

## Фізико-технічні проблеми видобування енергоносіїв

УДК 622.276.6

### ТЕХНОЛОГІЯ ТЕРМОХІМІЧНОГО ВПЛИВУ НА ПРИВИБІЙНУ ЗОНУ ПЛАСТІВ

Я.Б. Тарко

ІФНТУНГ; 76019, м. Івано-Франківськ, вул. Карпатська, 15; тел. (03422) 42195;  
e-mail: jart\_b@ukr.net

*Разработана технология восстановления проницаемости призабойной зоны нефтегазодобывающих скважин при помощи теплового воздействия. Предлагается для расплавления органического кольматанта использовать экзотермические реакции между новыми реагентами. Приведены результаты термохимических расчетов тепловых эффектов реакций и повышения температуры реакционной среды и продуктивного пласта.*

*The technology of permeability renewal of oil and gas producing wells' bottom hole zone by the thermal influence has been developed. For melting of the organic colmatant has been offered to use exothermic reactions between new reagents. The results of thermochemical calculations of reactions thermal effects and increase of reactionary environment temperature and productive layer temperature have been resulted.*

Більшість нафтогазових родовищ України знаходиться на завершальній стадії розробки, яка характеризується виснаженістю покладів, що визначає низьку продуктивність свердловин та невисоку ефективність від реалізації різноманітних заходів, спрямованих на стабілізацію та покращання стану нафтогазовидобування. Аналіз експлуатації діючих свердловин ВАТ „Укрнафта” свідчить, що понад 60% з них мають дебіти нафти до 1 т/добу, ще 16% – до 10 т/добу. З цієї причини частка механізованого способу експлуатації становить понад 90%, причому в НГВУ „Долина нафтогаз” та „Бориславнафтогаз” кількість нафтовидобувних свердловин, які працюють за допомогою штангових глибинних насосів, за останні роки досягає відповідно до 91% та 96%.

Погіршення енергетичного стану родовищ та їх обводнення є домінуючими чинниками зниження продуктивності свердловин. Але аналіз динаміки дебітів рідини свердловин засвідчив, що в багатьох випадках зменшення їх дебіту відбувається незалежно від енергетичного стану покладів. Так, наприклад, на Перекопівському нафтовому родовищі протягом 1986-1989 рр. середній дебіт рідини свердловин знизився в 4,9 рази, в той час як середній пластовий тиск у продуктивних горизонтах зменшився лише на 9-11%. Подібна ситуація спостеріга-

лась на Артюхівському нафтогазоконденсатному родовищі, на якому впродовж 1980-1990 рр. середній дебіт рідини знизився в 3,8 рази, а середній пластовий тиск – тільки на 15%, та на Коржівському нафтогазоконденсатному родовищі, де дебіти рідини знизилися протягом 1984-1990 рр. в 2,1 рази, а пластовий тиск за цей час – на 4-9%.

Ці дані свідчать, що поряд зі вказаними чинниками однією з основних причин зниження дебітів нафти і газу свердловин є кольматация фільтраційних каналів у продуктивних пластах. На родовищах, нафти яких мають підвищений вміст високомолекулярних вуглеводнів, переважаючим кольматантом є тверда фаза цих компонентів, які кристалізуються при незначному зниженні пластової температури. Процеси утворення органічного кольматанту особливо інтенсивно проходять у привибійній зоні, де мають місце найбільш значні зміни градієнтів тиску, внаслідок чого через дроселювання вільного нафтового газу, кількість якого зі зниженням тиску різко зростає, відбувається охолодження пласта. Крім цього, температура привибійної зони знижується і внаслідок промивання вибою водою та закачування в пласт різноманітних технологічних рідин під час проведення поточних і капітальних ремонтів свердловин та

Таблиця 1 – Деякі фізико-хімічні властивості солей гідразину [10]

Реагент	$T_{пл.}, ^\circ C$	$T_{рокл.}, ^\circ C$	Густина при $25^\circ C$ , $кг/м^3$	Розчинність при $25^\circ C$ , г/100 г води	$\Delta H_{298}^\circ$ , кДж/моль
$N_2H_4H_2SO_4$	254	< 270	1380	3,42	-
$(N_2H_5)_2SO_4$	110	< 180	1750	202,2	-955,6
$N_2H_4HNO_3$	70,7	< 300	1680	76,6	-251,6
$N_2H_4HCl$	92	-	-	179,0	-194,3
$N_2H_6Cl_2$	198	-	-	36,6	-363,8

Таблиця 2 – Характеристики нітриту натрію за ГОСТ 19906-74

№ з/п	Найменування показника	Вищий сорт	1 сорт	2 сорт
1	Масова частка нітриту натрію не менше, %	99,0	98,5	97,0
2	Масова частка нітрату натрію не більше, %	0,8	1,0	-
3	Масова частка хлористого натрію не більше, %	0,10	0,17	-
4	Масова частка нерозчинного у воді пропеченого залишку не більше, %	0,03	0,03	0,07
5	Масова частка води не більше, %	0,5	1,4	2,5

робіт з інтенсифікації припливу нафти і газу [1, 2, 9].

У зоні пласта, де температура знижується нижче температури насичення нафти парафіном, утворення твердої фази високомолекулярних вуглеводнів з розмірами кристалів співрозмірних з діаметром порових каналів призводить до механічної колюватої фільтраційних каналів парафіном, а в зоні меншого зниження пластової температури – до значного підвищення в'язкості нафти, аж до набуття нею в умовах низки родовищ неньютонівських та в'язкопластичних властивостей.

Колюватої продуктивних пластів посилюється і внаслідок адсорбційних процесів, за яких на поверхні каналів фільтрації утворюється шар полярних компонентів нафти – смол та асфальтенів, а також потрапляння у привибійну зону твердої фази у вигляді механічних домішок технологічних рідин, продуктів руйнування пласта та корозії свердловинного обладнання. Проявлення вказаних чинників в комплексі призводить до утворення стійких агрегатів, які закупорюють фільтраційні канали і створюють значний гідродинамічний опір рухові пластового флюїду.

Ефективним методом відновлення проникності пластів за таких умов є проведення теплового впливу на привибійну зону, призначення якого - підвищити температуру вище температури плавлення кристалізованого парафіну [1, 3-7]. Значно збільшує ефективність таких оброблень своєчасне і повне вилучення продуктів реакції та колювату з пластів, що досягається застосуванням у свердловинах після термохімічного впливу технології створення циклів високих миттєвих депресій та репресій тиску [8].

Одним з напрямків розвитку термохімічних технологій є закачування у привибійну зо-

ну хімічних реагентів і здійснення безпосередньо в пласті екзотермічних реакцій, що призводить до нагрівання, розм'якшення та розплавлення органічних колювату і полегшення їх винесення з пласта. На даний час відома низка технологій термохімічного впливу на привибійну зону пластів [1, 3-7]. Однак вони випробувані у нафтогазовидобувних свердловинах в незначних масштабах із різним ступенем ефективності, що абсолютно недостатньо, враховуючи велику кількість низькодебітних та недіючих свердловин ВАТ „Укрнафта”.

Нами розроблено метод термохімічного впливу на привибійну зону пласта, в основу якого покладено проведення екзотермічної реакції між мінеральними солями гідразину та нітритом натрію на вибої свердловини або в тріщинах пласта.

Деякі фізико-хімічні характеристики цих реагентів представлено в таблицях 1 і 2.

Хлорид гідразину (нормальний солянокислий гідразин) – безбарвна кристалічна речовина з температурою плавлення ( $T_{пл.}$ )  $198^\circ C$ , розчинність за температури  $20^\circ C$  становить 73 г/100 г води. Сульфат гідразину (нормальний сірчано-кислий гідразин) – кристалічна речовина густиною  $1380 \text{ кг/м}^3$ , що плавиться за температури  $254^\circ C$ ; її розчинність за температури  $25^\circ C$  становить 3,4 г/100 г води. Гідразиндінітрат – безбарвна кристалічна речовина густиною  $1680 \text{ кг/м}^3$ , яка розпадається за нормальної температури.

Нітрит натрію  $NaNO_2$  являє собою безбарвні або жовтуваті кристали густиною  $2170 \text{ кг/м}^3$ ,  $\Delta H_{298}^\circ = -359,41 \text{ кДж/моль}$ . Є окисником помірної сили. Розчинність у воді за температур 22 і  $100^\circ C$  становить відповідно 45,07 і 61,5 г/100 г води, густини розчинів за концентрацій 10, 20 і 40% відповідно 1065, 1137 і  $1293 \text{ кг/м}^3$ . Водні розчини мають лужну реакцію ( $pH = 9$ ) [10].

Таблиця 3 – Теплові ефекти реакцій солей гідразину та нітриту натрію

Реагент А	Реагент Б	Тепловий ефект реакції, кДж	Кількість тепла із розрахунку на 1 кг, кДж	
			реагент А	реагент Б
Сульфат гідразину	Нітрит натрію	495,39	3810,7	3589,8
Хлорид гідразину	Нітрит натрію	670,19	6382,8	4856,5
Нітрат гідразину	Нітрит натрію	762,99	4829,1	5528,9

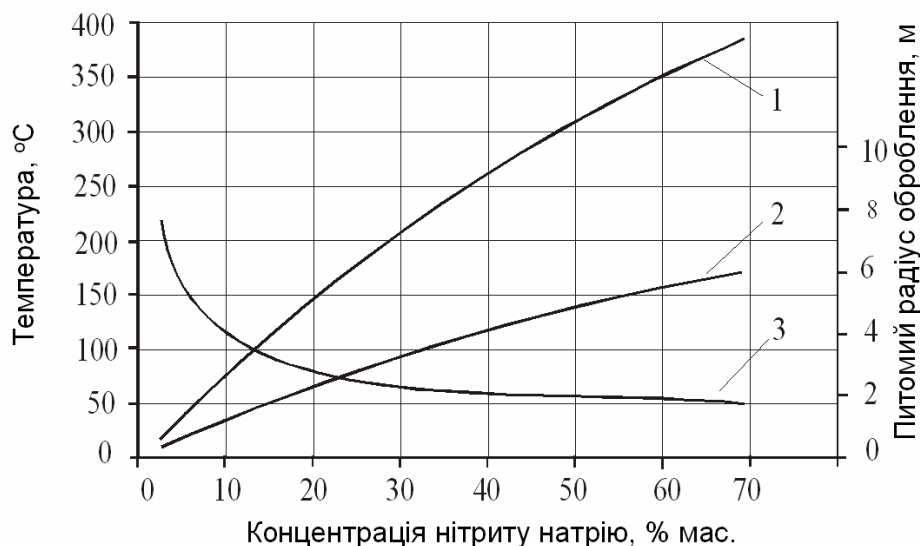
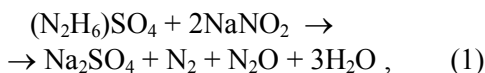


Рисунок 1 — Залежність температури розчину (1) і пласта (2) та питомого радіуса зони оброблення (3) від зміни концентрації  $\text{NaNO}_2$  в його реакції з  $(\text{N}_2\text{H}_6)\text{SO}_4$

Технічний нітрит натрію випускається трьома сортами (від другого до вищого), частка основного продукту в яких коливається від 97 до 99%. Він використовується як інгібітор для захисту від атмосферної корозії та інших цілей в хімічній, металургійній, медичній, целюлозно-паперовій та інших галузях промисловості.

Взаємодія солей гідразину та нітриту натрію відбувається з виділенням значної кількості тепла. Наприклад, сульфат гідразину  $(\text{N}_2\text{H}_6)\text{SO}_4$  реагує з нітритом натрію  $\text{NaNO}_2$  за такою схемою:



$$\Delta H_{298}^\circ = -495,39 \text{ кДж/моль}$$

У таблиці 3 наведено величини питомих теплових ефектів реакцій солей гідразину та нітриту натрію.

Як видно, в результаті запропонованих екзотермічних реакцій виділяється значна кількість тепла. На рисунку 1 наведено результати розрахунків за формулою теплового балансу температури розчину та пласта і питомого (з розрахунку на 1 м товщини пласта) радіуса теплового впливу залежно від концентрації одного з реагентів.

Реагенти, які беруть участь в реакції на вибої свердловини або в пласті, нагнітають разом

у вигляді суспензії на інертній щодо реагентів рідині-носії. У нейтральних рідинах вони не дисоціюють і, відповідно, не реагують між собою. На вибої чи в пласті вони переходять з нейтральної фази у водну, розчиняються в ній, дисоціюють на іони і вступають в екзотермічну реакцію.

Нітрит натрію має високу розчинність у воді. Так, за температури  $20^\circ\text{C}$  розчинність нітриту натрію становить  $82,9 \text{ г/100 г}$  води. З підвищенням температури розчинність реагентів ще більше зростає. Це дає змогу створювати на вибої свердловини чи в пласті за невеликої кількості води розчини високих концентрацій, що значно знижуватиме гідрофілізацію порід і забезпечить високі прирости температур у привибійній зоні. Для повної взаємодії реагентів і забезпечення максимального теплового ефекту реагенти беруть у стехіометричному співвідношенні.

Технологію реалізують так.

1. Розраховують кількість і співвідношення нітриту натрію і солі гідразину, виходячи із необхідної для оброблення кількості тепла, а також кількість води для їх розчинення.

2. На поверхні готують суміш двох реагентів на нейтральній рідині і насосним агрегатом заповнюють її в свердловину і далі – в пласт.

3. За недостатньої для розчинення всієї маси реагентів кількості води на вибої або в пласті, у свердловину нагнітають об'єм води, якого не вистачає.

Таблиця 4 – Рекомендовані величини концентрацій реагентів у рідині-носії залежно від її в'язкості

В'язкість рідини-носія, мПа·с	1-2	3-50	50-100	100-500
Концентрація реагентів, кг/м <sup>3</sup>	40-60	60-200	200-300	500-700

4. Залишають свердловину на 1-2 год. для розчинення та взаємодії реагентів і теплового впливу на породи пласта.

5. Здійснюють освоєння свердловини і пускають її в експлуатацію.

Як рідину-носії реагентів можна використати інертні рідини чи полімерні розчини. Кількість рідини-носія, яка необхідна для приготування суспензії, визначається її в'язкістю і технічними можливостями агрегатів, які використовуються для нагнітання реагентів у пласт. Концентрацію реагентів у рідині-носії встановлюють аналогічно тим критеріям, які застосовуються за рекомендацією НДІ „ТатНИПИ-нефть” для подачі піску під час гідророзриву пласта [11].

Оброблення привибійної зони пласта із застосуванням інших комбінацій реагентів проводяться так само.

Слід зауважити, що вказані реагенти є токсичними продуктами, тому зберігати та транспортувати їх необхідно з дотриманням правил санітарії, техніки безпеки та захисту довкілля. Особливу увагу слід приділяти нітриту натрію, який, розкладаючись, виділяє окисли азоту і заступенем впливу на організм відноситься до 3-го класу небезпеки. Як окисник, він сприяє самозапалюванню палив, яке може супроводжуватися вибухом. Технічний нітрит натрію упаковують в ламіновані або поліетиленові мішки, вкладені в паперові мішки, захиті машинним способом. Зберігають його в неопалених приміщеннях, окремо від горючих та інших матеріалів.

Відповідних змін потребує і технологія подавання реагентів у свердловину та проведення процесу термохімічного оброблення загалом. Вона повинна відповідати всім вимогам техніки безпеки, які пред'являють до таких реагентів із врахуванням специфічних свердловинних умов.

Таким чином, нова технологія термохімічного впливу на привибійну зону пласта дає змогу отримати приблизно удвічі більший тепловий ефект і приріст температури в оброблюваній зоні з розрахунку на одиницю маси реагентів порівняно з відомими технологіями. Крім того, позитивним чинником є також утворення в результаті реакцій азоту, що сприятиме кращому витісненню нафти. Областю застосування технології є, в першу чергу, родовища нафти яких мають високу в'язкість або підвищений вміст асфальто-смолистих компонентів та високомолекулярних вуглеводнів, температура кристалізації яких незначно відрізняється від пластової, а в нафтогазовидобувних свердловинах спостерігається кольматація привибійної зони органічним кольматантом.

### Література

1 Бойко В.С., Савенков Г.Д., Дорошенко В.М. Технологические основы и опыт применения внутрипластовых термохимических обработок // Нефтяная и газовая промышленность. – 1982. - №2. – С. 35-38.

2 Тарко Я.Б. Оценка влияния охлаждения призабойной зоны пластов на их приемистость // Экспресс-информация. Серия: Нефтепромысловое дело. – 1987. – Вып. 4. – С. 13-15.

3 Патра В.Д., Акульшин О.І., Зарубін Ю.О. Деякі результати впровадження технології термохімічної обробки привибійної зони пласта // Нафтова і газова промисловість. – 1998. – №3. – С. 29-31.

4 Тарко Я.Б. Термокислотні та термохімічні обробки пласта з застосуванням реакційних контейнерів // Збірник наукових праць Укрндігазу. – 2001. - Вип. ХХІХ. -С. 10-13.

5 Тарко Я.Б. Деякі хіміко-технологічні аспекти проведення термокислотних оброблень продуктивних пластів // Вісник Національного технічного університету України "КПІ". Серія „Гірництво”. - 2004. – С. 32-38.

6 Бойко В.С., Тарко Я.Б., Грибовський Р.В. Експериментальні дослідження процесу термокислотного діяння на продуктивні пласти // Збірник наукових праць НГУ. - 2004. – № 20. – С. 70-78.

7 Тарко Я.Б. Термокислотные обработки скважин с проведением в пласте экзотермических реакций. // Материалы II Всероссийской научно-практической конференции „Разработка, производство и применение химических реагентов в нефтяной и газовой промышленности”. (Москва, 25-26 ноября 2004 г.). - М.: РГУ нефти и газа им. Губкина, 2004. - С. 36-39.

8 Тарко Я.Б. Про комплексний підхід у технологіях очищення привибійної зони пласта депресійно-репресійною дією // Розвідка і розробка нафтових і газових родовищ”. -2005. - №2(15). - С. 66-69.

9 Яремийчук Р.С., Светлицький В.М., Савюк Г.П. Повышение продуктивности скважин при освоении и эксплуатации месторождений парафинистых нефтей. Киев, 1993. - 226 с.

10 Химическая энциклопедия / Под ред. И.Л. Кнунянц. Энциклопедия. – М.: Сонет, 1988. -Том 1. – 623 с.

11 Справочная книга по добыче нефти / Под ред. Ш.К. Гиматудинова. – М.: Недра, 1974. – 704 с.