

УДК 622.245.4

В.І. Гриманюк

Івано-Франківський національний технічний університет
нафти і газу, м. Івано-Франківськ, Україна,
e-mail: tdcentre@nung.edu.ua

ДОСЛІДЖЕННЯ ТРІЩИНОСТІЙКОСТІ АРМОВАНОГО ТАМПОНАЖНОГО КАМЕНЮ ДЛЯ КРІПЛЕННЯ НАФТОВИХ І ГАЗОВИХ СВЕРДЛОВИН

V.I. Hrymaniuk

Ivano-Frankivsk National Technical University of Oil and Gas,
Ivano-Frankivsk, Ukraine, e-mail: tdcentre@nung.edu.ua

INVESTIGATION OF REINFORCED CEMENT STONE CRACKING RESISTANCE FOR CASING OIL AND GAS WELLS

Мета. Розробка критерію, що дає можливість визначити кількісні та якісні характеристики тріщиностійкості тампонажного каменя. Дослідження впливу органічних та неорганічних домішок у складі цементного каменя на його механічні властивості.

Методика. За допомогою установки, що забезпечує контрольований режим поширення тріщини, побудовані діаграми навантаження цементного каменя, на основі яких запропонована методика визначення коефіцієнта тріщиностійкості.

Результати. Аналіз промислових даних та проведені розрахунки показали, що на стадії будівництва свердловини існує ризик виникнення тріщин у цементному камені міжколонного простору свердловин. Встановлено, що запропоновані раніше критерії оцінки деформаційних властивостей цементного каменя залежать виключно від навантаження при проведенні випробувань, що не дає можливості застосовувати їх для порівняльної оцінки тріщиностійкості матеріалу, що випробовується. За допомогою модернізованої установки для визначення тріщиностійкості вдалося визначити роботу, що затрачена на руйнування цементного зразка на різних стадіях поширення тріщини. Для оцінки властивостей цементного каменя створювати опір розповсюдженню тріщини запропонований коефіцієнт тріщиностійкості, значення якого повинно бути більшим, ніж 1,1. Необхідного значення коефіцієнта тріщиностійкості можна досягти шляхом додавання до цементного розчину певної кількості органічної фібри. Результати лабораторних досліджень механічної міцності цементного каменя показали, що добавка органічної фібри підвищує міцність цементного каменя на розтяг у 2...2,5 рази в порівнянні з цементним каменем без армуючих домішок. Встановлено також, що хризотил азбест може використовуватись як добавка для підвищення тріщиностійкості цементного каменя при його концентрації в розчині більше 0,7% від маси сухого цементу. Показано, що цементний камінь без армуючих домішок не здатний створювати будь-який опір розколу в зоні штучно сформованої тріщини.

Наукова новизна. Запропонований метод оцінки тріщиностійкості тампонажного каменя не залежить від умов проведення досліджень, характеризується високою точністю отриманих результатів та дозволяє оцінити енергетичні властивості руйнування цементного каменя на різних стадіях поширення тріщини, що до цього моменту було досить складно визначити.

Практична значимість. Використання нового критерію оцінки тріщиностійкості, що дозволяє виконувати досить точний порівняльний аналіз деформаційних характеристик тампонажного каменя із вмістом армуючих домішок.

Ключові слова: *свердловина, цементний камінь, тріщиностійкість, армуюча домішка*

Постановка проблеми. Під час експлуатації свердловини на її кріплення діють різні знаменні навантаження, що можуть стати причиною появи тріщин у цементному камені. Із часом ці тріщини об'єднуються у флюїдопровідні канали, що є однією з причин появи міжколонних тисків (МКТ) і міжпластових перетоків флюїду у свердловині. Аналіз про-

мислових даних ВАТ „Газпром“ [1] показав, що 50% свердловин, із загальної кількості тих, що знаходились в експлуатації, у 1997 році на північних родовищах країни склали свердловини з МКТ різної інтенсивності. На українських підземних газосховищах (ПСГ) у кожній третій свердловині зафіксовані МКТ [2]. У більшості випадків дефекти кріплення цих свердловин сформувались у процесі їх буріння та кріп-

лення. У табл. 1 подана інформація щодо величини навантаження на кріплення свердловини ПСГ у залежності від виду технологічних операцій, що виконуються у свердловині [3].

Виділення невирішеної проблеми. Існує ціла група реальних навантажень, що діють на кріплення свердловини та при проектуванні свердловини не враховуються, але при її будівництві та експлуатації вони негативно впливають на кріплення свердловини, знижуючи його міцнісні та ізоляційні характеристики, тобто відбувається механічне зношування обсадної колони й руйнування цементного кільця за рахунок динамічних ударних навантажень [4]. При цьому, виникають тріщини, в які проникає нафта, газ та інші пластові флюїди, порушуючи цілісність конструкції свердловини внаслідок міжпластових перетоків. Виходячи з цього, кріплення свердловини повинно бути не тільки механічно міцним, але й мати змогу чинити опір поширенню тріщин, що утворюються у процесі її спорудження та експлуатації.

Аналіз останніх досліджень. Більшість авторів [5] вважають, що основною причиною утворення тріщин у цементному камені є виникнення локальних та загальних напружень, величина яких перевищує модуль пружності та межу текучості матеріалу при розтягуванні. Методи оцінки тріщиностійкості поділяють на три групи: безпосередня оцінка тріщиностійкості, непряма оцінка та оцінка, що ґрунтується на моделюванні структури матеріалу та методів механіки руйнування, за допомогою яких можливо отримати кількісні та якісні характеристики тріщиностійкості.

Перші два методи мають суттєві недоліки, так як вони не дозволяють пояснити природу процесу тріщиноутворення та не враховують структуру матеріалу. Метод моделювання також має недолік – він не дозволяє отримати істинну картину тріщиностійкості матеріалу, оскільки моделі, як правило, містять ті або інші припущення.

У роботі [6] запропонований метод визначення тріщиностійкості, що ґрунтується на засадах механіки руйнування твердого тіла. Випробовувались бетонні призми з надрізом за стандартною методикою визначення міцності на розтяг при згині. Усі досліджувані зразки мали однакове співвідношення висоти зразка до глибини надрізу, що дорівнювало 0,33. Потім, за допомогою рівняння (1), розраховувалась в'язкість руйнування, прийнята авторами за критерій тріщиностійкості.

$$K_c = \frac{3 \cdot P \cdot l \cdot d^2}{1,99 \cdot b \cdot d^2} - 2,47 \cdot \left(\frac{a}{d}\right) + 12,97 \cdot \left(\frac{a}{d}\right)^2 - 23,17 \cdot \left(\frac{a}{d}\right)^3 + 28,8 \cdot \left(\frac{a}{d}\right)^4, \quad (1)$$

де P – руйнівне навантаження, МН; b – ширина зразка, м; l – відстань між опорами при згині, м; d – висота зразка, м; a – глибина надрізу, м.

Недоліком цього критерію є те, що коефіцієнт K_c залежить виключно від навантаження при його випробуванні, а деформаційні властивості матеріалу не враховуються. Такий підхід до оцінки тріщиностійкості не можна назвати універсальним і його допустимо застосовувати лише для порівняльної оцінки тріщиностійкості матеріалів із приблизно однаковим модулем пружності.

Формування мети роботи. Промислові дані та теоретичні дослідження свідчать про те, що кріплення свердловини не забезпечує герметичність її затрубного простору впродовж тривалого терміну експлуатації об'єкта. Для покращення механічних властивостей цементного каменю до розчину додають армуючі домішки, що не завжди забезпечують герметичність кріплення свердловини. Тріщиностійкість цементного каменю є одним з головних параметрів оцінки герметичності кріплення свердловини. Оскільки існуючі методи оцінки тріщиностійкості мають ряд серйозних недоліків, запропонований новий підхід до вирішення даної проблеми.

Таблиця 1

Аналіз промислових даних про напруження, що діють на кріплення свердловин ПСГ Прикарпаття при виконанні різноманітних технологічних операцій

№	Вид навантаження на кріплення свердловини	Напруження в цементному камені, МПа
1	Перфорація (кульова, торпедна, кумулятивна)	10–20
2	Гідравлічний розрив пласта	30–60
3	Опресування обсадної колони	3–5
4	Механічне буріння	6–8

Викладення основного матеріалу. Автором статті запропоновано оцінювати тріщиностійкість цементного каменю за допомогою методу механіки руйнування, що ґрунтується на законі збереження та перетворення енергії. Цей метод нормований як у Росії, так і в Україні, і дозволяє визначити кількісні та якісні характеристики тріщиностійкості матеріалу у процесі механічних випробувань з одночасним записуванням повністю рівноважних діаграм деформування (ПРДД) у координатах „навантаження-прогин“.

Механічні випробування на стадії локальних деформацій зразка забезпечують адекватну зміну зовнішніх сил внутрішнім зусиллям матеріалу з відповідним статичним розвитком магістральної тріщини. Використання схеми випробування зразка, представленій на рис. 1, дозволяє розподілити навантаження між пружньо-деформаційним металевим кільцем і цементним зразком пропорційно їх жорсткості. Під час кожного одиничного дискретного просування тріщини в розрізі зразка зменшується жорсткість і перерозподіляється

навантаження між пружинним пристроєм та зразком. Випробування зразка зі штучно сформованою тріщиною дає можливість знімати прикладені навантаження на проміжній стадії поширення макротріщини, а також отримувати стабільний характер розвитку магістральної тріщини аж до повного руйнування зразка. Важливою перевагою використання досліджень є той факт, що розраховані згідно із ПРДД енергетичні та силові характеристики руйнування цементного каменя є інваріантними до умов експерименту.

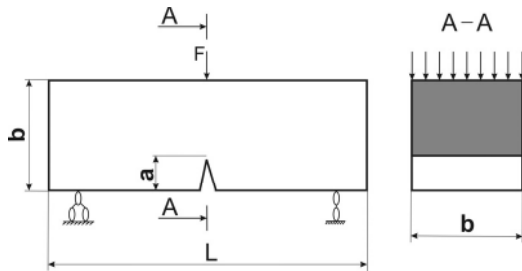


Рис. 1. Схема випробувань зразка: *a* – глибина початкового надрізу, м; *b*, *L* – розміри зразка, м

Для проведення випробувань формувались зразки розміром 0,1x0,1x0,4м з початковим надрізом (глибина 0,04м і ширина 0,02м) і без нього. Зразки випробовувались за допомогою 200-тонного гідравлічного пресу. Загальний вигляд та схема виміральної установки зображена на рис. 2.

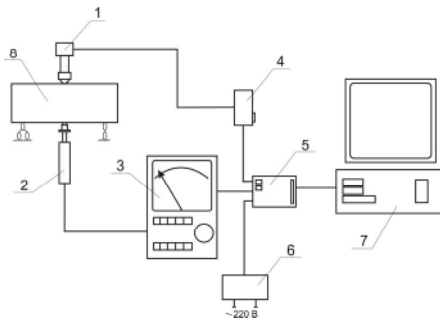


Рис. 2. Загальний вид і схема виміральної частини установки для визначення тріщиностійкості: 1 – тензометр; 2 – регістратор переміщення індуктивного типу; 3 – підсилювач-перетворювач сигналу; 4 – резисторний міст; 5 – інтерфейсна плата; 6 – блок живлення; 7 – комп'ютер; 8 – зразок

Кожна серія експериментів складалась з дослідження п'яти зразків однакового рецептурного складу та віку, один з яких був з надрізом, а чотири – без надрізу.

Графік ПРДД цементного каменя без надрізу представлений на рис. 3.

Виходячи з площі окремих частин діаграми, можна визначити кількість роботи, затраченої на деформування зразка, а саме – площа фігури OABCO – робота, затрачена на статичне руйнування зразка (W_1); площа фігури OADO рівна роботі, затраченій на

пружне деформування зразка до моменту поширення тріщини (W_2); площа фігури DABCD дорівнює роботі на локальне статичне деформування зразка в зоні штучно сформованої тріщини (W_3).

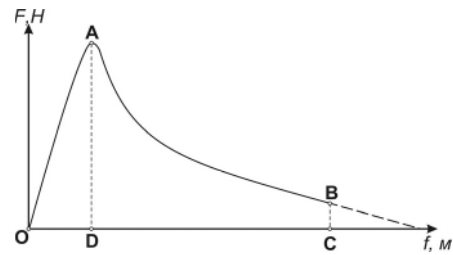


Рис. 3. Розрахункова діаграма стану цементного зразка при ПРДД у координатах навантаження-прогин ($F - f$)

Ураховуючи те, що тріщиностійкість характеризує здатність матеріалу чинити опір розвитку локальних тріщин, тобто, у даному випадку, вона оцінюється кількістю роботи, що дорівнює площі (W_3) на діаграмі. Більшість авторів [7], роботи яких присвячені дослідженням цементного каменя у свердловині, схильні до думки, що цементне кільце за обсадною колоною пошкоджене значними розтягуючими навантаженнями і, у той же час, практично не несе стискаючі навантаження. Це означає, що при оцінці роботи цементного каменя у свердловині необхідно враховувати його міцність на розтяг. У даному випадку, це відповідає площі (W_2) на діаграмі ПРДД. Оскільки міцнісна характеристика цементного зразка залежить не тільки від його фізичної будови, але й від глибини штучно створеної тріщини, було проведено дослідження кількох зразків одного й того ж типу цементного каменя, але з різною глибиною надрізу. Побудовані таким чином діаграми ПРДД визначають кількість роботи, затраченої на створення опору поширенню тріщини в цементному камені певної рецептури в залежності від глибини тріщини. На основі цих досліджень автором отримана формула (2) для оцінки тріщиностійкості цементного каменя, що знаходиться у свердловині

$$KT = \frac{\sum_{n=5}^{i=1} W_1}{\sum_{n=5}^{i=1} W_2}, \quad (2)$$

де $\sum_{n=5}^{i=1} W_1$ – сума робіт, затрачених на статичне руйнування п'яти зразків однакової рецептури, один з яких без надрізу, а решта – з надрізом 0,01; 0,02; 0,03 і 0,04 м, Дж; $\sum_{n=5}^{i=1} W_2$ – сума робіт, затрачених на локальне статичне деформування зразка в зоні штучно сформованої тріщини, для тих же п'яти зразків, Дж.

Якщо $KT \leq 1$, то цементний камінь не володіє здатністю протистояти поширенню тріщин, тобто він не тріщиностійкий. Експериментально встановлено, що для створення мінімального опору поширенню тріщин коефіцієнт KT повинен бути більшим, ніж 1,1.

З метою порівняльної оцінки впливу армуючих домішок на рівень тріщиностійкості цементного каменя, автором проведено дослідження двох типів армуючих домішок – неорганічних і органічних. В якості неорганічної домішки використано хризотил-азбест марки А-6-50, як один з найбільш поширених армуючих компонентів цементних розчинів.

В якості органічної домішки досліджувалась фібра довжиною 4...5мм із синтетичного матеріалу густиною 900...950 кг/м³, що має високу ударну міцність і зносостійкість. Зняття кривих ПРДД проводилося на зразках 28-ми денного віку, які зберігались у муфельній печі при температурі 50°С, що відповідає свердловинним умовам. Результати експериментів представлені в табл. 2.

Таблиця 2

Порівняльна оцінка механічних та енергетичних характеристик цементного каменя з армуючими домішками

№ п/п	Тип домішки	Вміст домішки, %	Межа міцності цементного каменя, МПа				Середнє значення роботи цементного каменя, Дж			Коефіцієнт тріщиностійкості (КТ)
			2 доби	7 діб	14 діб	28 діб	W ₁	W ₂	W ₃	
1	Чистий цемент ПЦТ-І-50	0	$\frac{2,6}{0,26}$	$\frac{5,5}{1,03}$	$\frac{10,09}{1,23}$	$\frac{17,66}{1,59}$	2,25	2,24	0,01	1,0
2	Органічна фібра	0,25	$\frac{2,94}{0,5}$	$\frac{12,18}{1,00}$	$\frac{16,24}{1,47}$	$\frac{18,67}{1,65}$	15,6	10,4	5,2	1,50
3		0,5	$\frac{3,36}{0,39}$	$\frac{13,46}{1,3}$	$\frac{19,89}{1,49}$	$\frac{29,85}{2,22}$	18,9	12,1	6,8	1,56
4		0,75	$\frac{4,25}{0,85}$	$\frac{14,63}{1,92}$	$\frac{21,18}{2,25}$	$\frac{31,13}{2,55}$	24,5	14,6	9,9	1,61
5		1,0	$\frac{5,42}{1,03}$	$\frac{16,22}{2,17}$	$\frac{23,18}{2,60}$	$\frac{32,40}{2,82}$	27,1	16,5	7,6	1,64
6	Азбест марки А-6-50	0,25	$\frac{3,62}{0,52}$	$\frac{8,41}{0,76}$	$\frac{15,02}{1,34}$	$\frac{16,82}{2,60}$	5,4	5,0	0,4	1,08
7		0,5	$\frac{3,36}{0,56}$	$\frac{10,51}{1,07}$	$\frac{14,72}{1,34}$	$\frac{20,80}{2,80}$	6,1	5,6	0,5	1,09
8		0,75	$\frac{3,26}{0,95}$	$\frac{15,05}{1,88}$	$\frac{18,69}{2,44}$	$\frac{28,90}{3,90}$	6,6	5,6	1,0	1,18
9		1,0	$\frac{4,06}{1,24}$	$\frac{18,99}{2,15}$	$\frac{21,13}{3,36}$	$\frac{36,16}{4,14}$	10,8	9,5	1,3	1,14

Примітка: чисельник – міцність на стискання; знаменник – міцність на розтягування.

Із табл. 2 видно, що коефіцієнт тріщиностійкості цементного каменя, армованого азбестовим волокном, змінюється в межах 1,08...1,14, що дозволяє віднести його до розряду слабо-тріщиностійких матеріалів, на відміну від цементного каменя, армованого органічним волокном (коефіцієнт тріщиностійкості 1,50...1,64).

Як було зазначено вище, при виконанні різних технологічних операцій на цементний камінь, що знаходиться в міжколонному просторі, діють різні за величиною навантаження. Для кількісної оцінки коефіцієнта тріщиностійкості використана наступна залежність [8]

$$P^* = \sqrt{\frac{2 \cdot E \cdot \varphi}{\pi \cdot L \cdot (1 - \nu)}}, \quad (3)$$

де P^* – граничне напруження, при якому відбувається поширення тріщини, Па; E – модуль Юнга цементного каменя, Па; φ – густина поверхневої енергії, що визначає кількість роботи, необхідної для створення одини-

ці нової поверхні, Дж/м²; L – довжина тріщини, м; ν – коефіцієнт Пуассона.

Величину φ визначають як відношення енергії W_1 , витраченої на повне руйнування зразка, до площі поперечного перерізу зруйнованого зразка S

$$\varphi = \frac{W_1}{S}. \quad (4)$$

Виходячи з формул (2) і (3), знаходимо значення W_1

$$W_1 = \frac{\pi \cdot (P^*)^2 \cdot L \cdot S \cdot (1 - \nu)}{2 \cdot E}, \quad (5)$$

де P^* – згідно з табл. 1, Па; $\nu = 0,2$; $E = 3 \cdot 10^9$ МПа; $L = 0,1$ м; $S = 0,01$ м².

Результати розрахунків, виконаних за формулою (5), представлені в табл. 3.

Результати розрахунків величини роботи, затраченої на статичне руйнування зразка

Напруження в цементному камені, P^* , МПа	Робота, необхідна для початку поширення тріщини в цементному камені, W_1 , Дж
10–20	41,9–167,5
30–60	376,8–1507
3–5	3,8–10,5
6–8	15,1–26,8

Фактична робота, необхідна для руйнування цементного каменя без штучної тріщини для цементних зразків без домішок, складає 2,25 Дж. Таким чином, навіть при проведенні операцій з опресування обсадної колони ймовірність виникнення тріщини в цементному камені дуже висока.

Висновки. Оцінка тріщиностійкості цементного каменя за допомогою діаграм ПРДД дозволяє визначити кількісні та якісні характеристики тріщиностійкості тампонажного каменя у процесі рівноважних механічних випробувань.

Для оцінки здатності цементного каменя створювати опір поширенню тріщин пропонується коефіцієнт тріщиностійкості, величина якого повинна бути більшою 1,1.

Необхідну тріщиностійкість цементного каменя можна отримати шляхом введення органічної фібри, що забезпечує показник коефіцієнта тріщиностійкості на рівні 1,50...1,64.

Список літератури / References

1. Поляков В.Н. Технология заканчивания нефтяных и газовых скважин / Поляков В.Н., Ишкаев Р.К., Лукманов Р.Р. – Уфа: ТАУ, 1999. – 408 с.

Polyakov, V.N., Ishkayev, R.K. and Lukmanov, R.R. (1999), *Tekhnologiya zakanchivaniya neftyanykh i gazovykh skvazhin* [Technology of Oil and Gas Well Cementing], Ufa, Russia.

2. Сухін Є.І. Елементи створення, формування та експлуатації підземних сховищ газу / Є.І. Сухін, Б.І. Навроцький. – К.: ППНВ, 2004. – 528 с.

Sykhin, Ye.I. and Navrotskyi, B.I. (2004), *Elementy stvorennia, formuvannia ta ekspluatatsii pidzemnykh skhovyshch gazu* [Elements of Crating, Formation and Exploration of Underground Gas Storages], Kyiv, Ukraine.

3. Федутченко А.М. Про необхідність створення ПСГ в південно-західному регіоні України та геологічні передумови до цього. Питання розвитку газової промисловості України / Федутченко А.М., Дячук Т.І. // Збірник наук. праць. – Харків: УкрНДІгаз, 2004. – Вип. 31.

Fedutchenko, A.M. and Dyachuk, T.I. (2004) *Pro neobkhidnist stvorennia PSG v pivdenno-zakhidnomu regioni Ukrainy ta geologichni peredumovy do tsogo. Pytannia rozvytku gazovoi promyslovosti Ukrainy.*

Zbirnyk naukovykh prats [About Necessity of Underground Gas Storage Creating in South-Western Region of Ukraine], Ukrainian national gas university, Kharkiv, Issue 31.

4. Крылов Д.А. Влияние различных нагрузок в колонне на ее контакт с цементным кольцом / Д.А. Крылов, Г.Н. Волошко // Нефть. хоз-во. – 1991. – № 12 – С. 8–11.

Krylov, D.A. and Voloshko, G.N. (1991), “Influence of different types of casing load onto its contact with cement stone”, *Neftyanoe khozyaystvo*, no. 12, pp. 8–11.

5. Леонович С.Н. Трещиностойкость и долговечность бетонных и железобетонных элементов в терминах силовых и энергетических критериев механики разрушения / Леонович С.Н. – Минск: „Тыздзень“, 1999. – 266 с.

Leontovich, S.N. (1999), *Treshchinostoykost i dolgovechnost betonnykh i zhelezobetonnykh elementov v terminakh silovykh i energeticheskikh kriteriyev mekhaniki razrusheniya* [Cracking Resistance and Longevity of Concrete and Reinforced Concrete Elements], Tydzen, Minsk, Byelorussia.

6. Зайцев Ю.В. Новый подход к расчету бетонных и железобетонных конструкций / Ю.В. Зайцев // Строительный материалы, оборудование, технологии XXI века. – 2000. – № 6. – С. 13–17.

Zaytsev, Yu.V. (2000), “New point of view of concrete and reinforced concrete calculation”, *Stroitelnyye materialy i oborudovaniye XXI veka*, no. 6, pp. 13–17.

7. Антипов В.И. Деформация обсадных колонн под действием неравномерного давления / Антипов В.И. – М.: Недра, 1992. – 233 с.

Antipov, V.I. (1992), *Deformatsiya obsadnykh kolon pod deysviyem neravnomernogo davleniya* [Casing Deformation under Non-Uniformed Pressure], Nedra, Moscow, Russia.

8. Беляев К.В. Повышение трещиностойкости облегченных тампонажных материалов / К.В. Беляев, Д.В. Орешкин, В.Ю. Близиуков // Строительство нефтяных и газовых скважин на суше и на море. – 2003. – № 3. – С. 39–40.

Belyayev, K.V., Oreshkin, D.V. and Bliznyukov, V.Yu. (2003), “Increasing of oil-well cement cracking resistance”, *Stroitelstvo neftyanykh i gazovykh skvazhyh na syshe i na more*, no. 3, pp. 39–40.

Цель. Разработка критерия, который дает возможность определить количественные и качественные характеристики трещиностойкости тампонажного камня. Исследование влияния органических и неорганических добавок в составе цементного камня на его механические свойства.

Методика. С помощью установки, которая дает возможность контролировать режим распространения трещины, построены диаграммы нагрузки цементного камня, на основании которых предложена методика определения коэффициента трещиностойкости.

Результаты. Анализ промышленных данных и проведенные расчеты показали, что на стадии строительства скважины существует риск возникновения трещин в цементном камне межколонного пространства скважины.

Установлено, что предложенные ранее критерии оценки деформационных свойств цементного камня зависят исключительно от нагрузки при проведении испытаний, что не дает возможности применять их для сравнительной оценки трещиностойкости испытываемого материала.

С помощью модернизированной установки для определения трещиностойкости удалось определить работу, которая потрачена на разрушение цементного образца на разных стадиях распространения трещины. Для оценки свойства цементного камня создавать сопротивление распространению трещин в цементном камне предложен коэффициент трещиностойкости, значение которого должно быть больше, чем 1,1. Необходимого значения трещиностойкости цементного камня можно добиться путем добавления определенного количества органической фибры в цементный раствор. Результаты лабораторных исследований механической прочности цементного камня показали, что добавка органической фибры повышает прочность цементного камня на растяжение в 2...2,5 раза по сравнению с цементным камнем без армирующих добавок. Установлено также, что хризотил асбест может использоваться в качестве добавки для повышения трещиностойкости цементного камня при его концентрации в цементном растворе более 0,7% от массы сухого цемента. Показано, что цементный камень без армирующих добавок не способен создавать какое-либо сопротивление расколу в зоне искусственно сформированной трещины.

Научная новизна. Предложенный метод оценки трещиностойкости тампонажного камня не зависит от условий проведения исследований, характеризуется высокой точностью полученных результатов и позволяет оценить энергетические свойства разрушения цементного камня на разных стадиях распространения трещины, что до этого было весьма затруднительно.

Практическая значимость. Использование нового критерия трещиностойкости, который позволяет

проводить достаточно точный сравнительный анализ деформационных характеристик тампонажного камня, содержащего армирующие добавки.

Ключевые слова: скважина, цементный камень, трещиностойкость, армирующая добавка

Purpose. Designing of criterion, which gives the opportunity to define quantitative and attribute behavior of cement stone cracking resistance. Researching of how organic and inorganic admixtures in cement composition influence on the cement stone mechanical properties.

Methodology. With the help of the setting that allows controlling crack expansion, we have built graphs of the cement stone load. According to that graph we have proposed the principles of the cement stone cracking resistance factor determination.

Findings. The analysis of industrial information and conducted calculations showed that risks of cement stone crack appear on the stage of construction of a well. We have defined that cement stone cracking resistance factors, previously determined by other researchers, depend on the load measured while testing. It gives no opportunity to use them for comparing evaluation of cement stone cracking resistance. With the help of modernized plant for determining of the cement stone cracking resistance we have found the work, which was spent on the cement sample damage on different stages of crack expansion. For evaluation of the cement stone ability to resist the crack expansion in the cement stone, we propose that the cracking resistance factor should be more than 1.1. To achieve this value some organic fiber should be added to the slurry. It allows us to increase the strength of the cement stone 2–2.5 times as compared with the cement stone without additives. It has been shown that chrysotile-asbestos fiber can also be used to increase the cement stone cracking resistance when its concentration is more than 0.7%. It was shown that the cement stone without additives cannot create any cracking resistance in the zone of made crack.

Originality. Proposed method of cracking resistance evaluation does not depend on experiment conditions. It has high accuracy of results and allows evaluating energetic properties of cement stone cracking.

Practical value. Use of the new evaluation criterion of the cement stone cracking resistance allows us to fulfill quite accurate analysis of the reinforced cement stone resilience characteristics.

Keywords: well, cement stone, cracking resistance, reinforcing additive

Рекомендовано до публікації докт. техн. наук Я.С. Коцкуlichem. Дата надходження рукопису 04.05.13.