

УДК 550.8.05:552.08

## Анализ некоторых способов оценки трещинной пористости

В.С. Жуков<sup>1\*</sup>, В.В. Моторыгин<sup>1</sup>

<sup>1</sup> ООО «Газпром ВНИИГАЗ», Российская Федерация, 142717, Московская обл., Ленинский р-н, с.п. Развилковское, пос. Развилка, Проектируемый пр-д № 5537, вл. 15, стр. 1

\* E-mail: V\_Zhukov@vniigaz.gazprom.ru

**Тезисы.** Существуют разнообразные методы определения трещинной пористости. Но, к сожалению, некоторые из них, например метод изучения шлифов, позволяют определять величину трещинной пористости только для очень малого (непредставительного) объема горной породы. Капиллярная пропитка пород люминофором (метод К.И. Багринцевой) довольно эффективна, но трудоемка и требует специальной подготовки образцов.

Основной недостаток метода определения трещинной пористости по данным волнового акустического каротажа и плотностного гамма-гамма каротажа при двух значениях плотности бурового раствора – невысокая точность. Обусловлено это отсутствием достоверных данных о коэффициенте сжимаемости матрицы и методов его определения в реальных условиях залегания пород, а также надежных данных о зависимости коэффициента сжимаемости пластов от изменений плотности бурового раствора в скважине.

Предложенный авторами способ определения трещинной пористости по данным о скоростях распространения продольных волн подходит для исследования образцов близкого, мало изменяющегося минералогического состава и может дать дополнительные количественные данные о трещинной и межзерновой пористости.

При разработке месторождений углеводородов в основном используются такие свойства пород-коллекторов нефти и газа, как пористость и проницаемость. Пористость характеризует объем флюидов (запасы газа, нефти) в горной породе, проницаемость – возможность извлечения (добычи) флюидов (нефть, газ). В формировании объема горных пород, содержащего флюиды, кроме пор принимают участие трещины. Фильтрация флюидов тоже идет и через межзерновые поры, и через трещины.

Большинство горных пород, особенно в верхних слоях земной коры, имеют некоторое количество трещин. Трещина – это разрыв сплошности горной породы, характеризующийся тем, что длина одной из его ортогональных проекций (раскрытие трещины) в сотни раз меньше, чем длины двух остальных (простираение плоскости трещины в двух направлениях). В зависимости от расположения фронта трещины относительно приложенной нагрузки различают три типа трещин: отрыва, сдвига и среза (рис. 1) [1].

Трещины появляются в породе, когда ее механическая прочность недостаточна, чтобы противостоять механическим напряжениям, возникающим вследствие

**Ключевые слова:** трещина, пористость, межзерновая пористость, трещинная пористость, скорость упругой волны, пластовые условия.

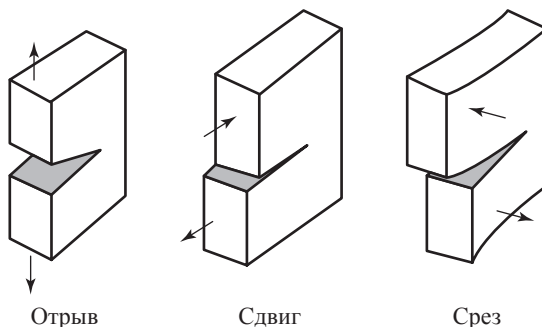


Рис. 1. Основные типы трещин в горных породах

естественных геологических процессов или под действием техногенных факторов, таких как бурение или отбор флюидов из пластов [2].

Все известные коллекторы нефти и газа по сведениям о пористости и проницаемости горных пород можно подразделить на две большие группы: межгранулярные (поровые) и трещинные. Главное их отличие в том, что емкость и фильтрационные свойства межгранулярных коллекторов (чаще всего песчаников) определяются в основном структурой порового пространства, тогда как в трещинных коллекторах фильтрация нефти и газа обуславливается главным образом трещинами. Основной емкостью для трещинных коллекторов служат те же межзерновые поры, что и для межгранулярных. Но зачастую и в межгранулярных коллекторах есть некоторое количество трещин, а трещинные коллекторы имеют межзерновые поры.

Под общей пористостью трещиноватой породы следует понимать отношение суммарного объема пустот в породе к объему этой породы. Очевидно, что при определении коллекторских свойств пород решающую роль играет не трещинная, а межзерновая пористость. В общей емкости трещинного коллектора доля объема самих трещин, как правило, незначительна (обычно не превышает 0,5 %) и возрастает (изредка достигая 1,5–6 %) лишь в зонах дробления горных пород вблизи дизъюнктивных дислокаций. При определении пористости (емкости) трещиноватых пород для подсчета запасов основное внимание должно уделяться изучению именно межзерновой пористости. Однако когда межзерновая пористость равна первым единицам процента, а трещинная превышает 1 %, необходимо учитывать и трещинную пористость.

Трещинные коллекторы характеризуются разнообразием и сложностью строения, а также наличием микротрещин, которые имеют основополагающее значение с точки зрения фильтрации флюидов. Ширина трещин, по которым происходит фильтрация флюидов, обычно колеблется от 0,5 до 30 мкм.

Пустоты, имеющиеся в трещиноватых породах и определяющие тип коллектора, зачастую сообщаются между собой благодаря широко развитой в коллекторе сети микротрещин. Природные коллекторы весьма разнообразны по строению и чаще всего представлены смешанными типами с преобладанием того или другого основного типа.

В горных породах распространены преимущественно две системы трещин: простирающиеся одной, как правило, совпадает с простираемостью слоев, второй – с направлением падения слоев. Иногда появляются диагонально направленные по отношению к первым системам трещин. При изучении трещин в шлифах отмечено, что микротрещины развиты в той или иной мере во всех литологических разностях горных пород. Наиболее важным, но малоизученным параметром трещиноватости горных пород является раскрытие трещин. В зависимости от раскрытия микротрещины делятся на очень узкие (капиллярные) шириной 0,005–0,01 мм; узкие (субкапиллярные) – 0,01–0,05 мм; широкие (волосные) – 0,05–0,15 мм и более.

**Методы изучения трещинной пористости** делятся на лабораторные и геофизические, которые в свою очередь дифференцируются соответственно методам исследований скважин (каротажа сопротивления, акустического каротажа, микрозондирования, кавернометрии). Лучше всего известны следующие способы оценки трещинной пористости горных пород:

- 1) в шлифах под микроскопом [3];
- 2) методом капиллярного насыщения горных пород люминесцирующими жидкостями (автор – К.И. Багринцева);
- 3) по данным волнового акустического (ВАК) и плотностного гамма-гамма (ГТК) каротажа при двух значениях плотности бурового раствора [4];
- 4) по данным о скорости упругих волн [5, 6].

**Изучение трещинной пористости в шлифах под микроскопом.** Для расчета параметров трещиноватости измеряются площадь шлифа ( $F$ , мм<sup>2</sup>), суммарная длина ( $l$ , мм) следов трещин, выходящих на поверхность шлифа, и их раскрытие ( $b$ , мкм) (рис. 2).  $F$  измеряется линейкой или палеткой;  $b$  – линейным окуляр-микрометром с любым объективом путем нескольких замеров на различных участках трещины (за расчетную ширину принимается наиболее часто встречающееся значение);  $l$  – линейным окуляр-микрометром или окуляром с крестом нитей.

По результатам измерений  $b$ ,  $l$  и  $F$  производится подсчет параметров трещиноватости по формулам, разработанным во ВНИГРИ экспериментальным путем на опытах в открытых щелях, имитирующих трещины разного раскрытия и ориентации [3].

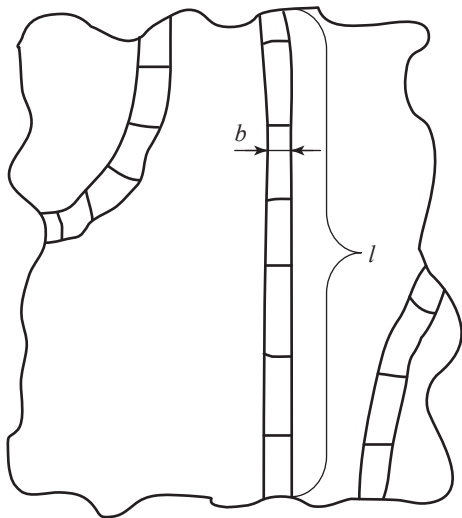


Рис. 2. Схема определения параметров трещинной пористости в шлифах

$$T_o = 1570l / F; \quad (1)$$

$$K_{п.тр} = 0,1(b \cdot l) / F; \quad (2)$$

$$K_{пр.тр} = A[(b^3 \cdot l) / F], \quad (3)$$

где  $T_o$  – объемная плотность трещин,  $\text{м}^{-3}$ ;  $K_{п.тр}$  – коэффициент трещинной пористости, %;  $K_{пр.тр}$  – коэффициент трещинной проницаемости,  $10^{-3}$   $\text{мкм}^2$ . В зависимости от геометрии систем трещин коэффициент  $A$  принимает следующие значения:

- 0,0342 при одной системе горизонтальных по отношению к слоистости трещин;
- 0,0171 при двух взаимно перпендикулярных системах вертикальных трещин;
- 0,0228 для трех взаимно перпендикулярных систем трещин;
- 0,0171 в случае хаотического расположения трещин.

Для получения представительных данных о параметрах трещинной пористости приходится проводить трудоемкую работу по изготовлению большого количества шлифов, отражающих особенности строения представительного объема горных пород. Обусловлено это тем, что, к сожалению, исследование единичных шлифов позволяет изучать только небольшие, зачастую неrepresentative объемы породы.

**Метод капиллярного насыщения горных пород люминесцирующими жидкостями (К.И. Багринцевой)** разработан и использовался для оценки особенностей строения сложного пустотного пространства карбонатных

коллекторов [7, 8]. Он основан на использовании нескольких физических явлений – капиллярного насыщения, эффекта сорбции и люминесценции вещества в источнике ультрафиолетового света – и включает ряд операций:

- изготовление ориентированного кубика с длиной грани 5 см;
- насыщение под вакуумом образца люминофором, снятие фона с граней кубика;
- обработку поверхности граней сорбентом для проявления различных видов открытых пустот, имеющих в коллекторе;
- последовательное фотографирование каждой грани образца и его общего вида в источнике ультрафиолетового света;
- определение по полученным фотоснимкам количественных параметров, а именно ориентации, раскрытия и поверхностной плотности трещин.

Особенно полезен этот метод для качественной и количественной характеристики трещиноватых пород, дифференциации заполненных («минерализованных») и открытых трещин, выявления каверн и оценки значимости каверн и трещин с точки зрения емкости и проницаемости. Преимущество метода заключается в возможности контрастного выявления открытых зияющих трещин, установления их морфологии и взаимосвязанности, определения соотношений пор, каверн и трещин в общем объеме пустот.

По сути, капиллярная пропитка карбонатных пород органическими жидкостями аналогична природному явлению заполнения горных пород углеводородами. Преимущество метода заключается в том, что насыщающая жидкость, проникая под вакуумом в пустотное пространство, заполняет лишь открытые трещины, каверны и поры и удерживается внутри образца кубической формы под действием молекулярно-поверхностных сил. Емкость пустот различного вида определяется аналогично пористости.

Метод К.И. Багринцевой основан на капиллярном проникновении индикаторной жидкости – люминофора – в мельчайшие открытые полости трещин или каверн, сохранении ее внутри образца, а после снятия фона проявления люминесцирующей жидкости за счет эффекта сорбции. Чем больше суммарный объем внутренних пустот, тем интенсивнее проявляется люминофор под действием сорбента на гранях кубика. Естественно, что движение

жидкости происходит по пустотам и трещинам, которые сообщаются с поверхностью. Под воздействием ультрафиолета пустоты излучают ярко-зеленый свет.

Трещиноватость и пористость выделяются по интенсивности свечения, так как темный фон непроницаемых участков породы резко контрастирует с нарушенными участками. Для получения более четкой фотографии необходимо снять поверхностный слой, покрывающий образец, поскольку кубик насыщался люминофором под вакуумом; после удаления внешней пленки с граней образца люминофор за счет эффекта сорбции «вытягивается» на поверхность образца по зияющим трещинам; тогда проявляются следы всех связанных с внутренним объемом пустот (рис. 3).

Образец фотографируется в натуральную величину, обязательно в полной темноте и при наличии сильного источника ультрафиолетового света. Верхняя и нижняя грани перпендикулярны оси керна; остальные грани параллельны напластованию. Основное преимущество метода капиллярной пропитки заключается в возможности дифференциации пустотного пространства: выявляются поры, каверны и зияющие на поверхности образца открытые трещины, внутренний объем которых заполнен люминофором. Одновременно на ненасыщенном кубике выделяются минерально заполненные трещины: они недоступны для проникновения люминофора вследствие чего после пропитки не светятся. Очень важный момент – выявление ориентации и раскрытия трещин.

Известен способ определения трещинной пористости по данным ВАК с регистрацией полного волнового сигнала и плотностного ГГК при двух значениях плотности бурового раствора с использованием формулы



**Рис. 3. Преобладание тонких горизонтальных трещин, определяющих анизотропию проницаемости по направлениям [8]**

эффективной сжимаемости коллекторов сложного типа [4]:

$$K_{п.пр} = \frac{(\beta_m - \beta_n)\Delta P}{\text{Ln} \left( \frac{\beta_n - \beta_m}{\beta'_n - \beta_m} \right)}, \quad (4)$$

где  $\beta_n$  и  $\beta'_n$  – коэффициенты сжимаемости пласта, рассчитываемые через скорости распространения продольных и поперечных волн по ВАК и эффективную плотность пород, определяемую по ГГК при двух величинах плотности бурового раствора;  $\beta_m$  – коэффициент сжимаемости матрицы (блока) породы, с наибольшей достоверностью определяемый по данным ВАК и ГГК на плотных нетрещиноватых участках разреза;  $\Delta P$  – изменение плотности бурового раствора перед повторным исследованием.

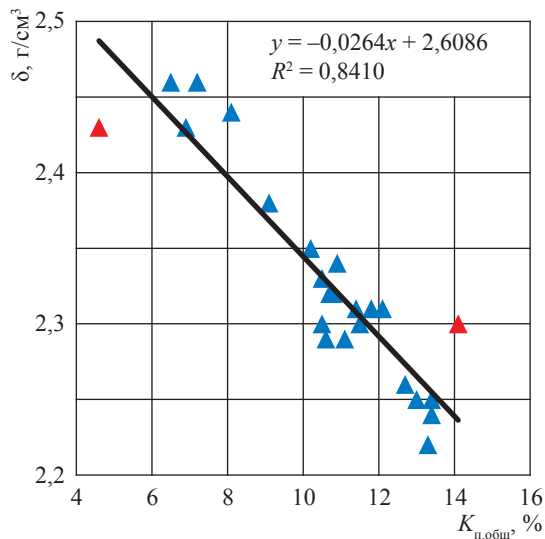
Основным недостатком данного способа является невысокая точность определений из-за отсутствия достоверных данных о коэффициенте  $\beta_m$  и методов его определения в реальных условиях залегания пород, а также отсутствие надежных данных о зависимости коэффициента сжимаемости пласта от изменений плотности бурового раствора в скважине.

**Способ определения трещинной пористости по данным о скорости упругих волн.** Наиболее практичным, по мнению авторов, является способ определения трещиной пористости [5], предполагающий измерение скорости распространения продольной волны в исследуемой породе в условиях, моделирующих пластовые, и расчет значения трещинной пористости по формуле

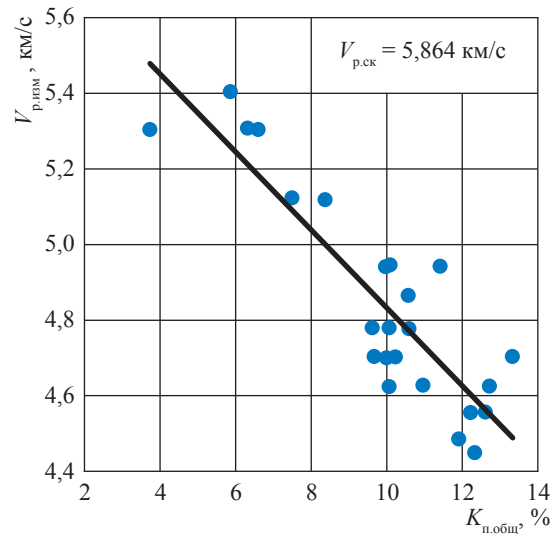
$$K_{п.тр} = [(100 - 1,6K_{п.общ} - 100(V_{р.изм} / V_{р.ск}))] \div 20,4, \quad (5)$$

где  $K_{п.общ}$  – коэффициент общей (открытой) пористости образца, экспериментально определенный методом жидкостенасыщения по ГОСТ 26450.1-85, %;  $V_{р.изм}$  – скорость распространения упругой продольной волны в образце, измеренная методом прозвучивания по ГОСТ 21153.7-75<sup>1</sup>, км/с;  $V_{р.ск}$  – скорость распространения упругой продольной волны

<sup>1</sup> ГОСТ 26450.1-85. Породы горные. Метод определения коэффициента открытой пористости жидкостенасыщением. – М.: Госстандарт СССР, 1985; ГОСТ 21153.7-75. Породы горные. Метод определения скоростей распространения упругих продольных и поперечных волн. – М.: Госстандарт СССР, 1981.



**Рис. 4. Зависимость плотности образца от его пористости в целом по всей коллекции образцов (24 шт.) горных пород:  $R^2$  – степень достоверности аппроксимации**



**Рис. 5. Зависимость скорости распространения упругой продольной волны в горной породе от пористости породы (для полной коллекции из 24 образцов породы) в пластовых условиях**

в минеральном скелете исследуемой породы (при  $K_{п.общ} = 0,0 \%$ ), км/с.

Межзерновую пористость определяют как разность значений общей и трещинной пористости:

$$K_{п.мз} = K_{п.общ} - K_{п.тр} \quad (6)$$

Основной недостаток способа [5] в том, что значение скорости распространения упругой продольной волны в минеральном скелете породы определяется статистическими или расчетными методами. При этом из-за неоднородности минерального состава образцов в исследуемой коллекции для некоторых из образцов  $K_{п.тр}$  иногда приобретает отрицательные значения, что не имеет физического смысла. Избежать этого можно предварительно исключив из рассмотрения образцы с существенно отличающимся минералогическим составом (их выявляют по отклонению от аппроксимирующей кривой зависимости «плотность  $\delta$  – пористость  $K_{п.общ}$ »).

**Пример 1.** Для предварительного исключения из рассмотрения образцов с существенно отличающимся минералогическим составом составляется график зависимости «плотность – пористость» [9]. Анализ графика позволяет выделить те образцы, которые значительно – более чем на 2 % – отличаются

от аппроксимирующей линии. На рис. 4 такие образцы выделены красной заливкой (далее в табл. 1 см. образцы 3 и 4). В дальнейшем их можно исключить из анализа.

Значения  $K_{п.общ}$  и  $V_{п.izm}$  определяются для каждого из образцов в термобарических условиях, моделирующих пластовые. Далее для всей исследуемой коллекции образцов горных пород устанавливают значение  $V_{п.ск}$  при  $K_{п.общ} = 0,0 \%$ . Аппроксимируя данные (рис. 5,  $V_{п.ск.стат} = 5,864$  км/с), получают уравнение зависимости скорости распространения упругой продольной волны от пористости при моделировании пластовых условий:

$$V_{п.пл} = 0,103 K_{п.общ} + 5,864, R^2 = 0,777. \quad (7)$$

Далее для каждого из исследованных образцов горной породы по уравнению (5) определяют значение  $K_{п.тр}$  (см. табл. 1). Видно (см. ст. 6), что для некоторых образцов получены отрицательные значения  $K_{п.тр}$ , что может быть обусловлено неточным определением скорости продольной волны в скелете (ее занижением).

Образцы отбраковываются не по критерию положительности или отрицательности значения  $K_{п.тр}$ , а по критерию однородности минералогического состава [6]. При однородном минералогическом составе коллекции

Таблица 1

Результаты определения трещинной  $K_{п.тр}$  и межзерновой  $K_{п.мз}$  пористости горных пород

№ образца	$K_{п.общ}$ , % атмосферные условия	$d$ , г/см <sup>3</sup>	Пластовые условия					
			$K_{п.общ}$ , %	$V_{р.изм}$ , км/с	$V_{р.ск} = 5,864$ км/с		$V_{р.ск} = 6,080$ км/с	
					$K_{п.тр}$ , %	$K_{п.мз}$ , %	$K_{п.тр}$ , %	$K_{п.мз}$ , %
1	2	3	4	5	6	7	8	9
1	7,2	2,46	6,61	5,30	-0,050	6,66	0,107	6,50
2	6,5	2,46	5,87	5,40	-0,076	5,95	0,084	5,79
3	4,6	2,43	3,74	5,30	0,175	3,56	0,332	3,41
4	14,1	2,30	13,34	4,70	-0,076	13,41	0,064	13,27
5	11,4	2,31	10,58	4,87	0,005	10,57	0,150	10,43
6	12,1	2,31	11,42	4,94	-0,125	11,55	0,021	11,40
7	10,9	2,34	10,10	4,95	-0,024	10,12	0,122	9,98
8	6,9	2,43	6,32	5,31	-0,031	6,35	0,127	6,20
9	8,1	2,44	7,50	5,12	0,031	7,47	0,183	7,32
10	10,6	2,29	10,00	4,70	0,189	9,81	0,328	9,67
11	10,5	2,30	9,67	4,70	0,212	9,46	0,351	9,32
12	11,5	2,30	10,60	4,78	0,077	10,52	0,219	10,38
13	10,5	2,33	9,97	4,94	-0,010	9,98	0,136	9,84
14	11,8	2,31	10,96	4,63	0,174	10,79	0,311	10,65
15	12,7	2,26	11,92	4,48	0,218	11,70	0,351	11,56
16	13,4	2,24	12,72	4,63	0,037	12,69	0,174	12,55
17	13,0	2,25	12,23	4,55	0,136	12,09	0,271	11,96
18	13,3	2,22	12,34	4,45	0,216	12,12	0,347	11,99
19	13,4	2,25	12,62	4,56	0,104	12,51	0,239	12,38
20	10,7	2,32	10,07	4,78	0,117	9,95	0,259	9,81
21	10,8	2,32	10,24	4,70	0,169	10,07	0,308	9,93
22	10,2	2,35	9,62	4,78	0,153	9,47	0,294	9,33
23	11,1	2,29	10,07	4,62	0,247	9,83	0,384	9,69
24	9,1	2,38	8,38	5,12	-0,033	8,41	0,119	8,26

образцов график зависимости «плотность – пористость» (см. рис. 3) не будет иметь отскоков, и  $R^2$  будет приближаться к единице.

Исключим из коллекции ранее выделенные образцы 3 и 4 и построим аналогичную зависимость скорости распространения продольных волн от пористости уже для сокращенной коллекции из 22 образцов породы (рис. 6), вновь определив значение  $V_{р.ск}$ . В данном случае  $V_{р.ск} = 6,080$  км/с.

Теперь расчет  $K_{п.тр}$  по уравнению (5) для образцов из сокращенной коллекции показывает, что в ней нет образцов с отрицательной трещинной пористостью (см. ст. 8 табл. 1). Таким образом, точность определения  $K_{п.тр}$  повысилась в результате исключения из коллекции образцов, существенно отличающихся (более чем на 2 %) от тренда зависимости «плотность – пористость», которые вносили погрешность в определение  $K_{п.тр}$ . Повышение точности обусловлено использованием вместо определяемого статистическими методами значения  $V_{р.ск}$  уточненного значения данной величины [6].

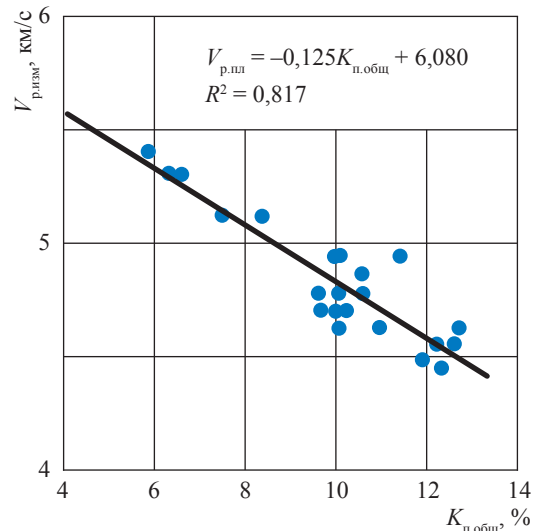


Рис. 6. Зависимость скорости распространения упругой продольной волны в горной породе от пористости породы (для сокращенной коллекции из 22 образцов породы) в пластовых условиях

**Пример 2.** Аналогично примеру 1 сформирован представительный набор из 24 образцов песчаника (табл. 2), для некоторых образцов получены отрицательные величины трещинной пористости (см. ст. 5), что может быть обусловлено неточным определением (занижением) скорости распространения продольной волны в скелете.

В случае когда сформирована минералогически однородная коллекция и/или нет данных о зависимости «плотность – пористость», приравнивая нулю полученное наибольшее отрицательное значение  $K_{п.тр}$  (например, для образца 6  $K_{п.тр} = -0,125 \%$ , см. ст. 5 табл. 2.), получим из уравнения (5) выражение для расчета уточненного значения скорости распространения продольной волны в скелете:

$$V_{р.ск} = V_{р.ск.стат} / (1 - 1,6K_{п.общ} / 100). \quad (8)$$

Вновь рассчитаем значения  $K_{п.тр}$  для каждого из образцов по формуле (5), но уже используя уточненное значение  $V_{р.ск} = 6,047$  км/с,

и занесем их в ст. 7 табл. 2. Видно, что в ст. 7 нет образцов с отрицательными значениями  $K_{п.тр}$ . Таким образом, точность определения трещинной пористости повысилась за счет уточнения скорости распространения продольной волны в скелете горной породы путем приравнивания нулю полученного в первом приближении наибольшего отрицательного значения  $K_{п.тр}$ .

\*\*\*

Анализ различных способов оценки трещинной пористости показал, что некоторые из них позволяют определять величину трещинной пористости только для очень малого объема горной породы, например метод изучения шлифов. Метод капиллярной пропитки пород люминофором (метод К.И. Багринцевой) довольно эффективен, но трудоемок и требует специальной подготовки образцов.

Основным недостатком метода определения трещинной пористости по данным ВАК и ГК для двух значениях плотности бурового раствора является невысокая точность

Таблица 2

Уточненные результаты определения  $K_{п.тр}$  и  $K_{п.мз}$  горных пород

№ образца	$K_{п.общ}$ , %, атмосферные условия	Пластовые условия					
		$K_{п.общ}$ , %	$V_{р.изм}$ , км/с	$V_{р.ск.стат} = 5,864$ км/с		$V_{р.ск} = 6,047$ км/с	
				$K_{п.тр}$ , %	$K_{п.мз}$ , %	$K_{п.тр}$ , %	$K_{п.мз}$ , %
1	2	3	4	5	6	7	8
1	7,2	6,61	5,30	-0,050	6,66	0,085	6,52
2	6,5	5,87	5,40	-0,076	5,95	0,061	5,81
3	4,6	3,74	5,30	0,175	3,56	0,310	3,43
4	14,1	13,34	4,70	-0,076	13,41	0,044	13,29
5	11,4	10,58	4,87	0,005	10,57	0,129	10,45
6	12,1	11,42	4,94	-0,125	11,55	0,000	11,42
7	10,9	10,10	4,95	-0,024	10,12	0,101	10,00
8	6,9	6,32	5,31	-0,031	6,35	0,104	6,22
9	8,1	7,50	5,12	0,031	7,47	0,161	7,34
10	10,6	10,00	4,70	0,189	9,81	0,308	9,69
11	10,5	9,67	4,70	0,212	9,46	0,331	9,34
12	11,5	10,60	4,78	0,077	10,52	0,199	10,40
13	10,5	9,97	4,94	-0,010	9,98	0,115	9,86
14	11,8	10,96	4,63	0,174	10,79	0,291	10,67
15	12,7	11,92	4,48	0,218	11,70	0,332	11,58
16	13,4	12,72	4,63	0,037	12,69	0,155	12,57
17	13,0	12,23	4,55	0,136	12,09	0,251	11,98
18	13,3	12,34	4,45	0,216	12,12	0,328	12,01
19	13,4	12,62	4,56	0,104	12,51	0,219	12,40
20	10,7	10,07	4,78	0,117	9,95	0,239	9,83
21	10,8	10,24	4,70	0,169	10,07	0,288	9,95
22	10,2	9,62	4,78	0,153	9,47	0,274	9,35
23	11,1	10,07	4,62	0,247	9,83	0,364	9,71
24	9,1	8,38	5,12	-0,033	8,41	0,097	8,28

определений. Обусловлено это отсутствием достоверных данных о коэффициенте сжимаемости матрицы и методов его определения в реальных условиях залегания пород, а также отсутствием надежных данных о зависимости коэффициента сжимаемости пластов от изменений плотности бурового раствора в скважине.

Предложенный авторами способ определения трещинной пористости по данным

о скоростях распространения продольных волн в горной породе может применяться для исследования образцов близкого и мало изменяющегося минералогического состава и способен дать дополнительные количественные данные о трещинной и межзерновой пористости.

### Список литературы

1. Горная энциклопедия. Т. 5 / под ред. Е.А. Козловского. – М.: Советская энциклопедия, 1991. – 541 с.
2. Тиаб Дж. Петрофизика: теория и практика изучения коллекторских свойств горных пород и движения флюидов / Дж. Тиаб, Э.Ч. Доналдсон; пер. с англ. – 2-е изд. – М.: Премииум Инжиниринг, 2011. – 868 с.
3. Гмид Л.П. Методическое руководство по литолого-петрографическому и петрохимическому изучению осадочных пород-коллекторов / Л.П. Гмид, Л.Г. Белоновская, Т.Д. Шибина и др.; под ред. А.М. Жаркова. – СПб.: ВНИГРИ, 2009. – 160 с.
4. Патент РФ на изобретение № 2012021. Способ определения трещинной пористости пород / А.Ф. Боярчук, Г.А. Шнурман, Л.С. Багов; патентообладатель А.Ф. Боярчук. – 1991.
5. Патент РФ на изобретение № 2516392. Способ определения трещинной пористости / В.С. Жуков; патентообладатель ООО «Газпром ВНИИГАЗ». – 2014.
6. Патент РФ на изобретение № 2615051. Способ определения трещинной пористости горных пород / В.С. Жуков, С.Г. Рассохин, В.В. Моторьгин; патентообладатель ООО «Газпром ВНИИГАЗ». – 2017.
7. Багринцева К.И. Трещиноватость осадочных пород / К.И. Багринцева. – М.: Недра, 1982. – 256 с.
8. Багринцева К.И. Роль трещин в развитии сложных типов коллекторов и фильтрации флюидов в природных резервуарах / К.И. Багринцева, Г.В. Чилингар // Геология нефти и газа. – 2007. – № 5. – С. 26–35.
9. Физические свойства горных пород и полезных ископаемых (петрофизика): справ. геофизика / под ред. Н.Б. Дортман. – 2-е изд., перераб. и доп. – М.: Недра, 1984. – 455 с.

## Examining few methods for estimation of cracking porosity

V.S. Zhukov<sup>1</sup>, V.V. Motorygin<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Gazprom VNIIGAZ LLC, Bld. 1, Est. 15, Proyecktiruemyy proezd # 5537, Razvilka village, Leninskiy district, Moscow Region, 142717, Russian Federation

\* E-mail: V\_Zhukov@vniigaz.gazprom.ru

**Abstract.** There are different methods for determination of cracking porosity. But unfortunately, some of them are right only in case of very small (not representative) amount of rock material. First of all, it concerns with studying metallographic samples. Capillary imbibition of rocks with luminophor (K.I. Bagrinsteva method) is rather effective, but labor-consuming and needs special treatment of samples.

The main disadvantage of crack porosity determination using wave acoustic logs or density gamma-gamma logs is poor accuracy. It depends on the absence of reliable data on matrix compressibility factors and methods for their in-situ determination, as well as on lack of trustworthy correlations of stratum compressibility factors with varieties of drilling agent density in a well.

Suggested method for determination of cracking porosity through velocities of elastic wave propagation in rocks suits for studying core samples with close and poorly changing mineral composition and gives additional quantitative data on cracking and intergranular porosity.

**Keywords:** crack, porosity, intergranular porosity, cracking porosity, velocity of elastic waves, in-situ conditions.



**References**

1. KOZLOVSKIY, Ye.A. (ed.). *Mining encyclopedia* [Gornaya entsiklopediya]. Moscow: Sovetskaya entsiklopediya, 1991, vol. 5. (Russ.).
2. TIAB, Dj. and Erle C. DONALDSON. *Theory and practice of measuring reservoir rock and fluid transport properties*. Translated from English. 2<sup>nd</sup> ed. Moscow: Premium inzhiniring, 2011. (Russ.).
3. GMID, L.P., L.G. BELONOVSKAYA, T.D. SHIBINA et al. A.M. ZHARKOV (ed.). *Guidance for lithologic-petrographic and petrochemical studying of sedimentary rock reservoirs* [Metodicheskoye rukovodstvo po litologo-petrograficheskomy i petrokhimicheskomy izucheniyu osadochnykh porod-kollektorov]. St.-Petersburg: VNIGRI, 2009. (Russ.).
4. BOYARCHUK, A.F. *Method for determination of rock fractured porosity* [Sposob opredeleniya treshchinnoy poristosti porod]. Inventors: BOYARCHUK, A.F., G.A. SHNURMAN and L.S. BAGOV. 30.04.1994. RU 2012021.
5. GAZPROM VNIIGAZ LLC. *Method of rock fractured porosity determination* [Sposob opredeleniya treshchinnoy poristosti]. Inventor ZHUKOV, V.S. 20.05.2014. Appl: 13.09.2012. RU 2516392.
6. GAZPROM VNIIGAZ LLC. *Method of rock fractured porosity determination* [Sposob opredeleniya treshchinnoy poristosti gornykh porod]. Inventors ZHUKOV, V.S., S.G. RASSOKHIN and V.V. MOTORYGIN. 03.04.2017. Appl: 30.10.2015. RU 2615051.
7. BAGRINTSEVA, K.I. *Fissuring of sedimentary rocks* [Treshchinovatost osadochnykh porod]. Moscow: Nedra, 1982. (Russ.).
8. BAGRINTSEVA, K.I. and G.V. CHILINGAR. On the part cracks are playing in development of complex reservoirs and in fluid filtration in natural reservoirs [Rol treshchin v razvitiy slozhnykh tipov kollektorov i filtratsii fluidov v prirodnykh rezervuarakh]. *Geologiya nefti i gaza*. 2007, no. 5, pp. 26–35. ISSN 0016-7894. (Russ.).
9. DORTMAN, N.B. (ed.). *Physical properties of rocks and mineral products (petrophysics): reference book of a geophysicist* [Fizicheskiye svoystva gornykh porod i poleznykh iskopayemykh (petrofizika): spravochnik geofizika]. 2<sup>nd</sup> ed. Moscow: Nedra, 1984. (Russ.).