

УДК 622.245.142

Ю. І. ВОЙТЕНКО, д-р техн. наук, завідувач відділу,
О. І. ПРОЖОГІНА, провідний інженер-геофізик,
І. В. ЛОБАНОВА, провідний інженер (УкрДГРІ)

ЕФЕКТИВНІСТЬ СУЧАСНИХ ПЕРФОРАЦІЙНИХ СИСТЕМ І ЗАРЯДІВ ПІД ЧАС ЗАКІНЧЕННЯ СВЕРДЛОВИН

Проаналізовано ефективність кумулятивної перфорації продуктивних горизонтів родовищ газу й нафти в Україні. Показано, що найважливішими чинниками впливу на неї є внутрішня енергія пласта, величина репресії на пласт під час буріння, глибина залягання, колекторські властивості пласта, вид перфорації (репресія чи депресія на пласт).

Analyzed the efficiency jet perforation productive horizons for oil and gas fields in Ukraine. It is shown that the most important factors of influence it has on the internal energy of the reservoir, the magnitude of repression by the formation during drilling, depth, reservoir properties, type of perforation (repression or depression on the reservoir).

Роботи з вторинного розкриття продуктивних горизонтів є одними з основних технологічних процесів під час закінчення свердловин на нафту й газ, а також у процесі експлуатації свердловини. Ефективність цього процесу забезпечує достовірний геологічний результат у разі пошуково-розвідувального буріння, а також забезпечує рентабельність виробництва в разі експлуатаційного буріння.

Його ефективність пов'язують переважно з глибиною каналу перфорації і кількістю перфораційних отворів [1, 2].

Останнім часом глибина перфораційного каналу стала предметом ажіотажного попиту і зневажливого ставлення до зарядів, які продукують середні за розмірами канали. Фірми-виробники пропонують заряди з глибиною 500, 900, 1 200 м, а інколи й вище. Глибина каналу є найважливішим чинником у технологіях закінчення свердловин без інтенсифікації припливу [1, 2], проте й вони часто не забезпечують бажаного геологічного результату. Справа в тому,

що приведені вище глибини каналів, отримані на мішені з міцністю на одноосове стиснення 35 МПа для того, щоб вигідно піднести один з параметрів каналу – довжину. Для реальних порід-колекторів з більшою міцністю в умовах, наближених до всебічного стиснення, глибина каналу менша в середньому у 2–2,5 рази [1, 3].

Крім того, завищені значення репресій у процесі первинного розкриття, особливо в інтервалах аномально низького пластового тиску (АНПТ), призводять до погіршення колекторських властивостей порід навколо свердловини в радіусі, який перевищує максимальні глибини перфораційних каналів, тому часто проектні дебіти свердловин не досягаються. Водночас у разі достатньо високої пластової енергії і збалансованих параметрів буріння (репресії на пласт) більшість продуктивних горизонтів успішно розкриваються будь-якими типами перфораторів і зарядів, зокрема зарядами, розробленими в СРСР.

Гарною ілюстрацією цьому може слугувати Юліївське родовище, де продук-

тивні пласти башкирського, серпуховського, візейського горизонтів, а також кори вивітрювання фундаменту були перфоровані різнокаліберними системами перфорації: ПКО-89, ПКСУЛ-80, ПРК-42, ПКО-73, ПР-65, ПНКТ-89, ПБ2-42Н, ПР-43, Strip RDX 1 11/16". Цей приклад можна доповнити результатами застосування найгірших по глибині каналу l_k перфораторів ПР-43, "ВНИПИВзривгеофизика" (розроблено в СРСР) і ПБ2-42 (УкрДГРІ, Україна), 2002 р. (табл. 1). Ці перфоратори показали добрі результати у сверд. № 6 Безлюдівського родовища, сверд. № 24 Коломацького родовища, кількох свердловинах Скворцівського родовища і багатьох інших.

Водночас у численних випадках згідно з нашими далеко не повними даними отримані негативні або маловиразні результати з використанням усіх без винятку зарядів.

Перше, що варто відзначити за результатами аналізу Скворцівського та Юліївського (сверд. № 63), а також Безлюдівського родовищ (сверд. № 6), ефективність

малогабаритних перфораційних систем ПР-43, ПРК-42 (Росія), Strip 1 11/16" (Німеччина) і ПБ2-42 (заряди ЗКМ-38, ЗГ2-42) (Україна) приблизно однакова і мало залежить від глибини каналу (табл. 1). Це добре ілюструють результати перфорації горизонту В-16 (В-16в, В-16н) у сверд. № 30, 44, 50, 60, 64, 65 (табл. 2; d – діаметр штуцера, K_p – пористість, $K_{нг}$ – коефіцієнт нафтогазонасиченості). Це пояснюється особливостями технології (депресія на пласт), достатньо високим пластовим тиском ($P \sim 30\text{--}31$ МПа) для цього горизонту і, напевно, помірними репресіями на пласт під час буріння. Тому глибина каналу, яка у 2 рази менша в ЗГ2-42, в 3 рази менша в ЗПР-43, ніж у заряду Strip RDX 1 11/16" у цьому випадку не має особливого значення. Після перфорації відбувається самоочищення пласта і свердловина виходить на промисловий режим експлуатації. Навіть на глибинах $\sim 5\ 300, 5\ 700$ м (у сверд. № 2 Рудівська, № 396 Золотихінська, № 361 Савинківська) отримані промислові припливи газу і конденсату малогабаритними перфораторами і зарядами [3, 4].

Треба зазначити, що в багатьох свердловинах використовувались заряди глибокого проникнення "DP" (deep penetration) і перфоратори зарубіжного виробництва: Strip 1 11/16" (Німеччина), ПКО-89 із зарядами SDP RDX (22,7 г), Owen 1 11/16", Owen 2 1/8", Conex 1 1/16", ПКМ-43-02-DN, ЗКПО-89-DN-01, ПРК-42 (Росія), SDP RDX Strip 3 3/8", Dinamit Nobel 1 11/16", Link 1 11/16", Dinamit Nobel 3 3/8" (сучасна назва "Dina Energetics"), які дали від'ємні результати.

Від'ємний результат формулюється так: "сухо"; інтервал непроникний, "збільшення припливу не отримано" або "слабке виділення газу" (найчастіше).

Тобто навіть німецька та американська якість і глибина каналів перфорації не змогли перемогти зони забруднення українських свердловин після буріння або капітальних ремонтів.

Аналіз проводився по та-

ких родовищах і площах: Анастасіївське, Андріяшівське, Артюхівське, Безлюдівське, Васищівське, Валюхівське,

Волошківське, Довгалівська, Олімпійська, Північноорільська, Північнорешетняківська, Північноказантипська, Рябушинська, Сахалінська, Скворцівська, Східнорешетняківська, Тарасівське, Коломацьке, Коржівське, Комишуваська, Мар'янівська, Західностаровирівське, Юліївське і деякі ін.

Крім того, для аналізу використано результати робіт за 2009 рік із вторинного розкриттямалогабаритнимиперфораторами українського виробництва ПКМ-38, ПКМ-54 у свердловинах ДК "Укргазвидобування", а також деякі результати випробувань перфораторів ПБ2-42Н, ПКСУЛ-80, ПКО-89, ПКО-73 із зарядами українського ви-

Таблиця 1. Розміри каналів у сталевій мішені

№ з/п	Назва заряду	l_k , мм	d_k , мм
1	ЗГ2-42	40	10-11
	ЗГ2-42-01	62	9-10
2	ЗПР-43	33	8
	ЗПР-54	50	10
3	ЗКМ-43	72,5	8,8
4	ЗКМ-54*	125	9,8
5	Strip 8g DP TTG	100	7
6	STP-1687-RDX-401	130	6,8
7	ЗПКС-80	75	16
8	ЗКМ-38	90-100	8
9	ЗКМ-54-У**	140	11
10	ЗП2-67	152	21
11	STP-2125-RDX-401	156	9

* Заряд виробництва "Промперфоратор", Росія.

** Заряд виробництва УкрДГРІ, ІЕЗ ім. Є. О. Патона, Україна.

Таблиця 2. Результати перфорації деяких продуктивних горизонтів Скворцівського родовища

№ сверд.	Горизонт	Інтервал перфорації, м	Тип перфоратора	d шт., мм	Р (МПа) приведений до інт. випробування глибина	Депресія, МПа	Результат випробування			К _п , %	К _{нп} , %
							Газ, тис. м ³ /добу	Конденсат, тис. м ³ /добу	Нафта, м ³ /добу		
1	В-20	3080-3084	ПКО-89 (72 отв.)	5	$\frac{31,31}{3082}$	2,69	75,1	9,2	-	13,9	81
	В-19 + В-16	3054-3056 3030-3036	ПКС-80 (144 отв.)	5	$\frac{31,67}{3043}$	0,66	102,1	12,5	-	16,1 16	83 80
	В-16	3038-3046	ПКС-80 (144 отв.)	4	$\frac{32,33}{3042}$	0,32	67	8	-	16	80
	В-16	3005-3017 2993-2998	ПКО-89 (315 отв.)	5	$\frac{31,09}{3005}$	3,38	82,3	14,5	-	16	80
30	В-16	3138-3142 3154-3160	Strip RDX 1 11/16"	8	-	-	185	-	-	15,5 12,5	91 86,5
42	В-16	3079-3083	ПКС-80 (12 отв./м)	7	$P_{ст.тр.} = P_{ст.зр.} = 23,3$	-	75	-	-	8,5	84
44 50	В-16	3109-3121 3103-3095	Strip RDX 1 11/16" (20 отв./м)	8	$\frac{29,95}{3108}$	-	253,1	-	-	17 20,5	87 83
	В-16	3150-3139 3130-3123	ПБ-2-42 ЗГ-42 (10 отв./м)	8	$\frac{30,56}{3144,5}$	1,5	281,9	-	-	16,9	90
	В-16	3166-3161	ПР-42 (10 отв./м)	8	$\frac{29,81}{3163}$	10,1	158,7	-	-	16,9	90
60	В-16н	3134-3128 3124-3120	ПБ2-42 ЗГ-42 (12 отв./м)	11	$\frac{27,03}{3127}$	3,6	432,9	-	-	16	80
62 64	В-16в Б-3	3177-3174 2531-2538	Strip RDX 1 11/16" (16 отв./м)	5	$\frac{27,22}{3175,5}$	14,4	36,9	0,6	-	19 12	84 72
			ПБ-2-42 (12 отв./м) дотріл	3	$\frac{25,56}{2540,5}$	13,8	15,2	2,54	-		
				3	$\frac{24,35}{2534,5}$	17,25	6,5	2,37			
65	В-20	3357-3355	Strip RDX 1 11/16" (18 отв./м)	3	-	-	2,66	-	-	6,5	70,5

робництва у свердловинах родовищ ДДЗ і західного регіону. Окрема увага приділялась результатам перфорації свердловин на великих глибинах ($H \geq 4,5-5,0$ км) [3, 4].

Звертає на себе увагу те, що основні виразні результати, отримані ДК “Укргазвидобування” у 2009 році, були реалізовані у свердловинах, де роботи проводились при депресії на пласт. Тобто технологія перфорації при депресії на пласт має перевагу завдяки здатності пласта до самоочищення під дією внутрішньої енергії пласта.

Підтверджується відомий факт, що перфорація при депресії зарядами з меншою глибиною каналу дає кращі результати, ніж перфорація при репресії зарядами ЗПКС-80 (табл. 2, горизонт В16, сверд. № 30, 42, 44, 50). Те саме спостерігалось під час розкриття сарматських відкладів Більче-Волицької зони.

Водночас на глибинах понад $\sim 4200-4500$ м кількість невдач з використанням малогабаритних систем перфорації збільшується. Це пояснюється кількома причинами: зменшенням пористості і відповідно збільшенням щільності і міцності порід-колекторів, зменшенням глибини каналу, а також впливом фільтратів бурових розчинів (Коломацьке ГКР, Комишуваська площа, Артемівська № 1 і низка свердловин, які розкривались різноманітними перфораторами на глибинах понад 5 км [4].

Наведемо приклади від’ємних результатів і непромислових припливів вуглеводнів.

1. Микитська площа, сверд. № 11. Проведено перестрілювання після ПБ2-42Н перспективних інтервалів у московському горизонті 29-31–2936, 2928–2930, 2922–2924 м зарядами Strip 1 11/16". Результат відсутній.

2. Колмацьке ГКР. Перфорація зарядами Strip 1 11/16" в інтервалах серпуховського ярусу: 5520–5529; 5498–

5510 м; повторно зарядами Link 1 11/16". Результат: 3,3 тис. м³ газу після першої перфорації; 5,5 тис. м³ газу після повторної перфорації. Інтервал 5400–5408 м проперфорований зарядами ЗПКМ-73 і Link 1 11/16", результат відсутній. Інтервал 5560–5576 м – зарядами ПНКТ-89 і Strip 1 11/16". Об’єкт – “слабогазоносний”.

3. Тарасівська площа, сверд. № 200 закладена в підвищеній частині південної приштокової зони. Інтервали перфорації в горизонтах К-1, Г-13, Г-12н, Г-10, Г-9н, А-8в, А-7н, D₃. Усього 13 інтервалів. Заряди від RDX 1 11/16" до RDX 3 3/8", а також ПКО-89-DN-01, ПКМ-43-02-DN (позначення зі справи свердловини і звіту по ГРР, прийнятого ДГП “Геоінформ”). Тобто калібр зарядів і системи перфорації від 42 (1 11/16") до 89 мм (3 3/8"). Виробник: Німеччина і Росія, за ліцензійною технологією.

Результат перфорації – “непроникний” – 11 інтервалів, “незначне виділення газу” – один інтервал.

Цей перелік можна доповнити прикладами в Рябухінській площі сверд. № 208, Мар’янівській, сверд. № 5а, Артемівська № 1, Північно-орільська, № 1, Скворцівське родовище, сверд. № 46, інтервал 3088–3083, 3142–3146 м, сверд. № 47, 48, 64, 65 (результати випробувань в табл. 2 не наведено), Волошківське, сверд. № 3, 51. У цих свердловинах використовувались зарубіжні системи перфорації.

Кількість неякісних результатів, непромислових припливів нафти і конденсату збільшується з глибиною для всіх систем перфорації.

Не виключено, що в деяких випадках від’ємні результати пов’язані з істинним геологічним результатом, а в деяких – з недостатністю систем перфорації і недосконалістю технологій первинного і вторинного розкриття

продуктивних горизонтів.

Інколи успішність і кінцевий результат забезпечувала повторна перфорація в цьому самому інтервалі. Наприклад, Васищівське родовище, сверд. № 1, інтервал 3270–3278 м виявився газоконденсатним після кількох перфорацій спочатку зарядами ПР-43, ПРК-54, Strip 1 11/16" і потім знову Strip 1 11/16" (декілька разів), а також інтенсифікуючих обробок фізично і хімічно активними рідинами.

Аналогічний позитивний результат отримано у сверд. № 3 у візейських горизонтах В-18, В-20, в інтервалах 3244–3252, 3277–3285 м.

Позитивний результат отримано після подвійної перфорації зарядами OWEN 1 11/16" та INNICOR 3 3/8". Водночас декілька негативних результатів отримано після відстрілів аналогічними системами Strip 1 11/16" і 3 3/8" в інтервалах 3278–3270 і 2904–2902 м.

Інколи перфорація проводилася декілька разів в одному інтервалі.

Приклад. Волошківське родовище, сверд. 32, горизонт В-21в. Перфорацію проводили зарядами RDX 3 3/8" з таким перестрілюванням ПБ2-42Н: тричі протягом дев’яти місяців. При цьому дебіт свердловини безперервно підвищувався. Фактично повторна перфорація інтенсифікує нафтогазовидобуток. При цьому з глибиною залягання пласта кількість і глибину перфораційних отворів треба збільшувати [3].

Варто відзначити, що при всій повазі до зарубіжної техніки, зарядами українського, радянського, нині російського виробництва було успішно розкрито десятки сотні об’єктів у свердловинах таких родовищ і площ, як Анастасівське, Андріяшевське, Артюхівське, Богданівське, Гнидинцівське, Валюхівське, Волошківське, Загорянська, Західностаровирівське, Золотихінська, Ком-

панська, Кобзівське, Коржівське, Липоводолінська, Мехедівське, Південнопанасівське, Перекопівське, Сахалінське, Скворцівське, Юлівське і багато інших.

Найбільш вживані системи перфорації в заглушених свердловинах – ПКО-89, ПКО-73, ПКСУЛ-80, ПНКТ-89, рідше – ПКС-105. Перфоратори ПРК-54, ПРК-42, ПБ2-42, ПКМ-38, ПКМ-54 використовувались як в умовах репресії, так і в умовах депресії на пласт.

Кількість невизначених результатів типу “незначне виділення газу і газоконденсату” для зарядів і перфораторів СРСР (Росія до 1995 р.), України та зарубіжних зарядів і систем перфорації співвідноситься приблизно як 1:1:2, за нашими, звичайно не повними даними.

На наш погляд, заряди понадглибокого проникнення потрібні в разі розкриття продуктивних пластів у малодебітних свердловинах після їх капітального ремонту, в разі консервації свердловини, а також у разі розкриття пластів з низькою пластовою енергією (АНПТ) після буріння, особливо на глибинах понад 4000–4500 м. Крім того, в разі перфорації через дві або три колони.

Треба зазначити, що в погоні за глибиною каналу фірми-розробники нехтують іншим важливим параметром – діаметром каналу d_k . Так, у номенклатурі виробів компанії OWEN є заряди SDP-1687-402NT3 і SDP-2125-402NT3, які пробивають у бетонній мішені канали завглибшки відповідно 309 і 492 мм з діаметром 4 і 6 мм. Зменшення діаметра каналу призводить до зменшення розміру тріщин навколо каналу в крихких колекторах, наприклад, у чистих пісковицях з кварцевим цементом. В умовах гірського тиску ці тріщини поступово закриваються. Так само зменшує свої

розміри сам канал у пластичних колекторах (глинистих пісковиках, алевролітах, аргілітах тощо). У результаті ефект може бути короткотерміновий і треба буде проводити наступні перфорації та інтенсифікацію припливу газоконденсату чи нафти.

Висновки

1. У разі високої пластової енергії та помірних репресій на пласт під час буріння промислові припливи газу, нафти і конденсату забезпечують заряди із середніми глибинами каналів, а в умовах депресії на пласт – до глибин 3–3,5 км усі малогабаритні заряди, зокрема з невеликими розмірами каналів.

2. При збільшенні глибини залягання продуктивних пластів, зменшенні пластової енергії, збільшенні кількості обсадних труб глибину каналів перфорації необхідно збільшувати, збільшувати кількість перфораційних отворів, проводячи повторні перфорації, а інколи – інтенсифікуючі обробки при вибійних зонах з метою збільшення глибини дренажних каналів.

ЛІТЕРАТУРА

1. *Гайворонский И. Н.* Обеспечение эффективной гидродинамической связи скважины с пластом при вторичном вскрытии//И. Н. Гайворонский, А. А. Меркулов, А. В. Балдин, Ю. Г. Улунцев//Каротажник.2006. № 10–11 (151–152). С. 153–159.
 2. *Чарли Косад.* Выбор стратегии перфорирования//Нефтегазовое обозрение. Шлюмберже. 1998. В. 3. С. 3–52.
 3. *Гошовський С. В.* Ефективність сучасних технологій вторинного розкриття продуктивних горизонтів і шляхи її підвищення//С. В. Гошовський, Ю. І. Войтенко, П. О. Сорокін//Нафтова і газова промисловість. 2013. № 2. С. 12–15.
 4. *Лукин А. Е.* Нефтегазонасыщенные коллекторы глубоководных комплексов центральной части Днепровско-Донецкой впадины//А. Е. Лукин, Н. В. Шукин, О. И. Лукина, М. Пригарина//Геофизический журнал. 2011. Т. 33. № 1. С. 3–27.

Рукопис отримано 29.04.2013.

УДК 550.361

С. В. ГОШОВСКИЙ, д-р техн. наук, профессор, директор,
А. В. ЗУРЬЯН, заведующий лаборатории инновационных технологий (УкрГГРИ)

ИССЛЕДОВАНИЕ ФИЗИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ В СИСТЕМЕ “ГЕОТЕРМАЛЬНЫЙ ТЕПЛООБМЕННИК (ЗОНД) – ГРУНТОВОЙ МАССИВ” С ЦЕЛЬЮ ИЗУЧЕНИЯ ВЛИЯНИЯ ОТБОРА НИЗКОПОТЕНЦИАЛЬНОЙ ЭНЕРГИИ ГЕОТЕРМАЛЬНЫМИ СИСТЕМАМИ ЗАКРЫТОГО ТИПА НА РЕГЕНЕРАЦИОННЫЕ ПРОЦЕССЫ В ВЕРХНИХ СЛОЯХ ЗЕМЛИ

СТАТЬЯ 1. АНАЛИЗ ИЗМЕНЕНИЙ ТЕМПЕРАТУР В ВЕРХНИХ СЛОЯХ ЗЕМЛИ ПРИ РЕШЕНИИ ЗАДАЧ ГРУНТОВОГО АККУМУЛИРОВАНИЯ И ИЗВЛЕЧЕНИЯ ТЕПЛОТЫ ГЕОТЕРМАЛЬНЫМИ СИСТЕМАМИ ЗАКРЫТОГО ТИПА

(Матеріал друкується мовою оригіналу)

Проведены исследования и установлены зависимости сезонного изменения температур в верхних слоях Земли. Выполнен анализ и сделаны выводы о необходимости учета изменений температур грунта на протяжении года при решении задач аккумуляции и извлечения теплоты геотермальными системами закрытого типа.

В Украинском государственном геологоразведочном институте была разработана методика исследований сезонных изменений температур нетронутого грунтового массива. Создана экспериментальная геотермальная установка, позволяющая в автоматическом режиме снимать показания с приборов, установленных как в наземной, так и подземной частях комплекса, с заданной частотой дискретизации производить измерения температур грунта на глубинах до 50 м, получать показания приборов в реальном времени, создать архив полученных данных для дальнейшей их интерпретации.

There have been researches made and relations to seasonal changes in temperature of upper layers of the Earth have been determined. The analysis has been performed and the following summary states that need to take account of soil temperature change over the year in the performance of a task of energy-storage and recovery warm by geothermal systems enclosed-type.

In the Ukrainian State Geological Research Institute has developed a research technique of seasonal changes of temperature unmined soil mass. The experimental geothermal positioning has been created, that allows in automatic to read from tools are installed in the ground and the underground part of the complex. To the specified discretization interval to make measurements of ground temperature at depths up to 50 m. Tool response to receive, both in real time and create an archive of resulting data for further interpretation.

Современная энергетика вынуждена учитывать глобальные кризисы, ставшие перед человеческим сообще-

ством. Переход к безотходным и низкотемпературным технологиям, как показывает практика, невозможен без широкого использования возобновляемых источников энер-

гии. Основным источником всех видов возобновляемой энергетики является Солнце. Если говорить о тепловой форме солнечной энергии, то возможны различные ва-