных мероприятий в виде гидрорыхления. Если уголь нарушенный, то необходимо придерживаться оптимальной газодонасыщенности для предельно напряженного пласта при проведении противовыбросных мероприятий, т.е. применение только утвержденных на шахте гидравлических мероприятий, по нашему мнению, не сможет обеспечить необходимую безопасность. Поэтому в зонах нарушений углепородного массива целесообразно рекомендовать ведение работ в режиме сотрясательного взрыва в замен гидрорыхления.

Динамическое увеличение (уменьшение) напряженного состояния предельно напряженного угля приводит соответственно к увеличению (уменьшению) скорости бурения. При этом в случае увеличения стационарного поля напряженности происходит снижение скорости бурения при прочих равных условиях (усилия подачи сверла на уголь и мощности буровой установки).

Важным фактором в описанных экспериментах является прямо противоположные характеристики в случае рассмотрения отдельно условий напряженности массива в целом (стационарное поле напряженности, заложенное природой) и влияние изменения напряженности угля во время бурения на его скорость. Например, при увеличении напряженности выбросоопасного пласта производительность бурения снижается, но если обеспечить увеличение напряженности угля во время бурения, происходит существенное увеличение производительности бурения. То есть для увеличения производительности бурением на выбросоопасных пластах, перед бурением скважины необходимо снизить напряженность призабойной части пласта, например с помощью механизированных крепей, а по мере углубления забоя скважины вглубь пласта необходимо пригружать забой пласта планомерным спуском гидравлического давления в двух-четырёх механизированных крепях расположенных напротив устья буримой скважины. В работе [8] выполнено обоснование этого предложения.

#### Список литературы

1. Минеев С.П. Повышение эффективности гидрорыхления выбросоопасных угольных пластов / С.П. Минеев, А.А. Потапенко, Т.Я. Мхатвари и др. – Донецк: Сідний видавничий дім, 2013. – 216с.
2. Зорин А. Н. Управление динамическими проявлениями горного давления. / А.Н. Зорин – М.: Недра, 1978.- 175 с.
3. Bieniawski Z.T. Mechanism brittle fracture of rock // Int. J. Rock. Nech. Vin. Sci. – 1967. – 4. – P. 395 – 430.
4. Виноградов В.В. Геомеханика управления состоянием массива вблизи горных выработок / В.В. Виноградов. – Киев: Наукова думка, 1989 – 192 с.
5. Дякун Р.А. Определение особенностей процесса образования тонкодисперсных фракций угля при его динамическом разрушении: автореф. дис. канд.техн.наук: 05.15.09 / Р.А. Дякун; ИГТМ НАН Украины. – Дн-вск, 2011. – 20 с.
6. Кияшко, Ю.И. Закономерности разрушения угольного вещества за традиционно определяемыми пределами прочности/ Ю.И. Кияшко, Р.А. Дякун / Деформирование и разрушение материалов с дефектами и динамические явления в горных породах и выработках : матер. XVII Межд. науч. школы / ТНУ. – Симферополь, 2007. – С.134-136.
7. Дякун Р.А. Исследование физико-механических характеристик горных пород при их флюидонасыщении / Р.А. Дякун, В.Я. Осенний, В.Н. Светличный // Деформирование и разрушение материалов с дефектами и динамические явления в горных породах и выработках: матер. XXII Межд. науч. школы. – Симферополь, 2013. – С. 106-108.
8. Мінеєв С.П. Шматовський Л.Д., Дякун Р.А., Зайцев М.С.Спосіб управління механізмовим кріпленням очисного вибою / С.П. Мінеєв, Л.Д. Шматовський, Р.А. Дякун, М.С. Зайцев // Патент на корисну модель № 89965, Бюл. №9, 12.05.2014 р. – 4 С.