

# НАФТОГАЗОВА ІНЖЕНЕРІЯ

УДК 622.276. 1/2

## ВИМОГИ ДО ТЕХНОЛОГІЧНИХ ВЛАСТИВОСТЕЙ ДИСПЕРСНИХ МАТЕРІАЛІВ, ПРИДАТНИХ ДЛЯ ТАМПОНУВАННЯ ТРІЩИН У ПРОЦЕСІ ВИДОБУВАННЯ НАФТИ

<sup>1</sup>В.С. Бойко, <sup>2</sup>В.М. Дорошенко, <sup>1</sup>Р.В.Грибовський, <sup>3</sup>Р.В. Бойко

<sup>1</sup>ІФНТУНГ, 76019, м. Івано-Франківськ, вул. Карпатська, 15, тел. (0342) 994196,  
e-mail: public@iung.edu.ua

<sup>2</sup>ПАТ “Укрнафта”, 04053, м. Київ, Нестерівський пров., 3/5, тел. факс (044) 5864623  
e-mail: VDoroshenko@ukrnapta.com

<sup>3</sup>УМГ “Львівтрансгаз”, м. Львів, вул. Рубчака, 3, тел./факс (0322) 633233,  
e-mail: Rvas256@gmail.com

Дисперсні системи є найбільш придатними матеріалами для тампонування тріщин нафтового пласта як каналів передчасного проривання витіснювальних агентів (води, водних розчинів активних домішок) до видобувних свердловин, що підтверджено практикою їх використання. Мета даної роботи – обґрунтувати вимоги до технологічних властивостей тампонувальних дисперсних матеріалів. Методами дослідження вибрано класифікацію дисперсних систем за геометричними розмірами частинок дисперсної фази, механізм утворення тампонувального бар'єру, аналіз умов проникнення дисперсної фази в пори та тріщини нафтового пласта і перенесення їх у них, а також ураховано вартість матеріалів і технологічність роботи з ними та запомпювання в пласт. Це дало змогу виділити і обґрунтувати вимоги відповідності дисперсної системи структурному і концентраційному критеріям вибіркової і керованої кольматациї (відсутності кольматациї пор матриць і проникання дисперсної фази в тріщини з імовірнісним обґрунтуванням явища кольматациї полірозмірного тріщинувато-пористого середовища полідисперсною системою у вигляді суспензії), нульової плавучості дисперсної фази (за гідродинамічним критерієм, коли практично швидкість седиментації частинок рівна нулю), вартості матеріалу (оскільки може бути потреба у великих об'ємах його до 2% об'єму пласта) та технологічності роботи і запомпювання в пласт (відсутність розчинності у воді і бажане набрякання в нафті, здатність ущільнюватися в тріщинах і створювати малопроникну структуру з проникністю, близькою до проникності пласта тощо). Сформульовані вимоги дають змогу вибирати технологічний матеріал серед існуючих дисперсних систем, випуск яких освоєно виробництвом, або створювати нові дисперсні системи.

Ключові слова: розробка нафтових родовищ, обмеження припливу води.

Дисперсные системы являются наиболее подходящими материалами для тампонирования трещин нефтяного пласта как каналов преждевременного прорыва вытесняющих агентов (воды, водных растворов активных примесей) в добывающих скважинах, что подтверждено практикой их использования. Цель данной работы - обосновать требования к технологическим свойствам тампонирующих дисперсных материалов. В качестве методов исследования выбрана классификация дисперсных систем по геометрическим размерам частиц дисперсной фазы, механизм образования тампонирующего барьера, анализ условий проникновения и перехода дисперсной фазы в порах и трещинах нефтяного пласта, а также учтены себестоимость материалов и технологичность работы с ними и закачивания в пласт. Это позволило выделить и обосновать требования соответствия дисперсной системы структурному и концентрационному критериям выборочной и управляемой кольматации (отсутствия кольматации пор матрицы и проникновения дисперсной фазы в трещины с вероятностным обоснованием явления кольматации полиразмерной трещиновато-пористой среды полидисперсной системой в виде суспензии), нулевой плавучести дисперсной фазы (по гидродинамическому критерию, когда практически скорость седиментации частиц равна нулю), стоимости материала (учитывая возможность возникновения потребности в больших объемах его до 2% объема пласта) и технологичности работы и закачки в пласт (отсутствие растворимости в воде и желательного набухания в нефти, способность уплотняться в трещинах и создавать малопроницаемую структуру с про-

нищаємостью близкой к проницаемости пласта и др.). Сформулированные требования позволяют выбрать тампонажный материал среди существующих дисперсных систем, выпуск которых освоен производством, или создавать новые дисперсные системы.

Ключевые слова: разработка нефтяных месторождений, ограничение притока воды.

*The article deals with researches to select dispersed systems classification. The dispersed systems are the most suitable materials for plugging cracks of the oil reservoir as canals of untimely breakthrough of displacement agents (water, water solutions of active admixtures) to productive wells that is proved by their application in practice. The requirements to technological properties of plugging dispersed materials have been grounded. The classification of the dispersed systems according to geometry dimensions of dispersed phase particles and mechanism of the plugging barrier formation, conditions analysis of the dispersed phase penetration into the pores and cracks of the oil reservoir were chosen as the research methods and also the material cost and manufacturability of the operation with them and pumping into the reservoir were considered. It gave the possibility to select and ground the requirements of the dispersed system correspondence to structural and concentration criteria of selective and control colmatation (absence of matrix pores colmatation and dispersed phase penetration into cracks with probable grounding of the phenomenon of colmatation for polydimension cracks and porous medium by polydispersed system as a slurry), zero floatability of the dispersed phase (according to hydrodynamic criterion when the actual speed of particles sedimentation equals zero), the cost of material (as there may be a need for it in great amounts to 2% of the reservoir bulk volume) and technological works and pumping into the formation (the absence of water solubility and desired swelling in oil, ability to consolidate in the cracks and form a low permeable structure with permeability similar to the formation one etc.). The above mentioned requirements allow to choose technological material among existing dispersed systems the production of which has been mastered by the industry or create the new ones.*

Key words: oil fields development, water inflow limitation.

## Вступ

Проблема забезпечення світової спільноти нафтою була і залишається надзвичайно актуальною, а набуває ще більшої гостроти в даний час [1]. Вилучення нафти із покладів досягається найвищим за різними технологіями витіснення нафти водою (при природному чи штучному водонапірних режимах) або водними розчинами активних домішок [2]. Що супроводжується передчасними проривами води до видобувних свердловин [2]. Серед відомих причин такого прориву води по нафтоносному пласту дослідники є насамперед, наявність у пласті-колекторі різного виду і розміру тріщин, які розсікають його (здебільшого вертикально чи похило з наближенням до вертикальної площини) [3]. Звідси виникає технологічна задача тампонування каналів передчасного проривання витіснювальних агентів.

## Аналіз сучасних досліджень

Для тампонування (ізолювання) водопрвідних і вже обводнених тріщин найбільш придатними є дисперсні матеріали як наповнювачі ізоляційних сумішей або як основні водоізоляційні матеріали-кольматанти, оскільки рідинні матеріали проникають і в тріщини, і в пори [4]. До наповнювачів ізоляційних сумішей відносяться неорганічні та органічні матеріали різного ступеня дисперсності (від порошоків до гранул) і їх суспензії у водних або вуглеводневих рідинах. Вони, в першу чергу, є кольматантами порожнинного простору, а також можуть виступати як організатори просторової структури в гелях полімерів і смол, у дисперсіях із неорганічних в'язучих матеріалів. Основними наповнювачами служать азбест, порошкоподібні і гранульовані полімери чи тверді неперероблені їх відходи, гранульований магній, алюмосилікати, здуті мінерали тощо. Багато наповнювачів є твердими полімерними матеріалами. Найширше застосування знайшли поліетилен (із групи

поліолефінів), пом'якшувач, структуроутворювач, полістирол, полівініловий спирт. Ці матеріали в різних умовах забезпечували різну ефективність [4].

## Виділення невирішених питань

Невирішеними питаннями залишилась відсутність сформульованих вимог щодо придатності матеріалів для тампонування каналів передчасного проривання витіснювальних агентів.

## Формулювання цілей статті

У даній роботі метою дослідження є обґрунтування вимог до технологічних властивостей тампонувальних дисперсних матеріалів.

## Висвітлення основного матеріалу

Шляхами припливу води у видобувні свердловини та її поглинання у нагнітальних свердловинах можуть бути пори, тріщини, каверни та інші канали різного розміру. Величина розміру цих каналів обумовлює технологію виконання ремонтно-ізоляційних робіт і вибір тампонувальних матеріалів. Тому з технологічних позицій тампонувальні (ізолювальні) матеріали доцільно розділити за ступенем їх дисперсності на такі чотири групи [4]: 1) тампонажні розчини, які фільтруються в пори пласта (фільтрівні матеріали); 2) суспензії тонкодисперсних тампонажних матеріалів; 3) суспензії гранульованих (подрібнених) тампонажних матеріалів; 4) механічні пристосування і пристрої.

Проникання частинок тампонувального матеріалу в пори будь-якого тіла (наприклад, гірської породи) залежить, в основному, від співвідношення розмірів (діаметрів) пор  $d_n$  і частинок  $d_c$ . Якщо  $d_n > 10 d_c$ , то дисперсні частинки вільно переміщуються поровими каналами; якщо  $d_n < 3 d_c$  проникання відсутнє; якщо  $3 < d_n / d_c < 10$  відбувається кольматація пор (намивання частинок у пори) під час фільтрації

рідини, яка особливо сильно проявляється, якщо  $d_n \leq 5 d_c$ . Вважається, що частинки вільно переміщуються вздовж тріщини, якщо розкриття (ширина) тріщини  $d_T$  є не меншим подвоєного діаметра частинок  $d_c$ , тобто  $d_T \geq 2 d_c$  [4, 5].

Це означає, що до тонкодисперсних матеріалів відносяться матеріали, в яких  $3 < d_n / d_c < 10$  для пор і  $1 < d_c / d_T < 2$  для тріщин, а до гранульованих – якщо  $d_T \geq 2 d_c$  для тріщин. Група тампонувальних розчинів, які фільтруються в пори пласта, характеризується таким співвідношенням розмірів:  $d_n / d_c > 10$  - для пор і  $d_T / d_c > 2$  - для тріщин [5]. Тут також слід урахувати статистичні розподіли розмірів частинок і каналів та концентрацію частинок у розчині (суспензії).

На даний час запропоновано багато різних тампонажних матеріалів. Окрім механічних пристосувань і пристроїв, тампонувальний матеріал являє собою, як правило, основу для отримання тампонувального (ізолювального) бар'єру (екрану), який закупорює пори пористого середовища, тріщини тощо. У ході проведення ремонтно-ізоляційних робіт такі матеріали використовують у вигляді робочих розчинів (точніше, дисперсій з різним ступенем подрібненості частинок аж до молекулярного рівня), які є сумішшю ізолювальних матеріалів з розчинниками, сповільнювачами, стабілізаторами, наповнювачами та іншими додатками, що за певних умов у результаті фізико-хімічних перетворень переходять в ізолювальний (тампонувальний) матеріал.

Механізми утворення тампонувальних бар'єрів базуються на відомих фізичних явищах і хімічних реакціях, а саме: на взаємодії реагентів між собою або з пластовими флюїдами; полімеризації; поліконденсації; диспергуванні; топленні (плавленні); кристалізації; коагуляції; гідрофобізації і т.д. [4].

Тампонувальний бар'єр після таких перетворень матеріалів може бути гелем, емульсією, піною, дисперсним осадом або твердим тілом. При цьому він повинен витримувати створювані в пластових умовах градієнти тиску.

З технологічної точки зору всі рідинні (розчини, суспензії) ізоляційні матеріали поділяють на фільтрівні і нефільтрівні. Однак така класифікація вже ввійшла в класифікацію за ступенем дисперсності.

Аналіз і результати попередніх досліджень дали змогу сформулювати і обґрунтувати вимоги, які необхідно покласти в основу вибирання (із багатьох існуючих на практиці) чи створення нових (спеціально для поставленої мети) дисперсних систем.

### **Класифікація дисперсних систем**

Речовини можуть бути дисперговані (подрібнені) по-різному, аж до молекулярного рівня. Дисперсні системи, як відомо, являють собою гетерогенну суміш щонайменше двох фаз, одна з яких утворює псевдосуцільне середовище (дисперсійне середовище), а друга – розподілена в першому (дисперсна фаза). Три фазові (агрегатні) стани речовини (твердий, рідинний,

газоподібний) дають змогу виділити дев'ять типів дисперсних систем [6], які умовно позначають дробом. Наприклад, дробом Т/Р позначають системи з твердою дисперсною фазою і рідинним дисперсійним середовищем (тверде в рідині). За рухомістю дисперсної фази в дисперсійному середовищі розрізняють системи вільнодисперсні та зв'язанодисперсні (тверді композиції, капілярні системи і пористі тіла).

Дисперсність і концентрація дисперсної фази зумовлюють основні фізико-хімічні та гідромеханічні властивості дисперсних систем.

Із збільшенням подрібненості змінюються властивості речовини і всієї системи, характер гідродинамічної взаємодії частинок з середовищем, збільшується роль поверхневих явищ. Наприклад, суспензії з підвищенням дисперсності переходять у золі, а потім в істинні розчини.

Існує достатньо багато класифікацій дисперсних систем за розміром частинок, при цьому різні автори в поняття „великі” й „дрібні” частинки вкладають різний зміст. За цими ознаками поділу і межі між класами є достатньо умовними [6].

За співвідношенням між дифузیهю й седиментацією в колоїдній хімії вільнодисперсні системи поділяють на ультрамікрогетерогенні (розмір частинок від  $10^{-3}$  до 0,1 мкм), мікрогетерогенні (від 0,1 до 10 мкм) і грубодисперсні (понад 10 мкм) [613]. У випадку, коли діаметр частинок є меншим  $10^{-3}$  мкм, виділяють молекулярно-гетерогенні дисперсні системи. Поділ вільнодисперсних систем із більшими розмірами частинок у різних галузях науки не має будь-якого обґрунтування.

Нами пропонується умовна класифікація, яка базується на використанні ряду найкращих чисел, котрі прийняті у всьому світі, а також і в нашій країні (ГОСТ 8032-76), як універсальної системи числових значин параметрів і розмірів у всіх галузях. Звідси серед вільнодисперсних систем з розмірами частинок понад 10 мкм, тобто серед грубодисперсних (гранульованих) матеріалів виділяємо мікродисперсні (переважно вміст частинок розміром 10-100 мкм), тонкодисперсні (0,1-10 мкм) і великозернисті (10-100 мкм) дисперсні системи.

Збільшення концентрації дисперсної фази призводить до взаємодії її частинок та структуроутворення у вільнодисперсних системах.

Для створення непроникних або малопроникних бар'єрів у глибині пласта вздовж високочувливих каналів гранульовані тампонажні матеріали повинні володіти певними властивостями.

### **Відповідність дисперсної системи критеріям вибіркової і керованої коагуляції**

Гранули повинні проникати в тампоновані тріщини і не надходити в дрібні тріщини та пори матриці. Оскільки співвідношення між розмірами пор і тріщин в умовах конкретних родовищ може бути найрізноманітнішим, то інтерес викликають частинки від дисперсних порошоків до гранул розмірами, що сягають 5-10 мм.

Оскільки пористі і тріщинуваті пласти є зв'язанодисперсною системою, то в даному випадку, отримаємо задачу вивчення взаємодії вільнодисперсних систем зі зв'язанодисперсною системою. Результатом взаємодії цих систем є кольматація, тобто заповнення пустотного простору зв'язанодисперсної системи дисперсною фазою, яка знаходиться в завислому стані у вільнодисперсній системі, що фільтрується в проникний пласт. Така задача вивчалась дослідниками з різною метою, а саме стосовно до кольматації пористого середовища малокоонцентрованою мікро- та тонкодисперсною суспензією в процесі фільтрування води; кольматації проникних середовищ (при розкритті бурінням нафтових, газових та водяних пластів у свердловинних умовах); підбору щілинних і гравійних свердловинних фільтрів (у разі винесення піску із продуктивного пласта); визначення допустимої концентрації механічних та емульгованих домішок у запомповуваній воді (при заводненні нафтових родовищ).

Механізм кольматації за результатами виконаних досліджень уявляється як складний процес механічного закупорювання пор з подальшого чи одночасною фізико-хімічною взаємодією кольматувальних частинок із каркасом гірської породи і між собою з утворенням коагуляційних зв'язків.

Як критерій фільтрівності (чи критерій кольматації) суспензії в пористі середовища або щілини (тріщини) взято геометричний (структурний) симплекс, який визначається або відношенням діаметра пор  $d_n$  (розкриття тріщини  $\delta$ ) до діаметра кольматувальних частинок (гранул)  $d$ , або відношенням діаметра частинок гравійного фільтра  $D_\phi$  до діаметра гранул  $d$ .

Спочатку критерій фільтрівності обґрунтовували з урахуванням склепіноутворення частинок біля входу в пору чи щілину (арковий ефект). Потім спостерігалась тенденція до більш жорстких вимог, тобто, щоб частинка, яка просувається, разом із сольватною плівкою, котра її оточує, повністю умістилася у вільному просторі найбільш стисненого перерізу порового каналу [7].

З урахуванням аркового ефекту чи склепіноутворення в порових каналах проникання завислих частинок може бути відсутнім за умови  $d_n/d < 3$ . За умови  $3 < d_n/d < 10$  відбувається кольматація пор під час фільтрації, яка особливо яскраво спостерігається в разі  $d_n/d \leq 5$ , а за умови  $d_n/d > 10$  дисперсні частинки вільно переміщуються поровими каналами.

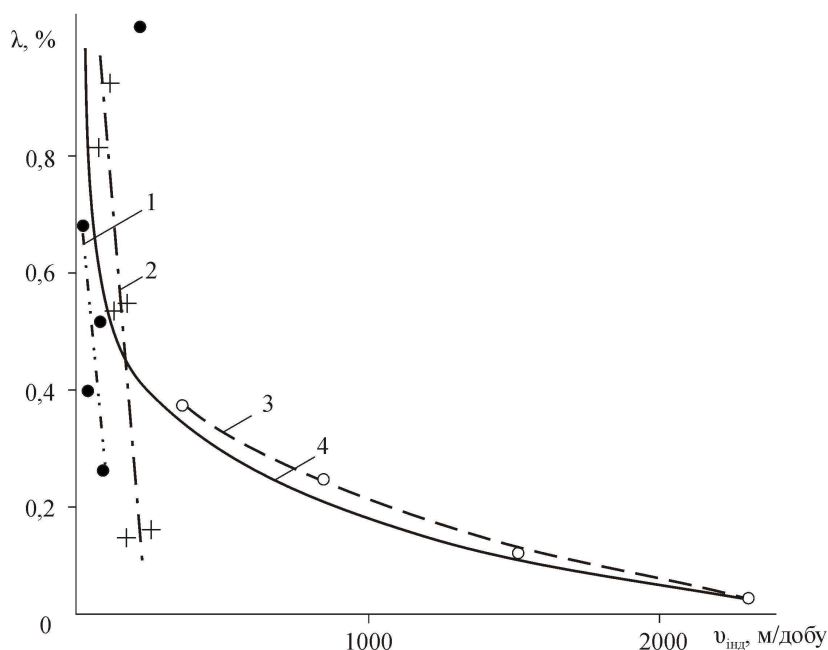
Р. Сосьє [7] запропонував підбирати гравійні фільтри так, щоб медіанний діаметр гравію (діаметр частинок 50%-ного відсіву) був у 5-6 разів більшим медіанного діаметра піску. За відношень медіанних діаметрів 6-14 відбувається кольматація гравію. За відношень діаметрів, що перевищують 14, пісок вільно проходить крізь гравій. Пенберті і Коуп [7] експериментами підтвердили ці рекомендації Р.Сосьє і показали, що неоднорідні пластові піски дуже кольматують гравійні фільтри. А.Р. Везіров експериментальним шляхом також установив, що

за відношень медіанних діаметрів рівних 5 має місце фільтраційне затримання частинок, за значин від 5 до 10 – значна кольматація, а за відношень понад 18 гравійний фільтр пропускає практично всі дисперсні частинки (гравійне укладання було прийнято достатньо однорідним, причому відношення найбільшого діаметра до найменшого не перевищувало 2).

Приймаючи  $d_n=d$  і нехтуючи товщиною сольватної оболонки, за Сліхтером цей критерій можна записати  $D_\phi > 4,8d$ , а за В.І. Істоміною у випадку нещільного укладання куль  $D_\phi > 2,4d$  і за щільного –  $D_\phi > 6,4d$ . Теоретично було встановлено [7], що викладені вище рекомендації стосовно пористого середовища можуть бути прийняті, якщо об'ємна концентрація суспензії не перевищує 0,75%. За більшої концентрації на поверхні пористого середовища утворюється осад (кірка), тобто повинен виконуватися концентраційний критерій. Експериментами було також показано [7], що чим більша концентрація суспензії (до 0,75%), тим менша глибина проникання частинок. Найбільш дисперсні частинки затримувалися в піску швидше, ніж грубіші, які здатні проникати в пісок на значно більшу глибину. Є.М. Сергєєв пояснив це тим, що більш дисперсні частинки мають велику поверхневу енергію і тому легше адсорбуються на поверхні піщаних частинок, ніж великі, накопичення яких в порах кольматованого піску має характер простого механічного затримання із збереженням відносно рухомих плівкових контактів [7].

Дослідженнями Коберлі [7] встановлено, що для затримання пластового піску ширина щілини фільтра повинна дорівнювати двом діаметрам частинок 90%-го відсіву пластового піску широкої фракції і одному діаметру окатаних частинок 85-90%-ного відсіву пластового піску більш однорідного фракційного складу. А.В.Везіров [7] рекомендує брати розкриття щілин каркасу гравійного фільтра менше діаметра найменших зерен гравію.

Таким чином, у залежності від дисперсності та концентрації дисперсної фази істотно змінюються фізико-хімічні та реологічні властивості вільнодисперсних систем, може мати місце утворення поверхневого осаду на входному торці тріщинувато-пористого середовища, внутрішня кольматація чи винесення дисперсної фази із середовища. Ці особливості необхідно враховувати під час проведення робіт, пов'язаних із регулюванням просування води нафтовим чи газоконденсатним пластом й інтенсифікацією нафтогазовидобування з тріщинувато-пористих пластів, розкриттям продуктивного пласта бурінням, заводненням нафтових і газоконденсатних покладів. Аналізуючи раніше виконані роботи робимо висновок, що ізолювання припливу пластових вод, регулювання профілю приймальності і створення потокоскорувальних бар'єрів без урахування конкретної статистичної щільності розподілу розмірів фільтраційних каналів пласта і ступеня дисперсності твердих частинок суспензії не має чіткої наукової основи.



1 – закордонський поклад Речицького родовища; 2 – поклад П<sub>1+2</sub> Лесяківського родовища;  
3 – закордонський поклад Осташковичського родовища; 4 – осереднена лінія

**Рисунок 1 – Частка λ водопровідних каналів від нафтонасиченого об’єму порожнин V<sub>вк</sub> залежно від швидкості фільтрації v<sub>інд</sub> індикатора**

Основною вимогою до дисперсних систем є відповідність дисперсної системи геометричному критерію відсутності кольматації пор матриць і проникання дисперсної фази в тріщини, що обґрунтовано нами з позиції ймовірнісного характеру явища кольматації полірозмірного тріщинувато-пористого середовища полідисперсною системою (суспензією) [4]. Необхідний фракційний склад тампонажних дисперсних матеріалів визначається співвідношеннями розкриття тріщин і розмірів пор та поставлених перед тампонуванням цілей (або закупорювання тільки високопродовідних тріщин, або тільки великих тріщин, або високопродовідних тріщин і пор та ін.). Розміри дисперсних частинок повинні змінюватися в чітко визначених межах, оскільки за наявності наддиспергованих частинок (аж до молекулярного рівня) спостерігатиметься небажане закупорювання мало- і середньопористих пор і тріщин.

Не менш важливою вимогою до дрібнодисперсних систем для забезпечення кольматації пор є необхідність виконати умову концентраційного критерію, за якої матиме місце проникання твердих частинок у пористе середовище без утворення поверхневої кірки на його зовнішньому (вхідному) торці. Обґрунтована нами ймовірнісно-статистична модель дає змогу встановити максимально допустиму концентрацію твердої фази в дисперсній системі, за якої вона проникатиме в пористе середовище без утворення кірки (типу глинистої кірки) на його поверхні.

#### Нульова плавучість дисперсної фази

Друга основна вимога – це дотримання гідродинамічного критерію нульової плавучості чи плавучості, яка близька до нуля (різниця гу-

стин  $\Delta\rho \approx 0$ ), коли практично швидкість седиментації (спливання, осідання) частинок  $w \approx 0$ . Оскільки доставляння частинок вглиб нафтогазового пласта доцільно здійснювати з допомогою води (водних розчинів), то густина речовини дисперсної фази повинна бути в межах густини води ( $950 - 1100 \text{ кг/м}^3$ ). Це дає змогу здійснювати перенесення гранул на великі відстані практично незалежно від швидкості руху води. Щоб забезпечити “необмежену” глибину перенесення гранул у тріщині, треба або до апіорі заданих гранул (точніше до густини їх матеріалу) підібрати відповідну густину носія (прісна чи пластова мінералізована вода, розчини солей), або навпаки, щоб отримати швидкість седиментації  $w = 0$ .

#### Вартісна вимога

Третю вимогу назвемо вартісною. Для тампонування тріщин в умовах конкретних родовищ можуть бути потрібні великі об’єми тампонажного матеріалу, тому він повинен бути порівняно дешевим. Об’єми тріщинуватих зон, які встановлено, наприклад, на родовищах Куйбишевської області з використанням індикатора, дорівнюють  $5,2 - 57,6 \text{ м}^3$  (понад 2% об’єму пласта) [8]. На рис. 1 показано залежність частки λ водопровідних каналів у нафтонасиченому об’ємі порожнин V<sub>вк</sub> від швидкості руху індикатора v<sub>інд</sub>, яка побудована нами за даними роботи [9]. Ці значини відповідають загальноприйнятим уявленням про тріщинні порожнини.

#### Технологічні вимоги

Технологічні вимоги до дисперсної системи зводяться до наступного. Речовина гранул не повинна розчинятися у воді чи в іншому но-

сії; бажане набрякання гранул у нафті, що буде сприяти зменшенню проникності їх шару та утворенню малопроникної структури.

Гранули повинні володіти здатністю самоущільнювання (за наявності нафти чи інших речовин) доущільнення потоком носійної рідини з утворенням малопроникної структури.

Частинки дисперсної фази після надходження в тріщини пласта повинні утворювати непроникний чи малопроникний шар, коефіцієнт проникності якого співставити із коефіцієнтом проникності пористих матриць гірської породи. Механізм утворення такого шару може базуватися на різних фізико-хімічних явищах і процесах.

Частинки не повинні змінювати своїх фізико-хімічних, дисперсних та інших характеристик у транспортувальній рідині в процесі введення їх у пласт. Частинки та утворений шар не повинні руйнуватися під дією температури нафти і води, а також змінювати своїх тампонувальних властивостей при атмосферних умовах.

Вони повинні легко утворювати суспензію, характеризуватися доброю пропомповуваністю, яка виключає закупорювання циркуляційної системи, і мінімальною абразивністю.

Отже, сформульовано і обґрунтовано вимоги, які повинні бути покладені в основу вибору (із багатьох існуючих на практиці) або створення нових дисперсних систем, прикладних для вибіркового, керованого тампонування високопрвідних тріщин тріщинувато-пористого пласта (геометричний, концентраційний, гідродинамічний, технологічний і вартісний критерії).

Сформульованим вимогам відповідає ряд подрібнених порошкоподібних, гранульованих матеріалів, які випускаються в промислових кількостях, із яких для створення потоковідхилювальних бар'єрів у міжсвердловинних зонах пласта поки-що можна обмежитися тонкодисперсними пом'якшувачем, полімерами (поліолефіни, полістирол і його похідні, полівініловий спирт), високоокисленим бітумом (структуроутворювачем), рубраксом Б, використанням яких у нашій практиці тампонування тріщин у продуктивному пласті досягнуто високої техніко-економічної ефективності.

### Висновки

Для тампонування тріщин нафтового пласта як каналів передчасних і аварійних проривань витіснювальних агентів (води, водних розчинів активних домішок) найбільш придатними є дисперсні матеріали у вигляді суспензій. З метою підвищення ефективності їх використання обґрунтовано вимоги до технологічних властивостей тампонувальних дисперсних матеріалів, що уможливорює апріорі вибирати такі матеріали серед існуючих, або створювати нові. На основі класифікації дисперсних систем і аналізу механізму утворення тампонувальних бар'єрів обґрунтовано, що дисперсні системи повинні відповідати розробленим нами вимогам вибіркової і керованої кольматації (струк-

турний і концентраційний критерії) і нульової плавучості дисперсної фази (гідродинамічний критерій) та вартісний і технологічний вимогам. Базуючись на цих вимогах, нами в промисловій практиці досягнуто високої техніко-економічної ефективності використанням пом'якшувача, полістиролу, полівінілового спирту, структуроутворювача. Продовженням цих робіт бачимо у підборі існуючих і створення нових матеріалів, що вимагатиме розширення вимог до них.

### Література

- 1 Бойко В.С. Технологія видобування нафти / В.С. Бойко. – Івано-Франківськ: Нова Зоря, 2012. – 827 с.
- 2 Бойко В.С. Технологія розробки нафтових родовищ / В.С. Бойко. – Івано-Франківськ: Нова Зоря, 2011. – 509 с.
- 3 Бойко В.С. Підземна гідромеханіка / В.С. Бойко – 2-е видання. – Львів: Априорі, 2007 – 449 с.
- 4 Обводнення газових і нафтових свердловин: У 3-х томах, 4-х книгах. – Том 1. За редакцією В.С. Бойка / В.С. Бойко, Р.В. Бойко, Л.М. Кеба, О.В. Семінський. – Технологічні матеріали і способи ізоляції. – Київ: Міжнародна економічна фундація, 2006. – 792 с.
- 5 Експлуатація свердловин у нестійких колекторах / В.С. Бойко, І.А. Франчук, С.І. Іванов, Р.В. Бойко. – Київ: Книгодрук, 2004. – 400 с.
- 6 Фролов Ю.Г. Курс коллоидной химии. Поверхностные явления и дисперсные системы. – Москва: Химия, 1982. – 400 с.
- 7 Сьюмен Д. Справочник по контролю и борьбе с пескопроявлениями в скважинах / Д. Сьюмен, Р. Эллис, Р. Снайдер; пер. с англ.; пер. и ред. М.А. Вайгера. – Москва: Недра, 1986. – 176 с.
- 8 Выжигин Г.Т. Трещиноватые зоны и их влияние на условия разработки нефтяных залежей / Г.Т. Выжигин, И.И. Ханин // Нефтяное хозяйство. – 1973. – №2. – С. 33-36.
- 9 Совершенствование разработки залежей с трудноизвлекаемыми запасами нефти / О.Ф. Мартынцив, Б.Г. Парахин, Г.В. Кляровский, Н.С. Сабанеева. – Москва: ВНИИОЭНГ. – 1984. – 58 с.) Обз. инф.: серия Нефтепромысловое дело. Вып. 5 (35)).

Стаття надійшла до редакційної колегії  
10.09.13

Рекомендована до друку  
професором **Тарком Я.Б.**  
(ІФНТУНГ, м. Івано-Франківськ)  
професором **Зарубіним Ю.О.**  
(ТОВ «НВП «Центр нафтогазових ресурсів»,  
м. Київ)