

А.В. Павличенко¹, д-р техн. наук;
А.О. Ігнатов¹, Є.М. Ставичний², кандидати технічних наук

¹Національний технічний університет «Дніпровська політехніка», пр. Дмитра Яворницького, 19, 49027, м. Дніпро, Україна, e-mail: A_3000@i.ua

²ПАТ «Укрнафта», Несторівський пров., 3-5, 04053, Київ, Україна, e-mail: stavichniy@i.ua

ОСОБЛИВОСТІ ТЕХНІКО-ТЕХНОЛОГІЧНОГО СУПРОВОДЖЕННЯ ОПЕРАЦІЙ КРІПЛЕННЯ ТА ЦЕМЕНТУВАННЯ СВЕРДЛОВИН

В статті наведено результати ґрунтового аналітичного і лабораторного вивчення базових факторів надійної реалізації процесів кріплення та цементування експлуатаційних нафтогазових свердловин, за наявності для них складних геолого-літологічних і технологічних умов, шляхом розробки та впровадження інноваційних прийомів і методів забезпечення якості стовбура свердловини.

Дослідження основних особливостей споруджування свердловин у складних умовах, зокрема процесів їх підготовки до кріплення та наступного цементування, виконано із застосуванням сучасних методів аналітичного аналізу й експериментальних досліджень із використанням прийомів математичного та фізичного моделювання, методик моделювання та обробки результатів.

Проаналізовано основні проблематичні питання розробки нафтогазових родовищ, з огляду на необхідність створення для них надійних каналів транспортування вуглеводневої сировини. Сформульовано ключові вимоги до технологічного циклу проведення операцій з кріплення та наступного цементування стовбура свердловини, ускладненого наявністю в ньому потужних товщ осадових відкладень з кавернозними виробками в них. Окреслено деякі суттєві напрямки вдосконалення техніко-технологічних прийомів і методів циклу кріплення свердловин в складних геолого-літологічних умовах. В якості пріоритетного напрямку розвитку технології кріплення свердловин обрані прийоми та методи підготовки стовбура свердловини до спуску обсадної колони з її наступним кріпленням. Обґрунтовано необхідність встановлення фізичної та гідравлічної сутності явищ та процесів, які відбуваються при роботі пристроїв для обробки стовбура споруджуваної свердловини. Показано перспективність застосування тих пристроїв для обробки стовбура свердловини, які дозволяють створювати активний рух промивальної рідини в застійних зонах означеної гірської виробки.

Ключові слова: *глинисті осадові відкладення, каверна, стовбур свердловини, кріплення, умови буріння, лопатевий механізм, цементний камінь, колона обсадних труб, процеси видобутку, активний потік рідини.*

Постановка проблеми

Проблематика розробки родовищ рідких та газоподібних корисних копалин неодмінно пов'язана із необхідністю спорудження особливого класу гірських виробок – бурових свердловин, які виступають єдиним каналом транспортування, в даному випадку, нафти і газу на денну поверхню [1].

Свердловина являє собою складну інженерну споруду значної глибини та спеціальної конструкції [2]. Для експлуатаційних свердловин, якими і виступає клас останніх під загальним термінологічним визначенням – нафтогазові, важливим є те, що вони повинні забезпечити достатньо довгий термін роботи з позицій можливості отримання якісної сировини з глибоко розташованого покладу. Зазначене може бути забезпечено лише в тому випадку, коли стовбур свердловини (для умов розробки родовищ – експлуатаційної) надійно закріплений обсадними трубами, а отриманий простір між породними стінками та зовнішньою поверхнею труб заповнений міцним та непроникним тампонажним (цементним) каменем відповідних властивостей [3].

Загалом, перед процесами кріплення і цементування саме експлуатаційних свердловин ставиться виконання декількох завдань, найбільш важливими серед яких будуть наступні: створення довговічного міцного та герметичного каналу для транспортування рідини або газу із продуктивного пласта на поверхню, а також у зворотному напрямку (останнє, до прикладу, буде випадком необхідності підвищення ступеню вилучення корисної копалини з надр); надійне герметичне розмежування всіх проникних пластів між собою та недопущення взаємних перетоків; штучне підвищення міцності стінок стовбура свердловини, які складені недостатньо стійкими гірськими породами, схильними до різного роду деформацій і руйнувань; цементний протекторний захист експлуатаційного каналу, представленого металевими обсадними трубами, від корозії при контакті з агресивними середовищами, наявними в свердловині (активними пластовими рідинами, газами тощо); створення умов для надійного закріплення на гирлі свердловини експлуатаційного обладнання.

Висока надійність кріплення свердловин та наступного цементування може бути досягнута лише за умов комплексного розв'язання наступних задач: досягнення якості підготовки стовбура свердловини до кріплення, особливо в інтервалах, що ускладнені місцевими розширеннями; забезпечення довготривалого екранування флюїдонасичених пластів; суворе необхідність застосування тих тампонажних матеріалів, структурно-механічні та отримувані згодом експлуатаційні властивості яких повністю відповідають складним геолого-технічним умовам конкретного родовища вуглеводневої сировини [4].

Забезпечення повного виконання сформульованих вимог є досить складним завданням, проте саме такі комплексні підходи є запорукою того, що в земних надрах буде сформовано надійний канал зв'язку між продуктивним горизонтом та поверхневим експлуатаційним обладнанням за повного дотримання правил безпечного ведення видобувних робіт на нафтогазових родовищах із певними обмеженнями, які накладаються керівними нормами щодо охорони надр та навколишнього середовища [5].

Аналіз останніх досліджень і публікацій

Відповідно до спрямованості досліджень і розробок в напрямку створення умов якісного кріплення та наступного цементування обсадних колон, головною метою сучасного етапу розвитку технології спорудження свердловин можна з упевненістю вважати проєктування базисних засад довговічної безаварійної експлуатації свердловин на нафту і газ [6].

Цілим рядом лабораторно-промислових досліджень переконливо доведено, що прояв ускладнень в експлуатованих свердловинах (наприклад, міжпластові перетікання і затрубні флюїдопрояви) є однозначним результатом формування проникного негерметичного цементного кільця; останнє, здебільшого, обумовлено спектром причин, основними з яких можна вважати: відсутність належної підготовки стовбура свердловини до процесу спуску обсадної колони, невідповідність властивостей використовуваних тампонажних розчинів і технології їх застосування даним конкретним геолого-технічним умовам. Згідно існуючих думок дослідників, підтверджених наявним промисловим досвідом, якість кріплення та цементування свердловин визначається як комплексом технологічних прийомів, застосовуваних у процесі реалізації підготовчих заходів до цементування, так і аспектами гідравлічної програми самого циклу цементування свердловин, а також їх прямої залежності від фізико-хімічних властивостей бурових промивальних, буферних і тампонажних розчинів, що застосовуються при спорудженні свердловин [7].

Низкою дослідницьких робіт було переконливо показано, що всі складові комплексних процесів кріплення і цементування свердловин в обов'язковому порядку повинні ґрунтуватися на даних щодо дійсного стану стовбура свердловини, якість якого погіршується невідповідністю номінальному діаметру породоруйнівного інструменту, наявністю в його стінках вироблень у вигляді каверн (із глинисто-шламовими відкладеннями в них) та жолобів, сформованістю на стінках стовбура рихлої глинистої кірки [8].

Проведені масштабні лабораторні дослідження деяких технологічних властивостей тампонажного розчину для цементування обсадних колон, який активно взаємодіє із сторонніми домішками, так само як і сформованого з нього цементного каменю, показали наступне: в означених умовах спостерігаються критичні незворотні зміни, які є причиною необхідності проведення у свердловинах складних ремонтно-виправних робіт [9].

Отже, в результаті аналізу джерел інформації можна констатувати: для отримання якісного каналу транспортування вуглеводневої сировини на поверхню у вигляді свердловини, необхідно нівелювати для неї вплив геологічних, технологічних і фізико-хімічних факторів [10].

Виділення невирішених раніше частин загальної проблеми

Не потребує переконливих доказів твердження про те, що саме кріплення стовбура свердловини в процесі його спорудження, серед іншого, дозволяє запобігти руйнуванню стінок останнього з неодмінним утворенням кавернозних виробок, в більшості випадків значних розмірів. У разі вже утворених каверн необхідно додержуватися суворих вимог щодо ізоляції їх впливу на результати кріплення і цементування свердловин [11].

Результати геофізичних досліджень свердловин засвідчують, що їх стовбур не циліндричний по всій довжині, а містить глибокі в радіальному напрямі розширення (каверни). Уламки зруйнованої гірської породи скупчуються в кавернах і утворюють високов'язкі малорухомі глинисто-шламові відкладення, інтегральною характеристикою яких виступає кут їх укусу. В процесі буріння наявність таких скупчень шламу не спричиняє особливих ускладнень. Водночас вони є основними причинами міжпластової міграції вод, газо-, водо- та нафтопроявлень під час експлуатації свердловин. Проблема забезпечення якісного тампонування в кавернозній зоні, передусім, пов'язана з питаннями ефективного очищення застійних зон у кавернах [12].

Саме процеси якісного кріплення та цементування свердловин, на завершальній стадії їх спорудження, забезпечують: безперешкодний доступ до продуктивного пласту, необхідний для створення замкнутого ланцюгу експлуатації глибинного покладу корисної копалини; можливість проведення ремонтно-відновлювальних робіт з метою усунення гіпотетичних міжпластових перетікань флюїдів у сформованому затрубному просторі; суттєве підвищення надійності і довговічності свердловини як капітальної гірничотехнічної споруди із тривалим терміном стаціонарної роботи [13].

Все вказане буде можливим лише за умов виконання завдання з виключення невинного шламоскупчення в кавернах, забезпечення видалення глинисто-шламових відкладень з останніх та недопущення їх активного змішування з цементним (тампонажним) розчином [2].

В результаті широкого узагальнення детальних матеріалів теоретичних, лабораторних і промислових досліджень, а також фактичних геологічних, геофізичних й техніко-технологічних даних відносно основних нафтогазових родовищ України і країн зарубіжжя доведено, що однозначно ефективною свердловинною технологією є видалення глинисто-шламових відкладень з каверн спеціальними пристроями, або переведення їх в інертний стан [14].

Мета статті – аналітичне і лабораторне вивчення базових факторів надійної реалізації процесів кріплення та цементування експлуатаційних нафтогазових свердловин, за наявності для них складних геолого-літологічних і технологічних умов, шляхом розроблення та впровадження інноваційних прийомів і методів забезпечення якості стовбура свердловини.

Обґрунтування вживання і опис вибраної автором методики

Дослідження основних особливостей споруджування свердловин у складних умовах, зокрема процесів їх підготовки до кріплення та наступного цементування, виконано із застосуванням сучасних методів аналітичного аналізу й експериментальних досліджень із

використанням методів математичного та фізичного моделювання, методик моделювання та обробки результатів досліджень у середовищі SolidWorks, STATGRAPHICS, MATHCAD, контрольно-вимірвальних приладів і відповідних матеріалів [15].

Дослідження циркуляційних процесів при роботі проєктованого пристрою виконано на спеціальному стенді, який може бути використаний при проведенні експериментальних перевірок працездатності пристроїв для обробки стовбура свердловини в умовах, максимально наближених до реальних, що дозволяє отримати цілком достовірні локальні кількісні гідроаеродинамічні характеристики потоків циркулюючих агентів, викликаних роботою виконавчих органів досліджуваних моделей [16], а також вивчення складних процесів шламоскупчення, з широким варіюванням технологічних параметрів циклу очищення, в ускладнених кавернозних ділянках споруджуваної методами буріння свердловини.

Виклад основного матеріалу дослідження

Відповідно до розглянутого раніше, відокремлення пластів необхідно вважати найвідповідальнішим етапом з усього великого комплексу робіт зі спорудження експлуатаційних нафтогазових свердловин. Основним завданням тут виступає реалізація, в рамках означеного циклу, прийомів підготовки стовбура свердловини до спуску обсадної колони та, власне, закачування цементного (тампонажного) розчину до затрубного простору з метою створення в ньому надійної ізоляції у вигляді щільного матеріалу – цементного (тампонажного) каменю, як результату затвердіння розчину [4].

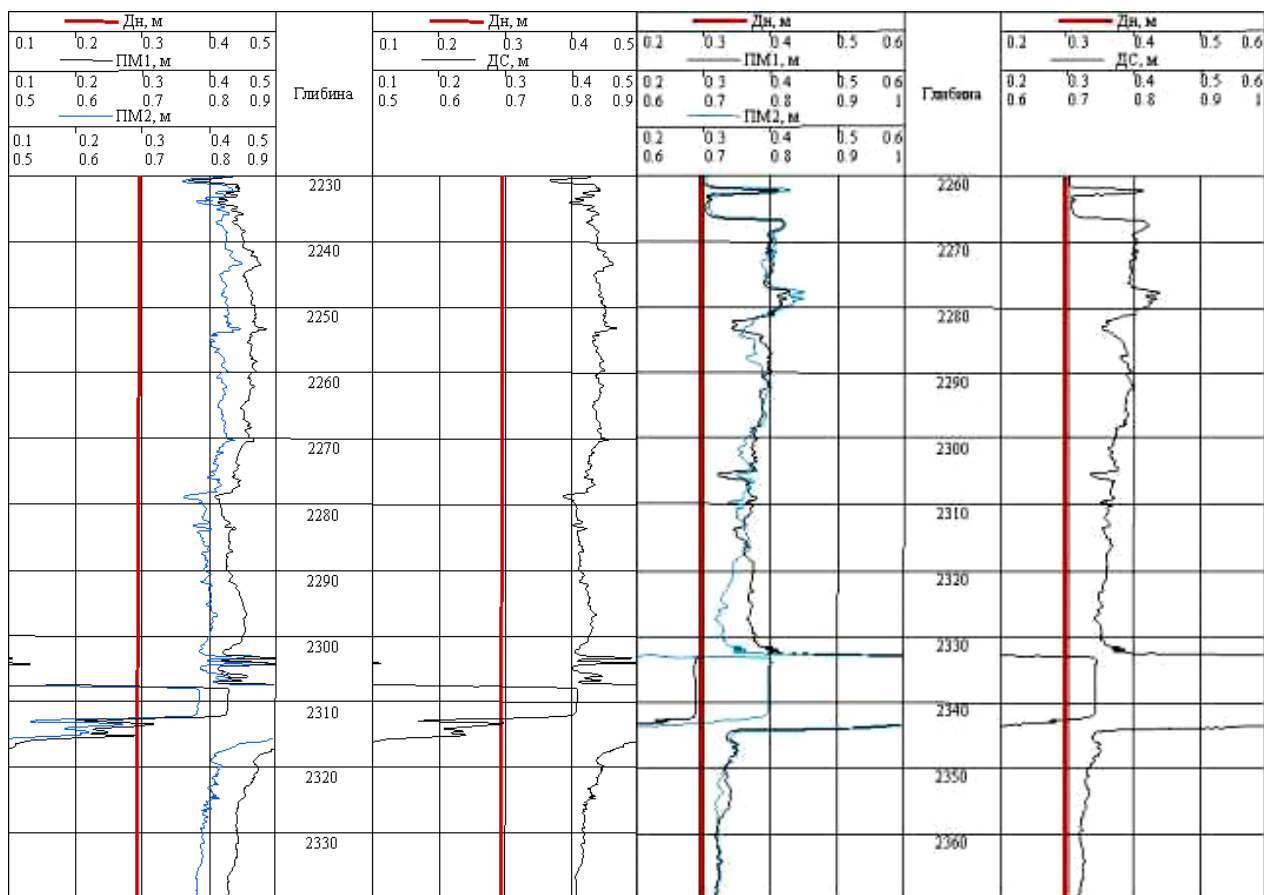


Рис. 1. Приклад розвитку процесу каверноутворення в свердловинах

Детальні результати геофізичних досліджень свердловин переконливо засвідчують, що їх стовбур не циліндричний по всій довжині, а містить глибокі в радіальному напрямі

розширення (каверни) (рис. 1) [8]. Уламки зруйнованої гірської породи, що транспортуються з вибою споруджуваної свердловини, скупчуються в кавернозних ділянках і з часом утворюють в них високов'язкі малорухомі глинисто-шламові відкладення, інтегральною характеристикою яких виступає кут їх укошу φ . У процесі буріння наявність таких скупчень шламу не спричиняє особливих ускладнень, тут можливі лише часткові опливання цих скупчень у стовбур свердловини. Водночас, через їх залишення в стовбурі свердловини, вони стають основними причинами міжпластової міграції вод, газо-, водо- та нафтопроявлень під час експлуатації свердловин. Проблема забезпечення якісного тампонування свердловин в цілому та в кавернозних зонах зокрема пов'язана, щонайперше, з питаннями ефективного очищення застійних зон (різними способами та засобами із відповідним технічним супроводженням) у кавернах та видалення означених скупчень [12].

На даний час відомі декілька найпоширеніших, відносно працездатних конструкцій пристроїв механічного виконання, призначених для здійснення процесу обробки стовбура свердловини (перед спуском обсадної колони) і зокрема для видалення глинистих відкладень/фільтраційної кірки з його стінок, орієнтовна товщина яких/якої представлена в табл. 1.

Таблиця 1. Параметри промивальної рідини та характеристики глинистої фільтраційної кірки на прикладі споруджуваних свердловин

Свердловина	Глибина, м	Густина промивальної рідини, кг/м ³	Умовна в'язкість, с	Фільтрація за 30 хв, см ³	СНЗ за 1/10 хв, дПа	Товщина кірки, мм
55	2265	1350	59	12	43/54	2
	2305	1480	51	6	21/36	1
	2432	1560	47	7	33/56	1
	2578	1560	60	10	45/58	2
	2604	1600	90	10	66/78	2
36	2277	1300	50	18	66/82	4
	2319	1550	40	16	50/68	3
	2456	1550	35	12	20/45	2
	2557	1540	32	7	14/23	1,5
	2609	1540	40	6	13/22	1
36-а	2280	1260	32	16	15/32	3
	2327	1500	73	10	62/73	2
	2439	1600	48	10	36/48	2
	2556	1590	72	8	56/72	1,5
	2610	1600	77	7	60/70	1

Найбільше поширення в практиці спорудження свердловин отримав доволі експлуатаційно-придатний в конкретних умовах пристрій підготовки стовбура свердловини, який складається з корпусу і розташованих уздовж його вісі скребкових елементів, причому останні виконані у вигляді петель, утворених відрізками металевго каната різного діаметру (рис. 2).

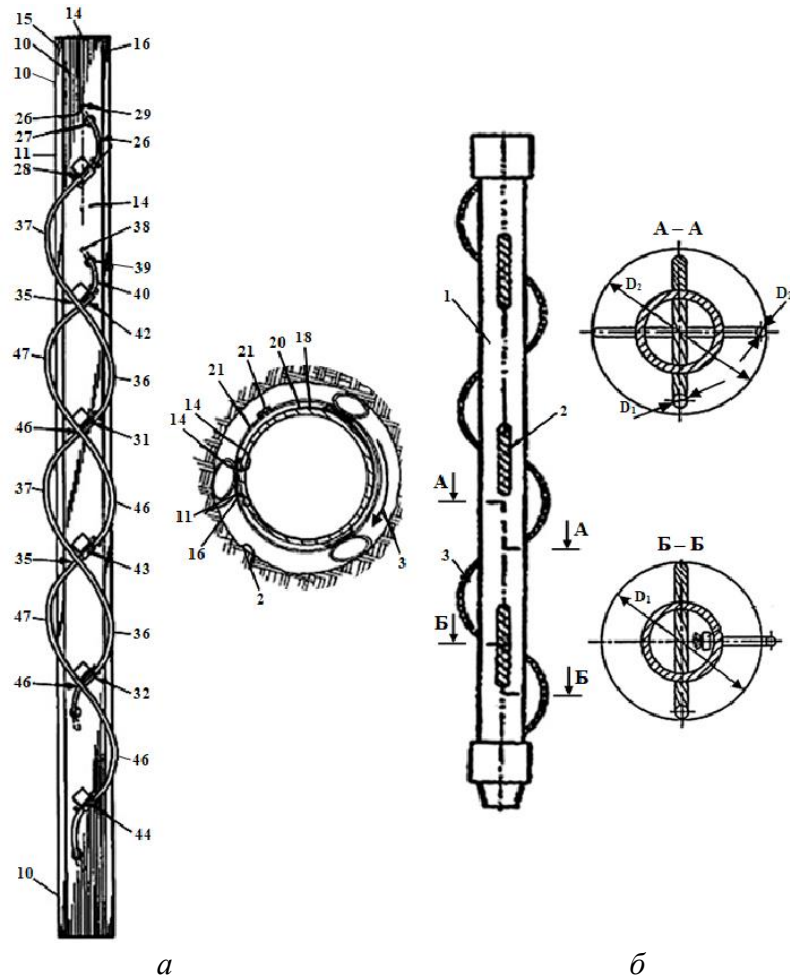


Рис. 2. Схематичне зображення пристроїв для очищення стінок свердловини зі спіральними металевими петлями

Пристрій, що зображено на рис. 2, а, складається з корпусу 14, на якому за допомогою скоб 28 по спіралі закріплені відрізки металевих канатів 35. Петля каната 45, між двома скобами, хвилеподібно зігнута, причому підшва петлі одного відрізка каната перекривається гребенем хвилі іншого. Розмір петлі формується при вигинанні каната. Обробка стінок стовбура свердловини при просуванні і обертанні корпусу пристрою здійснюється гребеневою частиною гнучкої канатної петлі. Пристрій, який запропоновано конструювати за принциповою схемою, зображеною на рис. 2, б, пропонується для обробки стовбура свердловини, діаметр якого більше номінального. Означений пристрій включає корпус, в стінках якого виконані різні за розмірами радіальні отвори (розташовані в діаметрально протилежних площинах), крізь які протягується металевий канат двох характеристик: товстий 2 діаметром d_1 і тонкий 3 діаметром d_2 . Розміри петель з цих канатів, що утворюють шкребковий елемент, також різні: коло D_2 петлі з тонкого d_2 каната більше за петлю діаметром D_1 з товстого d_1 каната. Кінці канатів кріпляться в корпусі 1 за допомогою роз'ємних втулок 4.

Пристрій спускається у свердловину і одночасно приводиться в обертальний рух. Виконання шкребкових елементів у вигляді петель з різною товщиною і діаметром забезпечує почергову дію шкребкових елементів на стінки свердловини. Спочатку видаляється верхній (рихлий) шар глинистої кірки петлями з тонкого 3 канату, при цьому відбувається також її часткове ущільнення вже на деякій відстані від поверхні. У міру обробки кірки в контакт з нею вступають петлі з товстого каната 2. Відбувається подальше ущільнення глинистої кірки, яка

залишилася, що сприяє поліпшенню умов розміщення та тужавіння в затрубному просторі закачуваного цементного розчину.

Однак загальним недоліком розглянутих пристроїв та інших відомих конструкцій є те, що вони не створюють достатньої сили, здатної зруйнувати відкладення, присутні в кавернозних інтервалах. В основу вирішення вказаної проблеми був покладений принцип проектування пристрою, що дозволяє створювати направлені потоки рідини, дія яких призводить до руйнування глинисто-шламових відкладень. У зв'язку з цим, на кафедрі нафтогазової інженерії та буріння Національного технічного університету «Дніпровська політехніка» розроблена конструкція пристрою поінтервальної обробки стовбура свердловини (рис. 3) [16], яка містить циліндричний корпус 1 і шарнірні механізми 2 з лопатями 4. У зовнішній поверхні стінок корпусу виконані два діаметрально протилежних паза 3 для розміщення відповідних шарнірних механізмів, верхні кінці яких пов'язані з пружинами стиснення 5, призначеними для їх розкриття (вимушеного закриття) відносно корпусу. У замковому елементі 7 розміщено два, пов'язаних з нижніми кінцями шарнірних механізмів, повзуни із можливістю переміщення уздовж внутрішньої стінки відповідного паза. Наявністю пружини створюється необхідної сили притиснення сферичної направляючої 6, призначеної для забезпечення рухливого контакту відносно стінок стовбура оброблюваної свердловини.

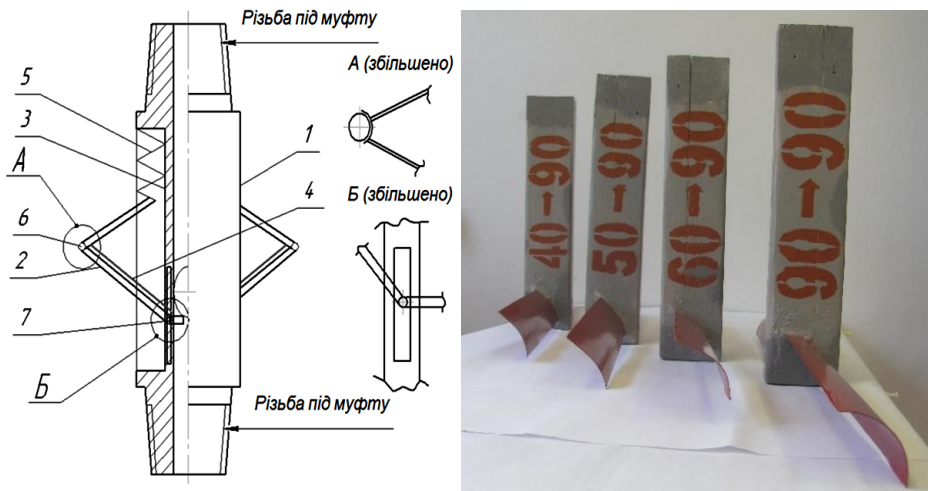


Рис. 3. Принципова схема пристрою для обробки стовбура свердловини та робочі моделі його лопатевого робочого органу

При потраплянні в каверну шарнірні механізми з лопатями розкриваються за рахунок пружини стиснення і за допомогою обертання бурильної колони здійснюють радіальний рух навколо вісі пристрою. Під дією лопатей в місцевих розширеннях стовбура свердловини виникають спрямовані потоки рідини, які впливають на кавернозні глинисто-шламові скупчення та руйнують їх. При виході пристрою з кожної оброблюваної каверни на сферичні направляючі 6 шарнірного механізму 2 діють стискаючі сили збоку стовбура свердловини і механізм стуляється; пристрій в складеному стані продовжує спускатися в свердловину з відкриттям в наступних кавернозних ділянках. При доходженні пристрою до вибою свердловини всередину бурильної колони вкидається сталевая куля, яка під гідродинамічною дією потоку промивальної рідини доходить всередину пристрою та контактує з повзунами замка 7. Під дією тиску промивальної рідини шпильки зрізуються та повзуни рухаються униз відносно корпусу пристрою. Це призводить до втягування шарнірних механізмів із лопатями усередину пазів та переводу його в неробочий стан [17].

Враховуючи приналежність розглядуваного пристрою так званого поінтервального очищення стовбура споруджуваної свердловини до класу гідравлічних, цілком виправданим буде застосування такого підходу до вирішення насущних питань його розрахунку, конструювання і виготовлення, який ґрунтується на чиннику забезпечення досягнення певних показників роботи; серед них можна виділити наступні основні: число оборотів, гідравлічна активність викликаних потоків, сила направленої дії.

При обертанні пристрою, включеного до складу нижньої частини бурильної колони, під дією сил тиску лопатевого механізму на деякий об'єм промивальної рідини створюється її вимушене переміщення. Максимальна міра ефективності застосування пристрою для очищення з'явиться тільки у разі отримання активним потоком рідини заданих гідравлічних характеристик, що є похідною числа оборотів лопатевого органу з відповідними векторними видозмінами, обумовленими його геометрією (кут входу потоку на лопать θ , кут виходу потоку з лопаті θ' , ширина лопаті h або сумарна площа її проекції ΣS (виражена у відсотках від площі кола, описуваного краєм лопаті) на площину нормальну вісі пристрою) та параметрами каналу течії. В табл. 2 наведено рекомендовані геометричні характеристики лопатевих робочих органів пристрою для підготовки стовбура свердловини та їх умовні позначення.

Таблиця 2. Рекомендовані основні геометричні характеристики лопатевих робочих органів пристрою для підготовки стовбура свердловини до спуску обсадної колони та їх умовні позначення

Радіус розкриття лопатевого органу, мм	Характеристика лопаті, градуси		Ширина лопаті h , мм	Умовне позначення лопаті
	кут входу потоку θ	кут виходу потоку θ'		
300	25–30	50–55	100	ЛІ
	25–30	50–55	150	ЛІІ
	30–35	55–65	100	ЛІІІ
	30–35	55–65	150	ЛІІІІ
400	25–30	50–55	100	ЛІV
	25–30	50–55	150	ЛІVІ
	30–35	55–65	100	ЛІVІІ
	30–35	55–65	150	ЛІVІІІ
500	25–30	50–55	100	ЛІХ
	25–30	50–55	150	ЛІХ
	30–35	55–65	100	ЛІХІ
	30–35	55–65	150	ЛІХІІ

В результаті стендових досліджень циркуляційних процесів у стовбурі свердловини встановлено, що існує гранично досяжне значення кута укусу шламових відкладень φ , яке може бути отримано при роботі пристрою в кавернозній ділянці стовбура свердловини. Виходячи з цього, в якості критерію ефективності роботи пристрою для підготовки стовбура свердловини до цементування може бути прийняте значення φ , а саме його максимальне зниження за певний проміжок часу. В табл. 3 наведено рекомендовані параметри режиму обробки кавернозних інтервалів стовбура свердловини для кожної з лопатей, геометричні характеристики яких представлені в табл. 2.

Таблиця 3. Рекомендовані параметри режиму обробки кавернозних інтервалів стовбура свердловини при застосуванні відповідного пристрою

Умовне позначення лопаті	Кут укосу шламових відкладень φ , градуси	Частота обертання пристрою n , хв ⁻¹	Швидкість подавання пристрою, мм/хв	Час обробки кавернозного інтервалу t , хв
ЛІ	35	210–230	0	11–13
	65	200–220	0–50	8–11
ЛІІ	35	190–210	0	10–12
	65	180–200	0–50	6–9
ЛІІІ	35	160–190	0–50	9–12
	65	150–170	0–100	6–8
ЛІІV	35	160–180	0–50	8–11
	65	140–160	0–100	5–7
ЛІV	35	190–210	0	12–17
	65	180–200	0–50	10–14
ЛІVІ	35	170–190	0	11–15
	65	160–180	0–50	9–12
ЛІVІІ	35	140–170	0–50	12–15
	65	130–150	0–100	8–11
ЛІVІІІ	35	140–160	0–50	10–13
	65	120–140	0–100	7–9
ЛІVІХ	35	160–180	0	13–17
	65	150–170	0–50	11–15
ЛІVХ	35	150–170	0	13–18
	65	140–160	0–50	11–13
ЛІVІХІ	35	120–150	0–50	14–18
	65	110–130	0–100	13–16
ЛІVІХІІ	35	120–140	0–50	12–16
	65	100–120	0–100	10–12

Дані табл. 3 дозволяють розробляти ефективний технологічний режим обробки кавернозного інтервалу свердловини при варіюванні діаметральних розмірів каверн, частоти обертання бурильної колони n , до складу якої включено пристрій для обробки, кута укосу шламових відкладень φ , геометричних розмірів лопатевого органу відповідної кутової характеристики.

Висновки

1. Гостра необхідність запобігання дефектів кріплення зумовлена, передусім, проявом деформаційних процесів та порушенням стійкості обсадних колон через наявність кавернозних зон із глинисто-шламовими відкладеннями, виникнення й стійке формування яких обумовлене безліччю об'єктивних геологічних і суб'єктивних технологічних чинників.

2. Проходка нафтогазових та іншого типу свердловин в потужних товщах глинистих відкладень неодмінно супроводжується проявом геологічного походження ускладнень, зокрема, спостерігається доволі негативне стійке явище підвищеного ступеню кавернуотворення та наступного шламонакопичення в названих інтервалах.

3. Від якості і досконалості проведення операцій з очищення стовбура свердловини знаходиться в прямій залежності можливість виконання ізоляційною оболонкою обсадних колон її найважливіших функцій.

4. За результатами дослідно-стендових та промислових випробувань, запропонована технологія підготовки стовбура свердловини може бути рекомендована до широкого використання під час здійснення операцій кріплення означених гірських виробок на відповідних родовищах, а подальші експериментально-теоретичні дослідження повинні неодмінно продовжуватися у напрямках створення алгоритмів ефективних прийомів і методів підготовки геологічно-ускладненого стовбура свердловини до цементування відповідно до гірничолітологічних і техніко-технологічних особливостей спорудження конкретної свердловини.

A. Pavlychenko, A. Ihnatov, Ye. Stavychnyi

National Technical University «Dnipro Polytechnic»

FEATURES OF TECHNICAL AND TECHNOLOGICAL SUPPORT FOR WELL CASING AND CEMENTING OPERATIONS

The article presents the results of a thorough analytical and laboratory study of the basic factors of reliable implementation of the processes of cementing and cementing of production oil and gas wells, in the presence of complex geological, lithological and technological conditions, by developing and implementing innovative techniques and methods to ensure the quality of the wellbore.

The study of the main features of well construction in difficult conditions, in particular, the processes of their preparation for cementing and subsequent cementing, was carried out with the use of modern methods of analytical analysis and experimental research using mathematical and physical modeling techniques, modeling methods and processing of results.

The main problematic issues of oil and gas field development are analyzed, taking into account the need to create reliable channels for the transportation of hydrocarbon raw materials. The key requirements for the technological cycle of wellbore cementing operations are formulated, complicated by the presence of thick sedimentary deposits with cavernous workings in them. Some significant directions for improving technical and technological techniques and methods of the well cementing cycle in difficult geological and lithological conditions are outlined. The techniques and methods for preparing the wellbore for casing run with its subsequent cementing are selected as a priority area for the development of well casing technology. The necessity of establishing the physical and hydraulic essence of the phenomena and processes that occur during the operation of devices for processing the wellbore of a well under construction is substantiated. The prospects of using those devices for wellbore treatment that allow creating an active movement of the washing fluid in the stagnant zones of the indicated mine workings are shown.

Key words: *clayey sedimentary deposits, cavern, wellbore, casing, drilling conditions, blade mechanism, cement stone, casing string, production processes, active fluid flow.*

Література

1. Azar J.J., Robello S.G. Drilling Engineering. PennWell Corporation, 2007. 486 p.
2. Hossain M.E., Islam M.R. Drilling engineering: problems and solutions. Wiley – Scrivener publishing, 2018. 627 p.
3. Коцкулич Я.С., Тищенко О.В. Закінчування свердловин. К.: Інтерпрес ЛТД, 2004. 366 с.

4. Ігнатов А.О., Ставичний Є.М. Геологічні й техніко-технологічні особливості кріплення нафтогазових свердловин з урахуванням фізико-хімічного стану їх стовбурів. *Інструментальне матеріалознавство*. Зб. наук. пр. Вип. 24. К.: ІНМ ім. В.Н. Бакуля НАН України, 2021. С. 87–102.
5. Павличенко А.В., Коровяка Є.А., Ігнатов А.О., Давиденко О.М. Гідрогазодинамічні процеси при спорудженні та експлуатації свердловин. Дніпро: НТУ «ДП», 2021. 201 с.
6. Aziukovskyi O.O., Koroviaka Ye.A., Ihnatov A.O. Drilling and operation of oil and gas wells in difficult conditions. Dnipro: Zhurfond, 2023. 159 p.
7. Ігнатов А.О., Ставичний Є.М. Лабораторні та промислові дослідження процесу цементування нафтогазових свердловин в умовах товщ осадових порід. *Інструментальне матеріалознавство*. Зб. наук. пр. Вип. 23. К.: ІНМ ім. В.Н. Бакуля НАН України, 2020. С. 88–103.
8. Ставичний Є.М., Ігнатов А.О. Особливості кріплення стовбура свердловини у хомогенних відкладах. *Породоразрушающий и металлообрабатывающий инструмент – техника и технология его изготовления и применения*. Сб. науч. тр. Вып. 22. К.: ИСМ им. В.Н. Бакуля НАН Украины, 2019. С. 164–174.
9. Pavlychenko, A.V., Ihnatov, A.O., Koroviaka, Ye.A., Ratov, B.T., & Zakenov, S.T. Problematics of the issues concerning development of energy-saving and environmentally efficient technologies of well construction. *IOP Conf. Series: Earth and Environmental Science*. 2022. Vol. 1049. 012031.
10. Ihnatov A., Koroviaka Ye., Rastsvietaiev V., & Tokar L. Development of the rational bottomhole assemblies of the directed well drilling / Gas Hydrate Technologies: Global Trends, Challenges and Horizons (GHT 2020): materials of IV International Scientific and Technical Conference // E3S Web of Conferences. 2021. Vol. 230. P. 01016.
11. Войтенко В., Вітрик В. Технологія і техніка буріння. Київ: Центр Європи, 2012. 708 с.
12. Davidenko A. Ihnatov A. Basic results of researches of lining and plugging processes at wells construction. *Metallurgical and Mining Industry*. 2016. – N 9. P. 58–64.
13. Ставичний Є.М., Магун М.Я., Зіньков Р.В. Досвід спорудження свердловин на Волошківській площі в умовах проявлення текучості калієво-магнієвих солей. *Нафтова і газова промисловість*. 2008. № 4. С. 34–36.
14. Коровяка Є.А., Ігнатов А.О. Прогресивні технології спорудження свердловин. Дніпро: НТУ «ДП», 2020. 166 с.
15. Curry, G.L. & Feldman, R.M. Manufacturing systems. Modeling and analysis. Berlin, Heidelberg: Springer-Verlag, 2011. 338 p.
16. Стенд для дослідження аерогідродинамічних потоків: пат. 114761 Україна: МПК E21B47/00; опубл. 25.07.17, Бюл. № 14.
17. Пристрій для обробки стовбура свердловини: пат. 90541 Україна: МПК E21B37/02; опубл. 11.05.10, Бюл. № 9.
18. Павличенко А.В., Ігнатов А.О., Коровяка Є.А., Барташевський С.Є., Коротка І.Ю., Мекшун М.Р. Основи організації системи гідравлічного очищення свердловин. *Збірник наукових праць НГУ*. 2021. Вип. 67. С. 136–152.

Надійшла 13.10.23

References

1. Azar, J.J., & Robello, S.G. (2007). *Drilling Engineering*. PennWell Corporation.
2. Hossain, M.E., & Islam, M.R. (2018). *Drilling engineering: problems and solutions*. Wiley – Scrivener Publishing.
3. Kotskulych, Ya.S., & Tyshchenko, O.V. (2004). *Zakinchuvannia sverdlovyn [Well completion]*. Interpres LTD [in Ukrainian].
4. Ihnatov, A.A., & Stavychnyi, Ye.M., (2021). Heolohichni y tekhniko-tekhnologichni osoblyvosti kriplennia naftohazovykh sverdlovyn z urakhuvanniam fizyko-khimichnoho stanu yikh stovburiv [Geological and technical-and-technological features of casing oil and gas wells, taking into account the physical and chemical state of their wellbore]. *Instrumentalne materialoznavstvo – Tooling materials science*. (24nd Issue, p. 87– 102) [in Ukrainian].
5. Pavlychenko, A.V., Koroviaka, Ye.A., Ihnatov, A.O. & Davydenko, A.N. (2021). *Hidrohazodynamichni protsesy pry sporudzhenni ta ekspluatatsii sverdlovyn: monograph [Hydro-gas-dynamic processes during the construction and operation of wells]*. Dnipro University of Technology [in Ukrainian].
6. Aziukovskyi O.O., Koroviaka Ye.A., Ihnatov A.O. (2023). Drilling and operation of oil and gas wells in difficult conditions. Dnipro: Zhurfond.
7. Ihnatov, A.O., & Stavychnyi, Ye.M. (2020). Laboratorni ta promyslovi doslidzhennia protsesu tsementuvannia naftohazovykh sverdlovyn v umovakh tovshch osadovykh porid [Laboratory and industrial research of cementation process of oil-and-gas bore holes in the conditions of sedimentary rock beds]. *Instrumentalne materialoznavstvo – Tooling materials science*. (23nd Issue, p. 88–103) [in Ukrainian].
8. Stavychnyi, Ye.M., & Ihnatov, A.A. (2019). Osoblyvosti kriplennia stobura sverdlovyny u khemohennykh vidkladakh [Fastening features barrel of bore hole in chemogenic deposits]. *Porodorazrushiushchii i metalloobrabatyvaiushchii instrument – tekhnologiya ego izgotovleniia i primeneniia – Rock Destruction and Metal-Working Tools – Techniques and Technology of the Tool Production and Applications*. (22nd Issue, p. 164–174) [in Ukrainian].
9. Pavlychenko, A.V., Ihnatov, A.O., Koroviaka, Ye.A., et al. (2022). Problematics of the issues concerning development of energy-saving and environmentally efficient technologies of well construction. *IOP Conf. Series: Earth and Environmental Science*, 1049, 012031.
10. Ihnatov, A., Koroviaka, Ye., Rastsvietaiev, V., et al. (2021). Development of the rational bottomhole assemblies of the directed well drilling. Proceedings from Gas Hydrate Technologies: Global Trends, Challenges and Horizons'20: IV International Scientific and Technical Conference (GHT 2020) (vol. 230, p. 01016). E3S Web of Conferences.
11. Voitenko, V., & Vitryk, V. (2012). *Tekhnolohiya i tekhnika burinnya [Technology and technique of drilling]*. Center of Europe [in Ukrainian].
12. Davidenko, A. Ighnatov, A. (2016). Basic results of researches of lining and plugging processes at wells construction. *Metallurgical and Mining Industry*, 9, 58–64.
13. Stavychnyi, Ye.M., Mahun, M.Ia., & Zinkov, R.V. (2008). Dosvid sporudzhennia sverdlovyn na Voloshkivskii ploshchi v umovakh proiavlennia tekuchosti kaliievo-mahniievykh solei [The experience of construction of wells in the Voloshkovskaya area in

- the conditions of manifestation of fluidity of potassium-magnesium salts]. *Naftova i hazova promyslovist – Oil and gas industry*, 4, 34–36 [in Ukrainian].
14. Koroviaka, Ye.A. & Ihnatov, A.O. (2020). *Prohresyvni tekhnolohii sporudzhennia sverdlovyh: monograph [Advanced well construction technologies]*. Dnipro University of Technology [in Ukrainian].
 15. Curry, G.L. & Feldman, R.M. (2011). *Manufacturing systems. Modeling and analysis*. Springer-Verlag.
 16. Davydenko, O.M., Ihnatov, A.O., Dvornyk, S.Y. (2017). *Patent of Ukraine № 114761. MIIK E21B47/00. Stend dlia doslidzhennia aerohidrodynamichnykh potokiv [Aero-hydrodynamic flow test bench]*. (Patent Ukrainy № 114761) [in Ukrainian].
 17. Davydenko, O.M., Ihnatov, A.O., Yatsyk V.V. (2010). *Patent of Ukraine № 90541 Prystrii dlia obrobky stovbura sverdlovyh [Device for wellbore treatment]*. (Patent Ukrainy № 90541) [in Ukrainian].
 18. Pavlychenko A., Ihnatov, A., Koroviaka Ye., et al. (2021). *Osnovy orhanizatsii systemy hidravlichnoho ochyshchennia sverdlovyh [Fundamentals of organizing a hydraulic well cleaning system]*. *Collection of research papers of the NMU*, 4(67), 136–152 [in Ukrainian].