Дослідження та методи аналізу

УДК 622.276.05

DOI: 10.31471/1993-9973-2020-2(75)-24-31

ОЦІНКА ЕФЕКТИВНОСТІ СВЕРДЛОВИННОГО ФІЛЬТРА ЗАСТОСУВАННЯМ ІМІТАЦІЙНОГО МОДЕЛЮВАННЯ

¹О. Я. Фафлей, ¹Р. О. Дейнега, ¹В. В. Михайлюк, ¹А. В. Семенчук, ²Б. І. Звір

¹ІФНТУНГ; 76019, м. Івано-Франківськ, вул. Карпатська, 15; тел. +38 068 7640014,
e-mail: o l e r a 3 2 @ u k r . n e t

²Дрогобицький механіко-технологічний коледж; м. Дрогобич, вул. Раневицька 12;
e-mail: m o n u d m t @ u k r . n e t

Процес експлуатації нафтового родовища на пізній стадії розробки характеризується значним вмістом механічних домішок у видобутій сировині та високим ступенем її обводнення. Обводненість активно впливає на процеси винесення пластового піску і руйнування слабкоцементованих порід продуктивних горизонтів на родовищах. Щоб інтенсифікувати відбір пластової рідини з видобувних свердловин, потрібно застосовувати більш продуктивні насоси та збільшувати глибини їх опускання. Однак це призводить до зростання депресії на пласт і, як правило, до інтенсивнішого винесення механічних домішок з колектора. Пісок, що виноситься з пласта, є високоабразивним агентом, який спричиняє зношування не лише елементів насосів, а і насосно-компресорних труб, засувок, дроселів тощо. Прогнозування впливу механічних домішок на елементи насосного обладнання для видобутку нафти є складним завданням, що вимагає врахування безлічі різноманітних факторів. Пісок, що виноситься з свердловин, накопичується в трубопроводах, а на групових замірно-насосних установках – у вимірювальних вузлах, сепараторах, клапанах тощо. На установках підготовки нафти або конденсату піском засмічуються технологічні ємності та резервуари. Найчастіше для боротьби із винесенням піску застосовується метод фільтрування, який хоч не є найефективнішим, але відрізняється надійністю, низькою вартістю та екологічною безпекою. Проаналізовано декілька конструкцій свердловинних фільтрів. Для оцінки ефективності свердловинного фільтра проведено його дослідження за допомогою імітаційного моделювання. Встановлено залежність кількості винесених частинок від їх діаметру, із врахуванням гідродинамічних процесів та характеристик робочого середовища.

Ключові слова: механічні домішки, пісок, обводненість, насосне обладнання, фільтр, імітаційне моделювання.

Процесс эксплуатации нефтяного месторождения на поздней стадии характеризуется значительным содержанием механических примесей в добытом сырье и высокой степенью его обводненности. Обводненность играет значительную роль в процессах выноса пластового песка и разрушения слабоцементированных пород продуктивных горизонтов на месторождениях. На сегодня с целью интенсификации отбора пластовой жидкости из добывающих скважин необходимо увеличивать глубины спуска и применять более производительные насосы. Однако это приводит к росту депрессии на пласт и, как правило, к более интенсивному выносу механических примесей из коллектора. Выносимый из пласта песок является высокоабразивным агентом, который вызывает износ не только элементов насосов, но и насосно-компрессорных труб, задвижек, дросселей и т.д. Прогнозирование влияния механических примесей на элементы насосного оборудования для добычи нефти является сложной задачей, требующей учета множества различных факторов.

Внесенный из скважин песок накапливается в трубопроводах и групповых замерных насосных установках – в измерительных узлах, сепараторах, клапанах и т.п. На установках подготовки нефти или конденсата песком засоряются технологические емкости и резервуары. Чаще всего для борьбы с выносом песка применяется метод фильтрации, который не является самым эффективным, но отличается надежностью, малой затратностью, а также экологической безопасностью. Проанализировано несколько конструкций скважинных фильтров. Для оценки эффективности скважинного фильтра проведения его исследования с помощью имитационного моделирования. Установлена зависимость количества вынесенных частиц от их диаметра, с учетом гидродинамических процессов и характеристик рабочей среды.

Ключевые слова: механические примеси, песок, обводненность, насосное оборудование, фильтр, имитационное моделирование.

The process of the oil field operation at the late stage is characterized by a significant content of mechanical impurities in the extracted raw materials and a high rate of water encroachment. Water encroachment plays a significant role in the processes of formation sand carry-over and the destruction of incompetent rocks of productive horizons in deposits. Today, to intensify the drainage of formation fluid from production wells, it is necessary to increase the depth of descent and to use more productive pumps. However, this leads to the growth of the draw down pressure and, as a rule, to more intensive sloughing of mechanical impurities out of the reservoir. First of all, the sand taken out of the formation is a highly abrasive agent, which causes the wear not only of the pump elements, but also of the tubings, valves, throttles, etc. Predicting the impact of mechanical impurities on the elements of the pumping equipment for oil production is a complex task that requires consideration of many different factors. The sand which is carried out of wells is accumulated in the pipelines. Besides, it is accumulated in measuring units, separators, valves and other parts of group metering and pumping units. Process tanks and reservoirs at oil or condensate treatment plants are clogged with sand. To combat sloughing of sand, in most cases the method of filtration is used. This method is not the most effective, but it is reliable, low cost, and environmentally friendly. Several constructions of downhole filters are analyzed. To evaluate the efficiency of the downhole filter, its research is carried out using simulation modeling. The dependence of the number of sloughed particles on their diameter is established in accordance with the hydrodynamic processes and characteristics of the working environment.

Keywords: mechanical impurities, sand, water encroachment, pumping equipment, strainer, simulation.

Вступ

У складі видобутої нафти багатьох нафтових свердловинах в Україні присутні механічні домішки, що є однією з основних причин скорочення міжремонтного періоду застосовуваного підземного і наземного обладнання.

Найчастіше ця ситуація спостерігається на пізній стадії розробки родовища, коли видобуток нафти супроводжується високим ступенем обводнення. Обводнення відіграє значну роль в процесах інтенсифікації винесення пластового піску і руйнування слабкозцементованих порід продуктивних горизонтів на родовищах.

Винесення піску в свердловину пояснюється дією сил тертя і градієнтом тиску під час фільтрації пластової рідини.

Застосування більш продуктивних насосів і збільшення глибини їх опускання і під час видобування нафти призводить до зростання депресії на пласт і, як правило, до інтенсивнішого винесення механічних домішок з колектора [3].

Наявні у свердловинній продукції механічні домішки в процесі експлуатації родовищ стають причиною цілої низки ускладнень. Оскільки пісок, що виноситься з пласта, є абразивом і спричиняє зношування елементів насосів, насосно-компресорних труб, засувки, дроселів тощо [2].

Аналіз досліджень і публікацій

Механічні домішки, які містяться в пластовій рідині та входять до складу відкладень на поверхні нафтопромислового обладнання, є твердими речовинами. Походження механічних домішок зазвичай обумовлено такими причинами:

- 1) винесенням твердих частинок з пласта при освоєнні і експлуатації свердловин;
- 2) у результаті проведення геологотехнічних заходів і технологічних операцій на свердловинах;
- 3) після проведення гідророзриву пласта (ГРП) утворюються частки, що вносяться до складу розчинів для глушіння, проппанта тощо;
- 4) корозією підземного обладнання;
- 5) взаємодією хімічно несумісних речовин, що перекачуються.

Основною вимірною характеристикою механічних домішок є кількість зважених часток (КЗЧ) в мг/л.

Серед основних факторів, що визначають величину концентрації домішок, традиційно виділяють наступні:

- 1) глибина залягання пласта і пластовий тиск;
- 2) проникність пласта;
- 3) фізико-хімічні властивості видобутої рідини;

- 4) обводненість;
- 5) характеристики частинок піску;
- 6) дебіт свердловини;
- 7) щільність перфорації;
- 8) депресія;
- 9) тип робочої рідини, що використовується у процесі ремонтно-відновлювальних робіт.

Слід зазначити, що КЗЧ у продукції свердловини залежить від часу. В результаті систематичного аналізу промислового матеріалу виявлено, що різке збільшення вмісту механічних домішок (до двох порядків за величиною) зазвичай обумовлено такими причинами [4]:

1) пуск насосів та виведення свердловин на режим після ремонту (капітального або поточного);

2) короточасні зупинки подачі, наприклад, при відключенні електроенергії, і наступні пуски свердловин;

За останні роки у співтоваристві інженерів-нафтовиків ствердилася думка про те, що кількість зважених часток не є показником ерозійної агресивності середовища: крім КЗЧ на абразивні властивості механічних домішок впливають також:

- гранулометричний склад (розподіл часток за розміром);
- твердість (характеристика абразивних властивостей частинок, що впливає на інтенсивність зношування);
- мінеральний склад (вміст кварцу, польового шпату, уламків гірських порід тощо);
- сферичність;
- гострота граней.

Прогнозування впливу механічних домішок на елементи насосного обладнання для видобутку нафти є складним завданням, що вимагає врахування безлічі різних факторів. Сьогодні відсутня єдина теоретична модель, що дозволяє прогнозувати інтенсивність впливу абразивних частинок на нафтовидобувне обладнання, і, як наслідок, строго обґрунтований алгоритм вибору технологій його захисту. На практиці рішення на користь тієї чи іншої технології приймається за результатами промислових випробовувань.

Винесення механічних домішок чинить суттєвий вплив на показники напруцювання УЕВН. Зазвичай вважають, що великі за розміром механічні частинки спричиняють заклинювання насоса, а дрібні – вібрацію і підвищене абразивне зношування.

Відповідно до зібраних за останні роки статистичних даних для різних родовищ відсоток поломок електровідцентрових насосів від

дії механічних домішок є найбільшим і суттєво перевершує вплив інших факторів.

Наявність механічних домішок ускладнює не тільки експлуатацію насосного обладнання для видобутку нафти. Пісок викликає катастрофічне зношування різбових з'єднань насосних труб: за найменшої негерметичності з'єднань (особливо в обводнених свердловинах) він швидко «розїдає» різьбу, і через утворений канал починає протікати рідина, знижуючи подачу. З часом подача припиняється взагалі. Абразивне зношування часто зустрічається і в елементах фонтанних арматур на газоконденсатних свердловинах [3].

Пісок, що виноситься з свердловин, потрапляє в промислову систему нафтогазозбору, накопичується у трубопроводах, а на групових замірно-насосних установках – у вимірювальних вузлах, сепараторах, клапанах. На установках підготовки нафти або конденсату піском засмічуються технологічні ємності та резервуари.

Внаслідок утворення піщаних пробок на вибої свердловин знижується або повністю припиняється вилучення свердловинної продукції. Тоді необхідно проводити поточний ремонт свердловини для їх видалення [2].

Зменшення міжремонтного періоду основних засобів, ремонт або купівля нового обладнання сприяють підвищенню собівартості видобутої нафти і зниженню рентабельності виробництва, тому нафтові компанії змушені застосовувати ефективні заходи для боротьби з негативним впливом механічних домішок [5].

Найбільш ефективним підходом до проблеми винесення механічних домішок з видобутою продукцією є розроблення і застосування комплексу заходів, спрямованих на попередження, затримання і зниження негативного впливу домішок на промислове обладнання. Серед таких заходів є зміцнення привибійної зони пласта, обладнання свердловин фільтрами, проведення капітального ремонту в комплексі з обмеженням водопритоків, контроль за КЗЧ у процесі експлуатації, виведення свердловини на оптимальний режим з урахуванням комплексного впливу всіх діючих факторів тощо [1].

Найчастіше для боротьби із винесенням піску застосовується метод фільтрування, який хоч не є найефективнішим, але надійний, менш затратний, а також екологічно безпечний.

До основних типів конструкцій фільтрів можна віднести наступні:

- 1) сітчасті,
- 2) дровові,
- 3) щілинні,
- 4) гравійні.

Рисунок 1 – Газопіщаний якір

Фільтрувальна поверхня сітчастих фільтрів зазвичай багат шарова, що дає змогу затримувати дрібні частинки (до 50 мкм), тому досить часто застосовуються в тих випадках, коли необхідно забезпечити високу ступінь очищення свердловинної продукції. Із недоліків таких фільтрів слід виділити порівняно великі гідравлічні опори і їх низьку ремонтпридатність в разі пошкодження або засмічення фільтруючих елементів.

Основним елементом дротяних фільтрів є профільований дріт, намотаний на каркас, що складається з паралельних стрижнів. Найчастіше використовують дріт трикутного профілю, причому одна з вершин трикутника спрямована всередину фільтра [6].

Конструкція щілинних (бездротових) фільтрів має багато спільного з конструкцією дротяних, оскільки пластова рідина і механічні домішки фільтруються крізь вузькі щілини (досить часто використовується назва «дротяно-щілинний фільтр»).

На відміну від дротяного фільтра, ширина щілини щілинного фільтра завжди строго фіксована. Основним недоліком класичних щілинних фільтрів є їх низька щілинність – відношення сумарної площі фільтруючих отворів до загальної площі поверхні фільтра. Для збільшення щілинності в сучасних щілинних фільтрах використовується технологія, аналогічна застосовуваний для дротяних фільтрів, коли профільовані елементи (кільця або стрижні) приварюються до опорних конструкцій. Це перешкоджає зминанню фільтра в процесі спуско-підіймальних операцій на свердловині, робить його конструкцію стійкою до зовнішніх впливів.

До гравійних відносяться фільтри, контактна до породи поверхня яких складається із гравію, який розміщують навколо опорних каркасів. Гравійні фільтри збираються на гирлі свердловини. Основною перевагою гравійних фільтрів порівняно із фільтрами інших конструкцій є те, що вони можуть успішно застосовуватися при великій неоднорідності частинок колектора.

Фільтри встановлюються в свердловину з метою очищення свердловинної продукції від піску, пропанта й інших механічних домішок. Вони повинні створювати мінімальний гідравлічний опір.

Розрахунок пропускної здатності фільтра залежно від створюваного ним перепаду тиску загалом є складним завданням, і потребує інформації про геометричні характеристики фільтра, фізико-хімічні властивості пластової рідини і гранулометричний склад твердої породи.

Аналізуючи конструкції описаних у літературних джерелах різноманітних фільтрів, можна зустріти досить цікаві їх варіанти, наприклад «Газопіщаний якір» [7]. У своєму патенті на корисну модель автор пропонує конструкцію пристрою, яка запобігає потраплянню піску і газу у свердловинний насос під час видобутку нафти (рис. 1).

Газопіщаний якір працює так. Верхнім кінцем корпусу 1 якір на різьбі з'єднується з входним клапаном свердловинного насоса та разом із ним опускається у свердловину. Нафта з розчинений у ній газом і піском надходить до горизонтальних і вертикальних отворів 3 корпусу 1 (увесь цикл показано стрілками). При цьому напрямок її руху змінюється, швидкість зменшується і відокремлюється від нафти, вна-

Рисунок 2 – Тримірна модель свердловинного фільтра

слідок чого газ не потрапляє на прийом насоса, а прямує до затрубного простору свердловини. В подальшому напрямку струмини змінюється на 180° і за рахунок внутрішніх спіралеподібних трубок 4 і конусних насадок 7, турбулізуючись, різко набирає швидкість. Внаслідок цього пісок із нафти осідає в піщовій камері 9 на заглушку 8.

Очищена від газу і піску нафта із піщаної камери 9, минаючи утримувач 5, внутрішні спіралеподібні трубки 4 і дві сегментні порожнини 2, крізь корпус 1 всмоктується насосом.

При черговому підйманні насоса із свердловини (за будь-яких обставин) заглушка 8 вигвинчується із труби 6, і піщана камера 9 після очищення від піску, встановлюється на своє місце. Газопіщаний якір готовий до чергового опускання у нафтову свердловину.

Залежно від кількості піску, що виділяється із нафтової свердловини, труба 6 може бути подовжена шляхом нарощування – пригвинчення додаткових труб. При цьому загальна ємність піщаної камери 9 повинна бути такою, щоб рівень заповнення її піском був нижчим рівня розміщення конусних насадок 7. Саме ж очищення свердловинного фільтра повинно збігатися за терміном із заміною спрацьованого свердловинного штангового насоса, щоб уникнути позачергового його підймання.

Перевагами цього свердловинного фільтра є:

- висока ефективність сепарації газу і піску від нафти за рахунок зміни напрямку і швидкості потоку рідини, а також її турбулізації;
- простота конструкції;
- простота очищення фільтра від піску.

Отже, ефективність свердловинного фільтра зумовлена поділом внутрішньої циліндричної порожнини корпусу на дві сегментні порожнини перетинкою, в якій виконано перехресні горизонтальні і вертикальні отвори. У ці отвори встановлено один кінець внутрішніх трубок спіралевидної форми, а протилежний їх кінець – в утримувачі, розташованому в піщаній камері.

Мета роботи та обґрунтування необхідності її виконання

Оскільки проведення будь-яких досліджень на натурній моделі є високовартісним, а оцінити запропоновану конструкцію обладнання аналітичним способом є досить складно, авторами пропонується до застосування імітаційне моделювання. Застосовувані при цьому комп'ютерні програми дають можливість досліджувати обладнання (визначати його напружено-деформований стан, прогнозувати довговічність, моделювати поведінку гідрогазодинамічних потоків тощо).

Викладення основного матеріалу

Для проведенні імітаційного моделювання побудовано тримірну модель свердловинного фільтра (рис. 2).

Вхідними даними для проведення імітаційного дослідження є:

- тиск на вході – 1,3 МПа;
- витрата рідини – $0,0004 \text{ м}^3/\text{с}$;
- робоча рідина – «Olive oil», що має характеристики, відображені у бібліотеці програми FlowSimulation;
- фракція піщинок розмірами 1, 2, 3, 4, 5 мм.

На рис. 3 зображено описані вище граничні умови, прикладені до фільтра.

На рисунках 4-11 наведено результати, отримані за допомогою імітаційного моделювання.

Згідно з рис. 4 гідралічний опір, що створюється конструкцією фільтра, становить 0,36 МПа. Слід зауважити, що основними елементами, які створюють цей опір, є конусні насадки.

Щодо траєкторій руху фракцій піску (рис. 7-11), то, як бачимо, із збільшенням діаметру частинок піщинки починають швидше осідати.

Рисунок 3 – Граничні умови, прикладені до фільтра

Щоб оцінити ефективність свердловинного фільтра, застосовано функцію програми «Расчеты движения частиц».

Встановлено залежність кількості винесених частинок від їх діаметру, відповідно із врахуванням гідродинамічних процесів та характеристик робочого середовища (рис. 12).

Отже, зважаючи на особливості конструкції побудованої тримірної моделі свердловинного фільтра, можна зробити такі висновки:

1. Максимальна величина перепаду тиску згідно вхідних даних у пристрої становить 0,36 МПа.

2. Максимальна швидкість руху рідини через пристрій спостерігається на насадках і становить близько 18 м/с.

3. Ефективність виловлення частинок за допомогою свердловинного фільтра становить від 67 до 96 %.

Висновки

За допомогою імітаційного моделювання встановлено залежність кількості винесених частинок піску від їх діаметру для моделі свердловинного фільтра.

Попри низьку ефективність досліджуваного фільтра, все ж не варто залишати її без належної уваги. Цей фільтр, на відміну від інших типів, має значну перевагу – не засмічується механічними домішками (не спричиняє зростання гідравлічного опору при роботі).

В подальшому варто було б модернізувати конструкцію описаного фільтра та, можливо, поєднати її із іншими типами фільтрів.

Рисунок 4 – Розподіл тиску у поперечному перерізі моделі

Рисунок 5 – Розподіл швидкості у поперечному перерізі пристрою

Рисунок 6 – Траєкторії руху рідини без вмісту фракції піску

Рисунок 7 – Траєкторії руху фракції піску (1мм)

Рисунок 8 – Траєкторії руху фракції піску (2мм)

Рисунок 9 – Траєкторії руху фракції піску (3мм)

Рисунок 10 – Траєкторії руху фракції піску (4мм)

Рисунок 11 – Траєкторії руху фракції піску (5мм)

Рисунок 12 – Залежність кількості винесених частинок від їх діаметру

Література

1. Клещенко И.И., Зозуля Г.П., Ягафаров А.К. Теория и практика ремонтно-изоляционных работ в нефтяных и газовых скважинах: учебное пособие. ТюмГНГУ, 2010. 344 с.

2. Басарыгин Ю.М., Будников В.Ф., Булатов А.И. Теория и практика предупреждения осложнений и ремонта скважин при их строительстве и эксплуатации в 6 т. Справочное пособие. Москва: Недра-Бизнесцентр. Т. 3, 2003. 431 с.

3. Бахтизин Р.Н., Смольников Р.Н. Особенности добычи нефти с высоким содержанием механических примесей. *Нефтегазовое дело*. 2012. № 5. С. 159–170.

4. Тананыхин Д. С. Обоснование технологии крепления слабосцементированных песчанников в призабойной зоне нефтяных и газовых скважин химическим способом: диссертация на соискание ученой степени кандидата технических наук. СПб.: НМСУ «Горный», 2013.

5. Ивановский В. Н., Дарищев В. И., Сабиров А. А., Каштанов В. С., Пекин С. С. Скважинные насосные установки для добычи нефти. М.: Нефть и газ. РГУ нефти и газа им. И.М. Губкина, 2002. 824 с.

6. Кудрявцев И. А. Совершенствование технологии добычи нефти в условиях интенсивного выноса мехпримесей (на примере Самотлорского месторождения): диссертация на соискание ученой степени кандидата технических наук. Тюмень: ТюмГНГУ, 2004.

7. Патент № 15982, Україна, E21B 43/00. Газопіщаний якір / Товариство з обмеженою відповідальністю "УКРАЇНСЬКА ТЕХНОЛОГІЧНА КОМПАНІЯ" (UA) / Ценципер Адольф Ісаакович. u200601397; Заявл. 13.02.2006; Опубл. 17.07.2006, Бюл. № 7. 2 с.

References

1. Kleshchenko I.I., Zozulya G.P., Yagafarov A.K. Teoriya i praktika remontno-izolyatsionnykh rabot v neftyanykh i gazovykh skvazhinakh: Uchebnoe posobie. TyumGNGU, 2010. 344 p. [in Russian]
2. Basarygin Yu. M., Budnikov V. F., Bulatov A. I. Teoriya i praktika preduprezhdeniya oslozhnenii i remonta skvazhin pri ikh stroitelstve i ekspluatatsii v 6 t. Spravochnoe posobie. Moskva: Nedra-Biznestsentr. Vol. 3, 2003. 431 p. [in Russian]
3. Bakhtizin R. N., Smolnikov R. N. Osobennosti dobychi nefiti s vysokim soderzhanіem mekhanicheskikh primesei. *Neftegazovoe delo*, 2012. No 5. P. 159–170. [in Russian]
4. Tananykhin D. S. Obosnovanie tekhnologii krepleniya slabostsementirovannykh peschanikov v prizaboіnoi zone neftyanykh i gazovykh skvazhin khimicheskim sposobom: dissertatsiya na soiskanie uchenoi stepeni kandidata tekhnicheskikh nauk. SPb.: NMSU «Gornyi», 2013. [in Russian]
5. Ivanovskii V. N., Darishchev V. I., Sabirov A. A., Kashtanov V. S., Pekin S. S. Skvazhinnye nasosnye ustanovki dlya dobychi nefiti. M.: Neft i gaz. RGU nefiti i gaza im. I.M. Gubkina, 2002. 824 p. [in Russian]
6. Kudryavtsev I. A. Sovershenstvovanie tekhnologii dobychi nefiti v usloviyakh intensivnogo vynosa mekhprimesei (na primere Samotlorskogo mestorozhdeniya): dissertatsiya na soiskanie uchenoi stepeni kandidata tekhnicheskikh nauk. Tyumen: TyumGNGU, 2004. [in Russian]
7. Patent № 15982, Україна, E21B 43/00. Gazopishchanii yakir / Tovaristvo z obmezenoyu vidpovidalnistyu "UKRAЇNSKA TEKHOLOGICHNA KOMPANIYA" (UA) / Tsentsiper Adolf Isaakovich. u200601397; Zayavl. 13.02.2006; Opubl. 17.07.2006, Byul. No 7. 2 p. [in Russian]