

НАПРЯМКИ УДОСКОНАЛЕННЯ СИСТЕМИ УПРАВЛІННЯ ЯКІСТЮ СПОРУДЖЕННЯ НАФТОГАЗОВИХ СВЕРДЛОВИН

В. М. Чарковський

*ІФНТУНГ; м. Івано-Франківськ, вул. Карпатська, 15; тел. (0342) 547002; 727137,
e-mail: 0526.ning@gmail.com*

Згідно з вимогами стандарту ISO 9000:2015 описано виконані у процесі спорудження нафтових і газових свердловин виробничі операції, які чинять визначальний вплив на якість закінченої продукції. Наведено показники якості, за допомогою яких можна оцінювати як виробничий процес, так і свердловину як завершену споруду. Відомі показники якості пропонується поділити на показники при проектуванні свердловини, та показники при спорудженні і експлуатації свердловини. Прийняті показники якості пропонується систематизувати у відповідні ієрархії якості. Рівні ієрархії в бурінні поділено за видами виконуваних робіт у циклі спорудження свердловини, а саме: буріння під кондуктор, кріплення кондуктором, буріння під технічні колони, кріплення технічними колонами, буріння під експлуатаційну колону (окремо – буріння у продуктивному пласті), кріплення експлуатаційною колоною. Наведено ієрархію оцінювання якості технологічного процесу буріння і кріплення за методом Т.Саати. Даються деякі рекомендації щодо використання шкали парних порівнянь для оцінювання процесів. Введено поняття «еталонна якість», з якою порівнюються фактично досягнуті показники якості буріння і кріплення. Запропоновано метод розрахунку інтегрального коефіцієнта якості та відповідну шкалу якості технологічних процесів буріння і кріплення. Як результат, запропоновано визначати інтегральний коефіцієнт якості через співвідношення оцінки з вектора пріоритетів для фактично досягнутої якості до оцінки для еталонної якості. Інтегральний коефіцієнт не перевищуватиме 1,00. Відповідно встановлюється шкала оцінок для низької, хорошої та високої якості свердловини як завершеної гірничої споруди. Визначено напрямки і показники якості, які важко виразити кількісно, та сформульовано нову ієрархію оцінювання якості свердловини як завершеної споруди. Контроль за показниками якості планується покласти на супервайзерів. Сформульовано основні засади контролю за якістю в бурінні.

Ключові слова: стандарт якості, показники якості процесу буріння і кріплення, метод Саати, інтегральний коефіцієнт якості свердловини.

Согласно требований стандарта ISO 9000:2015 описаны производственные операции при сооружении нефтяных и газовых скважин, имеющие определяющее влияние на качество завершённой продукции. Приведены показатели качества, с помощью которых можно оценивать как производственный процесс сооружения, так и скважину как завершённое сооружение. Известные показатели качества предлагается разделить на показатели при проектировании скважины, и показатели при сооружении и эксплуатации скважины. Принятые показатели качества предлагается систематизировать в соответствующие иерархии качества. Уровни иерархии в бурении разделены по видам выполняемых работ в цикле сооружения скважины, а именно: бурение под кондуктор, крепление кондуктором, бурение под технические колонны, крепление техническими колоннами, бурение под эксплуатационную колонну (отдельно - бурение в продуктивном пласте), крепление эксплуатационной колонной. Приведена иерархия оценивания качества технологического процесса бурения и крепления по методу Т.Саати. Даны некоторые рекомендации по применению шкалы парных сравнений для оценки процессов. Введено понятие «эталонное качество», с которым сравниваются фактически достигнутые показатели качества бурения и крепления. Предложен метод расчета интегрального коэффициента качества и соответствующая шкала качества технологических процессов бурения и крепления. Как результат, предложено определять интегральный коэффициент качества из соотношения оценки из вектора приоритетов для фактически достигнутого качества к оценке для эталонного качества. Интегральный коэффициент не превышает 1,00. Согласно этому устанавливается шкала оценок для низкого, хорошего и высокого качества скважины как завершённого горного сооружения. Определены направления и показатели качества, которые трудно выразить количественно, и с использованием этого сформулирована новая иерархия оценки качества скважины как завершённого сооружения. Контроль по показателям качества планируется возложить на супервайзеров. Сформулированы основы контроля качества в бурении.

Ключевые слова: стандарт качества, показатели качества процесса бурения и крепления, метод Саати, интегральный коэффициент качества скважины.

Based on the requirements of ISO 9000: 2015, production operations are described in the process of oil and gas wells construction, which have a decisive influence on the quality of the final product. The quality indicators are given, with which one can evaluate both the production process of the construction and the well as a finished construction. Given quality indicators are proposed to be divided into indicators when designing a well, and indicators for the well construction and operation. The quality indicators adopted during the construction and operation of the borehole are proposed to be systematized into the appropriate quality hierarchy. Hierarchy levels in drilling should be divided by type of work performed in the cycle of well construction, namely: surface hole drilling, well casing, intermediate hole drilling, intermediate well casing, production casing drilling (separately – drilling-in operation or pay-drilling), setting of production casing. The hierarchy of the quality evaluation of the technological process of drilling and casing using the T. Saati method is given. Some recommendations are made for using a pairwise comparison scale for process evaluation. The concept of “reference quality” has been introduced, with which present achieved indicators of drilling and casing quality are compared. The method of calculating the integral coefficient of quality and the corresponding scale of quality of technological processes of drilling and casing is proposed. As a result, it is proposed to determine the integral coefficient of quality through the ratio of the estimation obtained from the priority vector for the actual achieved quality to the estimation for the reference quality. The integral coefficient will not exceed 1.00. Accordingly, a scale is established for the low, good and high quality wells, as completed mining facilities. The directions and quality indicators, which are difficult to express quantitatively, are defined, and with this the new hierarchy of the quality assessment of well as a completed structure is formulated. Quality control is planned to be put on supervisors. The basic principles of quality control in drilling are formulated.

Key words: quality standard, quality indicators of drilling and casing process, Saati method, integral coefficient of well quality.

Вступ

На ринку з надання сервісних послуг у нафтогазовій галузі починає складатися ситуація, коли якість тієї чи іншої послуги разом із її вартістю визначає успіх сервісної компанії загалом. Прикладом цього є ситуація зі скороченням бурових підприємств на заході України та майже одночасне при цьому залучення до бурових робіт в Україні іноземних бурових підприємств. Можна також відмітити ріст конкуренції між малими та середніми підприємствами з надання сервісних послуг для державних та приватних нафтогазових компаній, причому великі нафтогазовидобувні підприємства продовжують зберігати весь арсенал обладнання та інших ресурсів для виконання необхідних робіт своїми силами. Таким чином, для того, щоб домогтися успіху, сервісна компанія повинна забезпечити конкурентоздатну якість та конкурентоздатні ціни на свої товари та послуги.

Якщо розглядати діяльність сервісних компаній разом із діяльністю підприємств виконання бурових робіт як безперервне постачання та використання у технологічному циклі відповідних ресурсів для будівництва свердловин, то першорядна роль у формуванні відповідної якості належатиме проектним організаціям, оскільки саме на стадії проектування закладається технічний рівень виробництва бурових робіт, а отже, певний рівень досконалості цих послуг.

Аналіз сучасних досліджень і публікацій

Як відомо [1], категорія якості – це відносний термін, який має різні аспекти, тобто різ-

ний зміст. Говорячи про якість спорудження свердловин, різні зацікавлені сторони будуть здійснювати контроль за своїми показниками якості. Для бурових підприємств – це, в першу чергу, показники, які забезпечують найменші витрати на спорудження свердловини; для нафтогазовидобувних підприємств – це показники, пов'язані з експлуатацією свердловини при найменших витратах, тобто її дебіт, періодичність поточних та капітальних ремонтів, витрати на сервісне обслуговування свердловини та на підтримання тривалості її життєвого циклу; для державних контрольних органів – це показники, пов'язані зі збереженням довкілля. Всі ці аспекти однаково важливі, а недопрацювання у будь-якому з них може створити великі проблеми.

Багато надрокористувачів в Україні – замовників бурових робіт – перейняли світовий досвід за контролем якості спорудження свердловин і впровадили супервайзинг при бурінні та експлуатації нафтогазових свердловин. Супервайзинг – це система нагляду надрокористувача за своїми виробничими засобами, тобто свердловинами на родовищі. За цією системою замовник бурових робіт (тобто організація-надрокористувач) призначає на свердловину свого представника – супервайзера, наділяючи його при цьому повноваженнями контролю за технологічними процесами при спорудженні свердловини, а пізніше – іншими відповідними повноваженнями при експлуатації свердловини. Супервайзер контролює витрату матеріалів та обладнання під час провадження відповідних технологічних процесів, баланс продуктивного-

непродуктивного часу при виконанні відповідних робіт, виконання оперативних розпоряджень замовника, формування бази даних та передачу її у вищу організацію, а також відповідність виконуваних робіт нормативним вимогам замовника та законодавства у сфері охорони довкілля та безпечних умов праці. Супервайзер має брати участь у розслідуванні всіх видів геологічних ускладнень, аварій та браку, фіксувати всі допущені виконавцем порушення, призупиняти та забороняти всі виробничі процеси у випадку їх невідповідності запланованим завданням. Для реалізації таких широких повноважень супервайзеру необхідна чітка система показників якості та відповідних інструментів контролю за показниками.

У науковій літературі можна знайти велику кількість праць, у т.ч. сучасних, на тематику контролю якості в бурінні. У працях [2, 3, 4, 5] систематизовано вимоги щодо контролю якості, запропоновано ієрархічну структуру критеріїв якості нафтогазових свердловин як інженерних конструкцій, сформульовано основні підходи до оцінювання якості технологічних операцій при спорудженні свердловини. Особливістю цих наукових праць є оцінювання якості свердловин за гнучкою ієрархічною системою критеріїв геометричних параметрів траєкторії свердловини, кріплення, розкриття продуктивних пластів, охорони надр і довкілля, яка допускає можливі доповнення та виключення критеріїв, щоб забезпечити достовірнішу оцінку якості залежно від призначення та особливостей спорудження свердловин. Авторами запропоновано шкалу якості для наступних категорій: «дуже висока якість», «висока якість», «задовільна якість», «незадовільна якість», яку обґрунтовано відповідними шкалами за вимірними критеріями. Здебільшого наведені у цих працях рекомендації повинні бути впроваджені на стадії проектування свердловин, окрім того, деякі важливі економічні критерії враховані опосередковано через критерії кріплення, екологічні та розкриття продуктивних пластів.

У [6] детально розглянуто сучасні теорії та методи контролю технологічних процесів поглиблення свердловин, наведено приклади вибору доліт та оптимізації режимних параметрів буріння в умовах Передкарпатського прогину, описано прилади автоматизованого контролю за режимними параметрами. Очевидно, що дана робота має безпосереднє відношення до створення автоматизованої інформаційної системи управління будівництвом свердловин, і має охоплювати всі ланки управління виробницт-

вом, а також його забезпечення відповідними ресурсами.

Підхід до викладання основ нафтопромислового супервайзингу на базі контролю за техніко-технологічними параметрами спорудження та експлуатації свердловин ставиться за мету багатьох публікацій у російських виданнях, наприклад [7]. У цій праці основний акцент робиться на контролі за якістю виконання робіт на стадії капітального та поточного ремонту, хоча зазначається, що якість свердловин формується ще на стадії їх спорудження.

Досить ґрунтовне охоплення різних аспектів якості спорудження свердловин дано у [8], де запропоновано використовувати узагальнений або інтегральний показник якості робіт на базі відповідної кваліметрії часткових показників якості. Хоча у цій науковій праці наголошується, що стосовно свердловини як гірничо-технічної продукції дієвими формами оцінки відповідності є авторський нагляд, буровий супервайзинг та приймання закінченої спорудженням свердловини, питанням контролю показників якості на рівні бурового супервайзера не приділено відповідної уваги. У приватному секторі саме ця первинна ланка контролю якості є, можливо, єдиною зв'язувальною ланкою між буровим підрядником та надкористувачем, а тому всі питання щодо контролю якості свердловини мають починатися з рівня супервайзера.

Основний недолік усіх вищезгаданих наукових публікацій – це відсутність будь-яких згадок про необхідність контролю якості ще на рівні виконання проектних робіт. Якісно складена проектно-кошторисна документація не тільки є базою для закладання відповідної якості закінченої будівництвом свердловини як гірничо-технічної споруди, але й формує умови для подальшого технічного та інноваційного розвитку бурового підприємства.

Останніми роками поняття та принципи управління якістю продукції, а отже, і вимоги щодо якості спорудження свердловин дещо розширилися. Міжнародний стандарт ISO 9000:2015 визначає, що якість продукції та послуг охоплює не тільки їхні передбачені функції та характеристики, але також їхні сприймані цінність та користь для замовника [9]. Там же вказується, що якість продукції та послуг організації визначають здатністю задовольняти замовників, а також передбаченим і непередбаченим впливом на відповідні зацікавлені сторони. У випадку нафтогазових свердловин та нафтогазової промисловості загалом найбільшою зацікавленою стороною є держава, яка встанов-

лює і контролює тарифи на відповідні послуги для населення, встановлює вимоги до охорони надр та навколишнього середовища, дбає про наповнення бюджету та обороноздатність країни. А отже, питання якості з прийняттям міжнародного стандарту ISO 9000:2015 вже виносяться на загальнодержавний рівень, оскільки може сприяти збільшенню видобутку вуглеводнів з власних родовищ.

Сучасні вимоги щодо якості будівельної продукції, до якої належить спорудження нафтогазових свердловин як технічних споруд, було закладено у постанові Кабінету Міністрів України від 20.12.2006 №1764 «Про затвердження Технічного регламенту будівельних виробів, будівель і споруд». У документі вказано на необхідність забезпечення механічного опору та стійкості, дотримання вимог пожежної безпеки, забезпечення безпеки життя і здоров'я людини, захисту навколишнього середовища, забезпечення безпеки експлуатації, забезпечення захисту від шуму, забезпечення економії енергії.

Виділення раніше невиділених частин загальної проблеми

Невирішеними питаннями залишається створення єдиної системи управління якістю на бурових підприємствах, яка б охоплювала всі стадії будівництва свердловини від проектування до передачі в експлуатацію, а також розроблення методики визначення інтегрального коефіцієнта якості свердловини як закінченої гірничо-технічної споруди.

Метою даної статті є напрацювання напрямків удосконалення системи управління якістю виробничих процесів буріння і кріплення, а також відбір критеріїв для визначення інтегрального коефіцієнта якості закінченої будівництвом свердловини як гірничо-технічної споруди.

Основна частина дослідження

Відповідно до основних вимог постанови КМУ №1764 від 20.12.2006 пропонуються такі групи показників оцінювання якості: 1 – на стадії створення проектно-кошторисної документації; 2 – на виробничій стадії будівництва свердловини, де формуються геометричні критерії стовбура свердловини, критерії якісного розкриття продуктивних пластів, критерії кріплення свердловини; 3 – на стадії експлуатації свердловини. Причому, на виробничій стадії та стадії експлуатації потрібно додатково забезпечити безпечні умови праці та збереження довкілля, а отже, встановити групи відповідних критеріїв безпеки праці та екологічних.

На стадії проектних робіт

Розглядаючи якість проектно-кошторисної документації, необхідно виходити з того, що кожна свердловина як готова інженерно-технічна споруда має відбивати функціональні характеристики якості, які визначаються споживачем, тобто замовником бурових робіт або надкористувачем. Тут потрібно зауважити, що замовника цікавлять тільки основні показники якості, без яких свердловина не може функціонувати і, відповідно, виникає проблема інженерного втілення цих показників у якості готової гірничо-технічної споруди.

Одним із прийнятних методів включення до процесу проектування конкретних вимог замовника є розгортання функції якості (QFD). Для реалізації методу QFD проектній організації потрібно створити міжфункціональні групи, які б працювали у сфері вивчення вимог споживачів, у сфері реалізації виробничих можливостей та власне у сфері створення проектно-кошторисної документації. Причому, у широкому розумінні, під споживачами розуміються надкористувачів не тільки в галузі видобування вуглеводнів, але й видобування мінеральних вод, твердих корисних копалин, утилізації стокових вод. Результатом цієї роботи може стати створення матричної організаційної структури, у якій вимоги споживачів буде перетворено у конкретні інженерні задачі, що вирішуватимуться у технічних проектах. Саме у таким спосіб пропонується наблизити зміст технічних проєктів до реальних умов підрядників бурових робіт та сервісних організацій, а також значно диверсифікувати діяльність самих проектних організацій.

Виконувати оцінку якості проектно-кошторисної документації пропонується за такими базовими групами показників:

- 1) показники надійності гірничо-технічної споруди (дотримання норм та інструктивних матеріалів, відповідність конструктивних рішень та виконаних розрахунків);
- 2) показники технічної досконалості проекту та споруди (раціональний вибір конструкції свердловини, впровадження інновацій);
- 3) показники уніфікації та стандартизації (дотримання стандартів, реалізація можливостей застосування типових проєктів, уніфікація всередині проєкту);
- 4) показники технологічності проекту (урахування можливостей застосування новітніх методів та технологій буріння і кріплення);
- 5) зниження кошторисної вартості проєкту.

На виробничій стадії будівництва свердловини

Розроблення системи управління якістю спорудження свердловин має базуватися на моделі, наведеній в ISO 9000:2015. Перш за все, система має бути гнучкою та легко пристосовною в складному середовищі організації, оскільки не всі складові системи, а також процеси та дії можна наперед визначити. Якщо одні показники якості можна досить точно спрогнозувати та спланувати у кількісному вимірі, то деякі додаткові ключові вигоди від підвищення якості послуг у нафтогазовій промисловості у кількісному вимірі виразити досить проблематично. Стандартом [9] визначено досягнення таких вигод, як збільшення цінності для замовника та його задоволеності, покращення репутації сервісної організації та поліпшення лояльності замовника, розширення спроможності організації та її персоналу отримувати бажані результати, поліпшене розуміння персоналом цілей організації у сфері якості та підвищення задоволеності персоналу, підвищення здатності досягати цілей організації, збільшення спроможності досягати цілей і створювати цінність для зацікавлених сторін завдяки спільному користуванню ресурсами та керуванню ризиками, пов'язаними з якістю тощо. Очевидно, що всі ці вигоди можна оцінити як параметри підвищення якості спорудження свердловин тільки через деяку систему управління якістю.

Також потрібно врахувати, що сервісна організація має процеси, які може бути визначено, виміряно та поліпшено. Ці процеси взаємодіють, щоб давати результати, узгоджені з цілями організації, деякі з цих процесів є критично важливі, тоді як інші – ні [9]. Стосовно бурового підрядника, виробничі процеси давно були визначені і дуже чітко структуровані на основні та допоміжні, які складають цикл спорудження свердловини і, в основному, повторюються з кожним наступним циклом. Класифікація виробничих процесів спорудження свердловини є показовим прикладом застосування наукової організації праці з виробленням та дотриманням норм часу на виконання кожної виробничої операції та відповідними методами управління якістю споруджених свердловин. Наприклад, свого часу при розбурюванні як родовищ Західного Сибіру, так і в Україні заохочувалося, в основному, перевиконання норм часу на буріння та кріплення, що було виправдано в умовах високих пластових тисків та великих запасів вуглеводнів. У сучасних умовах видобування вуглеводнів із важковилучуваними запасами потрібно, перш за все, застосовувати іннова-

ційні технології, а тому перевиконання буровою бригадою норм часу на відповідні виробничі операції із залученням нової техніки може стати причиною браку у виконанні робіт. Окрім того, на сучасному етапі розвитку бурової техніки від бурової бригади все менше залежить використання власних (тобто людських) резервів прискорення будівництва свердловини.

По-друге, люди співпрацюють у межах виробничого процесу, щоб здійснювати свою повсякденну роботу [9]. Більшість виробничих операцій у бурінні (як основних, так і допоміжних) є нормованими, тобто встановленими, тоді як деякі інші виробничі операції – це реакція на зовнішні впливи, до яких відносять геологічні ускладнення та аварійні ситуації в бурінні [10]. Таким чином, іншою вимогою до системи управління якістю спорудження свердловин має бути вимога щодо динамічності, тобто система має становити структурну основу для планування, отримання, моніторингу та поліпшення показників виробничої діяльності з управління якістю, яку б можна було вдосконалювати з часом. За цієї умови система управління якістю може стати базою для вироблення науково обґрунтованих норм і нормативів виробництва бурових робіт та планування виробничої діяльності, сформувавши, таким чином, у майбутньому основу для бази знань більш досконалої експертної системи.

У системах управління якістю будівництва свердловин необхідно приділити належну увагу встановленню відповідних рівнів якості [9]. У технології буріння розрізняють буріння свердловини до продуктивного пласта та буріння свердловини у продуктивному пласті (або первинне розкриття продуктивного пласта). Для першого випадку процес формування стовбура свердловини можна охарактеризувати рівнями "задовільна якість" або "хороша якість", тоді як у другому випадку потрібно забезпечити "високу якість" – рівень, за якого буде досягнуто бажану цінність свердловини та її користь для замовника. Поділ робіт на рівні за якістю сприятиме, таким чином, поглибленій спеціалізації на ринку бурових послуг із використанням аутсорсингу – передаванням робіт із первинного розкриття продуктивного пласта сторонньому виконавцю. Часто виконавець при цьому повинен забезпечити формування декількох додаткових стовбурів у продуктивному пласті. Буріння таких стовбурів все частіше виконується зі спеціалізованого обладнання (колтюбінгових агрегатів), що тільки закріплює процес розподілу праці. Хоча терміни "низька, хороша та висока якість" рекомендуються стандартом ISO

Таблиця 1 – Результати виробничих етапів у циклі спорудження свердловини

<i>Етап циклу спорудження</i>	<i>Вихід або результат</i>
1. Монтаж бурового обладнання	1. Виконано підготовчі роботи до монтажу згідно з планами робіт. 2. Змонтовано на свердловино-точці обладнання за встановленою схемою монтажу.
2. Підготовчі роботи до буріння	1. Перевірено за вимогами щодо охорони праці та навколишнього середовища та відповідним чином налаштовано бурове обладнання. 2. Проведено пускову конференцію з буровою бригадою для ознайомлення з основними нормативними документами.
3. Буріння та кріплення	1. Сформовано стовбур свердловини під кондуктор. 2. Обсаджено стовбур кондуктором та змонтовано противикидне обладнання. 3. Сформовано стовбур/стовбури свердловини під проміжну колоноу / проміжні колони. 4. Закріплено стовбур проміжною колоною/проміжними колонами. 5. Сформовано стовбур свердловини під експлуатаційну колоноу. 6. Виконано всі роботи з первинного розкриття продуктивного пласта згідно з планом робіт. 7. Обсаджено стовбур експлуатаційною колоною/ хвостовиком та встановлено колонну головку.
4. Освоєння свердловини	1. Проведено вторинне розкриття продуктивного пласта. 2. Облаштовано відповідною арматурою устя свердловини. 3. Отримано приплив флюїду.

9000:2015 як прикметники, у даній роботі пропонується використання відповідних оцінок якості спорудження свердловин.

Оцінювання якості спорудження свердловин неможливе без відповідних вимог щодо якості. При цьому має бути забезпечено здатність об'єкта якості отримувати вихід, який відповідатиме встановленим вимогам до цього виходу [9]. Нафтогазова свердловина як готова гірнична споруда або продукція на шляху до своєї повної готовності має пройти певні виробничі процеси або стадії спорудження - від монтажу обладнання і забурювання стовбура до освоєння продуктивних пластів. Можливі виходи, тобто результати для контролю за якістю на різних етапах спорудження свердловини на рівні бурового супервайзингу, представлено у табл. 1.

У кожному із представлених у табл.1 виходів має бути забезпечено вимірний результат, тобто кількісні та якісні дані, у т.ч. показники якості спорудження свердловини. При цьому необхідно оцінювати ризики виникнення ускладнень геологічного характеру. Вся інформація має бути відповідним чином задокументована. У випадку, коли фактично отримані показники якості не відповідають встановленим, супервайзер після відповідних консультацій має надати дозвіл на такі дії:

- подальше продовження бурових робіт;

- виправлення нештатної ситуації силами бурової бригади або із залученням додаткових ресурсів;

- бракування свердловини та перебурювання частини стовбура.

Кожна із цих дій пов'язана із необхідністю залучення додаткових коштів та інших ресурсів для досягнення проектної глибини.

Основним завданням бурового супервайзера на етапі управління якістю має стати забезпечення реальної якості процесу спорудження свердловини як закінченої гірничої споруди, не нижчої за рівень якості, що забезпечується технічним проектом на спорудження цієї свердловини. При цьому потрібно виділяти задовільну якість свердловини як мінімально допустимий рівень якості, нижче якого свердловина не може функціонувати як гірничо-технічна споруда.

Оскільки виробничі процеси буріння та кріплення свердловини є визначальними, з точки зору формування відповідної якості свердловини, то їх розробці необхідно приділити окрему увагу. У табл. 2 наведено показники якості процесу буріння та кріплення, які пропонуються для контролю на рівні бурового супервайзингу.

Наведені у табл. 2 показники виробничого процесу буріння та кріплення містять також показники якості свердловини, як закінченої гірничо-технічної споруди. Це стосується показників кріплення стовбура обсадними коло-

Таблиця 2 - Показники якості процесів буріння та кріплення на рівні бурового супервайзингу

Процес	Показники якості
Формування стовбура під кондуктор	1. Коефіцієнт технологічної спеціалізації при бурінні під кондуктор. 2. Питома матеріаломісткість буріння.
Кріплення стовбура кондуктором	3. Висота підйому цементу за кондуктором та висота цементного стакану у кондукторі. 4. Якість цементування кондуктора за даними геофізичних досліджень.
Формування стовбура під технічну колону	5. Коефіцієнт технологічної спеціалізації при бурінні під технічну колону. 6. Питома матеріаломісткість буріння. 7. Відхилення вибою свердловини від круга допуску. 8. Відхилення стовбура від заданого напрямку по азимуту. 9. Кавернозність стовбура свердловини. 10. Коефіцієнт безаварійної роботи. 11. Питома вага втрат від браку.
Кріплення стовбура технічною колоною	12. Висота підйому цементу за технічною колоною та висота цементного стакану всередині колони. 13. Якість цементування технічної колони за даними геофізичних досліджень.
Формування стовбура під експлуатаційну колону	14. Коефіцієнт технологічної спеціалізації при бурінні під експлуатаційну колону. 15. Питома матеріаломісткість буріння. 16. Відхилення вибою свердловини від кола допуску. 17. Відхилення стовбура від заданого напрямку по азимуту. 18. Загальна довжина просторового викривлення. 19. Кавернозність стовбура свердловини. 20. Процент виносу керну. 21. Коефіцієнт безаварійної роботи. 22. Питома вага втрат від браку.
Первинне розкриття продуктивного пласта	23. Відповідність обсягів виконаних робіт плану робіт з первинного розкриття продуктивного пласта. 24. Репресія на пласт.
Кріплення стовбура експлуатаційною колоною або хвостовиком	25. Висота підйому цементу за експлуатаційною колоною та висота цементного стакану всередині колони. 26. Якість цементування експлуатаційної колони за даними геофізичних досліджень, у т.ч. якість цементування експлуатаційної колони у продуктивному інтервалі.

нами, а також контролю його просторового положення і кавернозності. У процесі буріння ці показники піддаються, у деяких випадках, коригуванню, а тому в табл. 2 не розмежовуються. У роботі [8] рекомендується розмежовувати показники якості процесу буріння та кріплення з показниками якості свердловини як закінченої споруди. Це доцільно робити у випадку формування показників функціональної якості, тобто тих показників, які, в першу чергу, цікавлять замовника. Тим більше, що такий підхід рекомендується теорією управління якістю [1], де вказується на необхідність створення як внутрішніх стандартів якості організації, так і показників, які б забезпечували функціональну якість об'єкта, необхідну замовнику. Запропо-

новані тут показники функціональної якості свердловини наведено у табл. 3.

З усіх методів підвищення флюїдовіддачі пластів найефективнішим слід вважати підвищення якості процесу буріння і кріплення свердловин. Досвідом розробки нафтогазових родовищ доведено, що при невисокій якості буріння згущення проєктної сітки свердловин часто призводить до нерентабельності процесу видобування вуглеводнів. Довговічність свердловин потрібно підвищувати за рахунок поліпшення їх конструкції і підвищення якості формування відкритого стовбура. Зі збільшенням глибини буріння вплив якості свердловини тільки зростатиме, оскільки ліквідація браку буде високо-вартісною на великих глибинах. Те ж саме мо-

Таблиця 3 – Показники функціональної якості свердловини

Етап робіт у циклі спорудження свердловини	Показники якості
Буріння та кріплення	1. Параметри викривлення стовбура в інтервалі встановлення глибинного насосного обладнання. 2. Параметри викривлення в інтервалах вище та нижче встановлення глибинного насосного обладнання. 3. Герметичність експлуатаційної колони. 4. Центрування експлуатаційної колони.
Вторинне розкриття пласта та освоєння свердловини	5. Параметри забрудненості та гідропровідності пласта. 6. Наявність заколонних перетікань в процесі освоєння.

жна стверджувати про витрати на стадії експлуатації свердловин, а тому додаткові капітальні витрати, які будуть необхідні при створенні системи управління якістю, окупляться.

Організуючи систему контролю якості буріння та кріплення свердловин, необхідно притримуватися таких засад. По-перше, покращення якості потрібне лише у тому випадку, коли вигоди від цього перекриють відповідні витрати. На рівні бурового супервайзингу зустрічається мало виробничих ситуацій, коли потрібно вирішувати, яким чином підвищити якість спорудження свердловини, а скоріше – як недопустити втрату якості наперед запланованих робіт. По-друге, за стандарти якості виконання робіт з буріння та кріплення беруться такі нормативні документи, як геолого-технічний наряд, режимно-технологічна карта, наряд на виконання бурових робіт, а також плани деяких спеціалізованих робіт із підвищеним рівнем уваги з боку виконавця (наприклад, план робіт з первинного розкриття продуктивного пласта, план робіт з ліквідації геологічного ускладнення і т.п.). Для гарантованого забезпечення якості спорудження свердловини вважається, що буровому підряднику достатньо строго притримуватися вимог нормативних документів, при цьому потрібно ще й брати до уваги різні ризики. Процеси буріння та кріплення свердловини, на відміну від інших видів виробничої діяльності, знаходяться під значним впливом геологічних умов, а тому результат цих процесів не є строго визначеним. Окрім того, на якість свердловини впливають також якість проектування та достовірність вхідної інформації у завданні на проектування.

Виходячи з наведеного, система управління якістю спорудження свердловин на етапі контролю обов'язково має мати елементи зворотного зв'язку між проектною організацією, виконавцем та замовником. У свою чергу, зворотний зв'язок потрібен для перегляду та коригування нормативних документів, що є ще од-

нією із засад у створенні системи управління якістю. Насамкінець, працівники мають знати, що їх преміюють за досягнення встановлених стандартів якості у бурінні.

Важливим є не тільки те, як часто здійснюється контроль, але й який час мине з моменту, коли помітили відхилення і прийняли рішення про його усунення. З огляду на це, система управління якістю не повинна бути складною. Всі запрограмовані управлінські рішення приймаються на стадії проектування, управлінський персонал має право коригувати проектні документи, а отже, бурового супервайзера необхідно забезпечити інструментарієм компактного представлення інформації на вищій рівень управління. Таким інструментарієм може стати один із експертних методів оцінювання якості, представлений відповідним програмним забезпеченням та підкріплений статистичними методами контролю якості. Як один із прийнятних варіантів нижче наводиться метод аналізу ієрархій Т.Сааті [11].

Реалізація методу аналізу ієрархії у прямій задачі Т.Сааті відбувається за такими етапами.

1) Визначається загальна мета проблеми, яка потім ділиться на підцілі, які, у свою чергу, забезпечуються відповідними ресурсами та відповідними варіантами або альтернативами дій з боку виконавця. Враховуються також фактори, які діють на підцілі у тих чи інших умовах вирішення проблеми.

2) Складається відповідна ієрархія – схематичне представлення проблеми досягнення генеральної мети.

3) Методом попарного порівняння експерт визначає на скільки той чи інший фактор або ресурс має перевагу, чи навпаки поступається іншим факторам або ресурсам на кожному рівні ієрархії у досягненні кожної підцілі вищого рівня. Порівняння виконуються експертом за шкалою, запропонованою в [11] і наведеною у табл. 4.

Таблиця 4 – Шкала порівнянь за методом аналізу ієрархії

<i>Визначення або судження експерта</i>	<i>Ступінь важливості або виставлені експертом бали переваги</i>	<i>Пояснення до дій експерта</i>
Однакова значущість елементів оцінювання	1	Два оцінювані елементи роблять однаковий внесок у досягнення цілі
Деяка перевага одного елемента оцінювання над іншим	3	За своїм досвідом та судженнями експерт віддає перевагу одному елементу перед іншим
Суттєва або сильна значущість одного елемента у порівнянні з іншим	5	Досвід та судження надають сильну перевагу одному елементу оцінювання над іншим
Дуже сильна або очевидна значущість	7	Перевага одного елемента над іншим дуже явна
Абсолютна значущість	9	Свідчення на користь одного елемента оцінювання перед іншим проявляються у найвищій мірі переваги
Проміжні значення між сусідніми балами шкали	2, 4, 6, 8	Ситуація, яка вимагає компромісного підходу до оцінювання
Обернені величини наведених вище балів переваги	Дробові числа, що виникають у заданій шкалі	Математично обґрунтоване припущення

Результати експертного оцінювання зводяться у квадратну матрицю n -ної розмірності, де n – кількість факторів порівняння як по рядках, так і по стовпцях матриці. Оскільки порівняння факторів проводиться по рядках матриці, то її діагональ буде складена з одиниць у будь-яких ситуаціях оцінювання (перевага одного і того ж елемента оцінювання над самим собою буде рівнозначною).

4) Розраховується вектор оцінок переваги серед всіх елементів нижчого рівня відносно їх внеску в реалізацію однієї з цілей вищого рівня. Оцінкою переваги є відношення середнього геометричного усіх балів переваги відповідного фактора оцінювання (і так кожного по рядках матриці) до суми всіх середніх геометричних. На нижчому рівні ієрархії з відповідних векторів формується матриця оцінок.

5) Шляхом перемноження вектора на матрицю оцінок отримують новий вектор оцінок переваги кожного елемента оцінювання нижчого рівня до вищої цілі. Такі дії виконуються до найнижчого рівня ієрархії оцінювання. У кінцевому результаті отримують вектор оцінок переваги відносно реалізації генеральної цілі, тобто першого рівня ієрархії.

6) На кожному з рівнів розрахунку оцінок переваги виконують перевірку узгодженості, яка є відзеркаленням пропорційності виставлених експертом переваг. Узгодженість визнача-

ється через відношення індекса узгодженості, розрахованого для даної матриці, до випадкового індекса [11]. Якщо розраховане відношення менше або рівне 0,10, то вважають, що узгодженість є прийнятною.

Відносно проблеми оцінювання якості в бурінні, генеральною ціллю є визначення інтегрального коефіцієнта якості, про що наголошується в роботі [8]. Внесок у даний показник роблять всі наведені у табл. 2 та табл. 3 фактори, але, зрозуміло, що різною мірою, яка залежить від умов спорудження свердловини. Оцінити відносний внесок кожного часткового показника в інтегральний коефіцієнт є завданням бурового експерта. Функції бурового експерта за наявності відповідного програмного забезпечення міг би взяти на себе буровий супервайзер. На останньому рівні оцінювання потрібно порівняти реалізацію кожного показника якості на даній свердловині з деякою наперед заданою еталонною якістю. За еталонну можна взяти якість, яку отримують на виході у випадку максимально точної реалізації проектних вимог. Можна також взяти за еталонний показник якості досвід та знання бурового експерта, набуті ним у подібних умовах буріння та кріплення на інших свердловинах. Схема розрахунку в жодному випадку не зміниться.

На рис. 1 відображено ієрархію розрахунку за методом аналізу ієрархії. На вищу сходинку

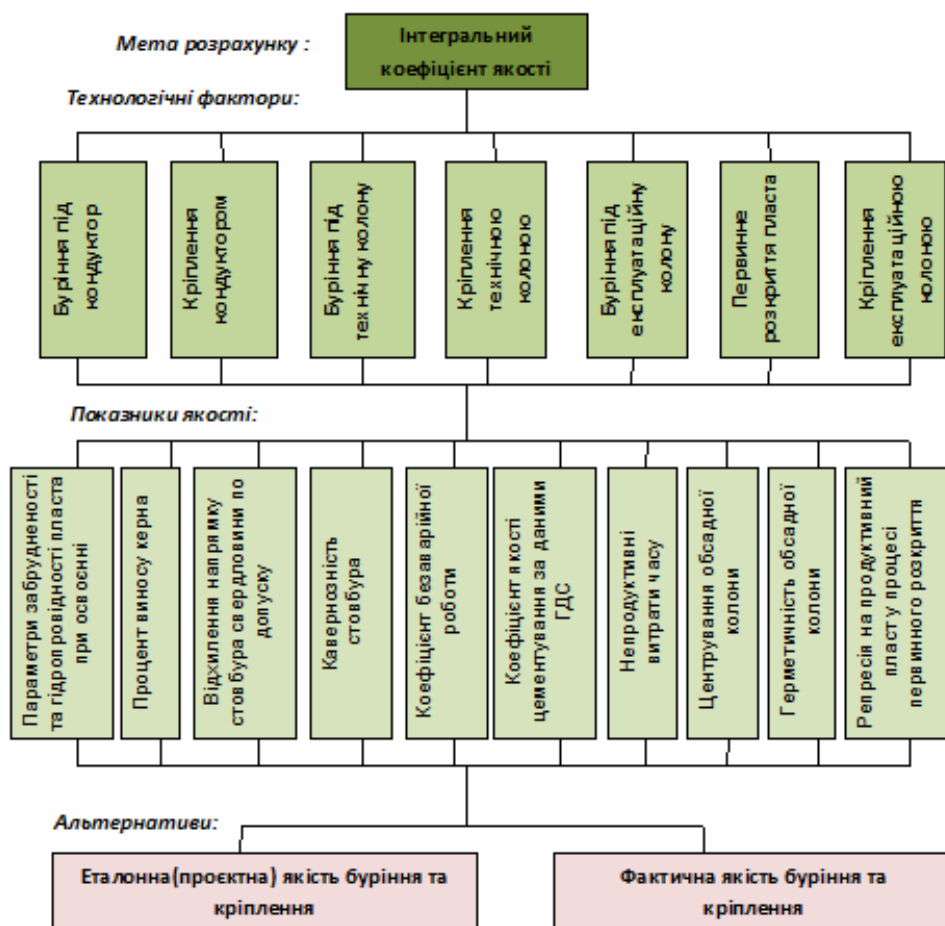


Рисунок 1 – Ієрархія визначення інтегрального коефіцієнта якості

Ієрархії (мету розрахунку) покладено знаходження інтегрального коефіцієнта якості свердловини, який би об'єднував часткові показники якості, наведені у табл. 2 і 3, що, у свою чергу, роблять внесок у інтегральну якість через технологічні фактори буріння під різні обсадні колони. Зрозуміло, що ці фактори по-різному впливають на інтегральний показник якості. При цьому до уваги взято десять найважливіших часткових показників якості, які в підсумку визначатимуть якість свердловини як закінченої гірничо-технічної споруди.

Під час розрахунку інтегрального показника якості спочатку визначається вектор оцінок внесків кожного фактора на другій сходинці ієрархії у формування інтегральної якості свердловини. Вибираються часткові показники якості на третій сходинці ієрархії для реалізації кожного фактора. Виконується оцінка цих часткових показників шляхом розрахунку відповідних векторів переваги, з точки зору реалізації кожного технологічного фактора. Виконується попарне порівняння проектної якості та фактично досягнутої на свердловині якості шляхом розрахунку вектора оцінок переваги для кожного

часткового фактора. Отримані в результаті експертного порівняння оцінки переваги групуються у матриці та вектор оцінок, які перемножуються на кожній сходинці ієрархії. Виконується перевірка на узгодженість виставлених буровим експертом балів переваги шляхом розрахунків відповідного індекса.

У результаті розрахунків за представленою схемою (рис. 1) та наведеною вище методикою отримують вектор оцінок для еталонної якості та фактично досягнутої якості виробничих процесів буріння та кріплення. Сума цих оцінок становитиме 1,00, оскільки метод передбачає визначення пріоритетів серед елементів нижнього рівня щодо їх внеску у реалізацію генеральної мети. Щоб отримати інтегральний коефіцієнт, потрібно оцінку фактично досягнутої якості поділити на оцінку еталонної якості

$$KI = \frac{w_2}{w_1}, \quad (1)$$

де KI – інтегральний коефіцієнт якості процесів буріння та кріплення свердловини;

w_2 – оцінка з вектора пріоритетів для фактично досягнутої якості процесів буріння та кріплення;

Таблиця 5 – Шкала якості

Інтегральний коефіцієнт якості <i>KI</i>	Загальноприйнята оцінка якості
0.95 - 1.00	Висока якість
0.85 - 0.94	Хороша якість
< 0.85	Низька якість

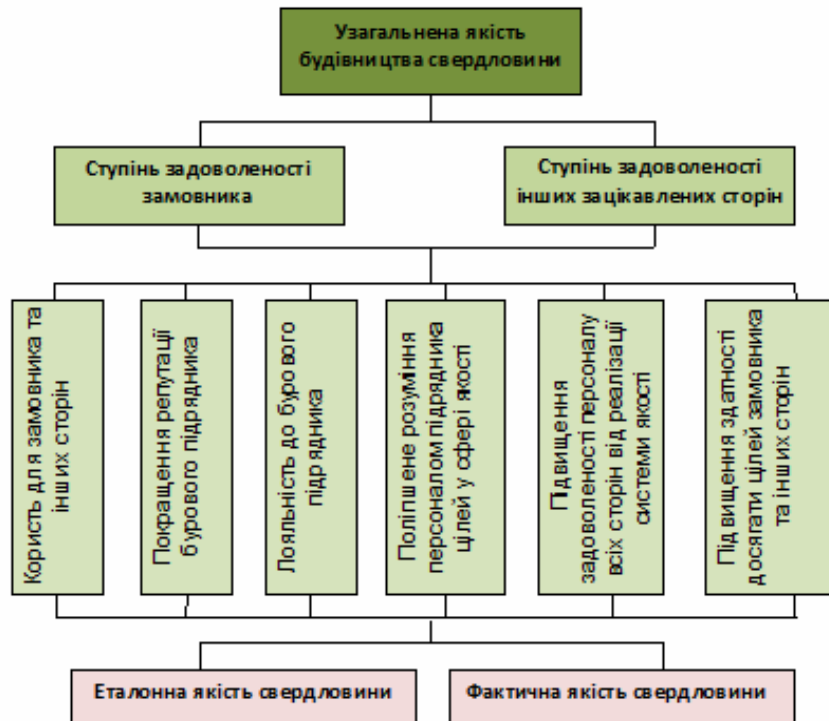


Рисунок 2 – Ієрархія альтернативних показників якості

w_1 - оцінка з вектора пріоритетів для еталонної якості.

Наприклад, якщо в результаті експертного оцінювання виявиться, що $w = \begin{bmatrix} 0,55 \\ 0,45 \end{bmatrix}$, то інтегральний коефіцієнт якості для таких умов оцінювання складе $KI = 0,45/0,55 = 0,82$. Таким чином, фактично досягнута якість на даній свердловині відносно деякої заданої наперед еталонної якості складе 82% у даних умовах оцінювання.

Якщо виявиться, що всі заплановані показники повною мірою реалізовано при бурінні та кріпленні, то вектор оцінок переваги матиме вигляд $w = \begin{bmatrix} 0,55 \\ 0,45 \end{bmatrix}$, а отже, інтегральний коефіцієнт якості виробничих процесів буде рівний 1,00, тобто набуде максимального значення. Замовнику бурових робіт залишається визначити і встановити, якими саме мають бути числові значення інтегрального коефіцієнта якості, що дуже легко зробити, виходячи із прийнятного ступеня реалізації власних вимог та побажань замовника. Можна запропонувати, наприклад, таку шкалу якості (табл. 5).

На рис. 2 наведено ієрархію процесу експертного оцінювання з використанням деяких альтернативних показників якості спорудження свердловин, рекомендованих стандартом ISO 9000:2015. На відміну від схеми, зображеної на рис.1, тут пропонується визначити ступінь реалізації тих показників якості, які важко кількісно розрахувати. Для формування еталонної якості потрібно виконувати спеціальний збір та аналіз даних щодо вимог замовника та державних органів управління у сфері нафтогазовидобування, про що вже наголошувалося вище при розгляді показників оцінювання якості проектно-кошторисної документації.

Урахування показників безпечних умов праці
 Безперечно, що вищенаведена система виробничих показників якості буріння та кріплення свердловин вимагає доповнення показниками з дотримання техніки безпеки виробничих процесів. Тут ще потрібно проаналізувати всі нормативні документи та акти законодавчого характеру з метою вироблення прийнятної методики оцінки впливу цих показників на якість свердловини.

У першому наближенні пропонується використати вже існуючу систему показників безпечного ведення бурових робіт та сформулювати задачу оцінювання інтегрального коефіцієнта безпечних умов праці, аналогічну виснаженій, з використанням методу Т.Сааті.

Урахування екологічних показників

Цілком очевидно, що окремо від виробничої задачі та задачі дотримання безпечних умов праці потрібно також сформулювати задачу інженерного захисту надр та навколишнього середовища. Оскільки система екологічних показників передбачає врахування розгалужених факторів геомеханічних та гідрогеологічних порушень, а також заходи з гідроізоляції та ліквідації шламових амбарів, рекультивації земель, очищення бурових стокових вод, очищення та утилізації бурових розчинів, то тут також буде доцільним отримати інтегральний коефіцієнт, який би відображав умови охорони надр та навколишнього середовища. Як і в попередніх випадках, пропонується використати той самий метод аналізу ієрархії.

Використання одного й того ж методу аналізу ієрархії на всіх стадіях оцінювання якості потрібне для отримання в підсумку інтегрального коефіцієнта якості по свердловині, який відповідно до суті методу визначатиметься як середнє геометричне значення часткових інтегральних коефіцієнтів

$$I_{\text{св}} = (KI_{\text{пр}} \cdot KI_{\text{бк}} \cdot KI_{\text{тб}} \cdot KI_{\text{ек}})^{1/4}, \quad (2)$$

де $I_{\text{св}}$ – інтегральний коефіцієнт якості свердловини;

$KI_{\text{пр}}$ – інтегральний коефіцієнт при визначенні якості проектно-кошторисної документації;

$KI_{\text{бк}}$ – інтегральний коефіцієнт якості процесів буріння і кріплення свердловини за формулою (1);

$KI_{\text{тб}}$ – інтегральний коефіцієнт безпечних умов ведення бурових робіт;

$KI_{\text{ек}}$ – інтегральний коефіцієнт охорони надр та довкілля.

Наведені напрямки вдосконалення системи оцінювання якості, розраховані на довготривалу роботу з досягнення прийнятних результатів для всіх учасників сервісних послуг на нафтогазовому ринку. Наведений у запропонованих ієрархіях оцінювання якості перелік факторів та показників може виявитися неповним або таким, що певною мірою не влаштуватиме одну із сторін. Також може виявитися, що буровим експертом (супервайзером) неправильно виставлені пріоритети за внеском того чи іншо-

го показника якості у формування інтегрального коефіцієнта. Потрібно брати до уваги, що шкала оцінювання, наведена у табл.4, розроблена автором [11] для оцінювання досить складних геополітичних, економічних, суспільних та інших ситуацій, а тому у випадку оцінювання чисто технічної чи технологічної проблеми, що має місце в бурінні глибоких свердловин на нафту й газ, у багатьох випадках можна обійтися першими трьома бальними оцінками переваги (1 - однакова значущість; 3 - певна перевага; 5 - сильна перевага), а також проміжними парними значеннями. Експертні оцінки "абсолютна перевага" та "дуже сильна перевага", при визначенні внеску того чи іншого показника, потрібно присвоювати з деякою обережністю.

Висновки

Інтегральний коефіцієнт якості свердловини може стати критерієм вибору замовником-надрокористувачем тих сервісних компаній, які зможуть надати більш якісні послуги з виконання бурових робіт.

Представлений у статті метод оцінювання якості спорудження свердловин може стати частиною системи управління якістю у складі автоматизованої управлінської системи або експертної системи. У цьому випадку потрібно оцінювати співвідношення результатів або вигід до витрат на створення та функціонування такої системи. Запропоновану формулу для визначення інтегрального коефіцієнта якості можна застосовувати тільки разом із методом аналізу ієрархії. У випадку застосування інших експертних методів оцінювання визначення коефіцієнта вимагатиме іншого підходу.

Подальші дослідження можуть бути проведені з уточненням ієрархічної структури оцінювання та уточненням шкали якості технологічного процесу буріння та кріплення свердловин.

Література

1. Мескон М.Х., Альберт М., Хедоури Ф. Основы менеджмента. М.: Дело, 1992. 702с.
2. Деякі напрямки удосконалення технологій спорудження свердловин на сланцевий газ/ М.А. Мислюк, З.Д. Хоминець, Ю.М. Салижин та ін. *Нафтогазова галузь України*. 2013. №1. С.40-45.
3. Принципи створення системи керування якістю спорудження нафтових і газових свердловин / М.А. Мислюк, І.Й. Рибчич, Д.О. Єгер та ін. *Нафтова і газова промисловість*. 2007. №1. С.9-13.

4. Мислюк М.А., Єгер Д.О., Зарубін Ю.О., Мислюк В.М. Система оцінювання якості спорудження нафтових і газових свердловин. *Нафтова і газова промисловість*. 2008. №3. С. 16-18.
5. Мислюк М.А., Єгер Д.О., Зарубін Ю.О., Мислюк В.М. Критерії оцінювання якості свердловини. *Нафтова і газова промисловість*. 2008. №1. С.22-24.
6. Семенцов Г.Н., Гутак О.В. Моделирование та ідентифікація процесу буріння для задач оптимізації управління: монографія. Одеса: Купрієнко СВ, 2014. 295с.
7. Ваганов Ю.В., Кустышев А.В., Овчинников В.П., Кустышев И.А. Основы супервайзерского контроля при ремонте и реконструкции нефтяных и газовых скважин: учебное пособие. Тюмень: ТюмГНГУ, 2014. 160 с.
8. Балаба В.И. Оценка соответствия при строительстве скважин. *Управление качеством в нефтегазовом комплексе*. 2010. №1. С.41-46.
9. ДСТУ ISO 9000:2015 Системи управління якістю. Основні положення та словник термінів (ISO 9000:2015, IDT). Київ: ДП "УкрНДНЦ". 2016. 45с.
10. Аниськовцев О. В., Чарковський В. М., Непомнящий А. С., Щербатюк І. Д., Середюк В. Д. Планування рішень в ускладнених умовах буріння свердловин на нафту й газ. *Розвідка та розробка нафтових і газових родовищ*. 2008. №3(28). С.5-10.
11. Саати Т. Принятие решений. Метод анализа иерархий / пер. с англ. М.: Радио и связь, 1993. 278 с.
5. Mysliuk M.A., Yeher D.O., Zarubin Yu.O., Mysliuk V.M. Kryterii otsiniuvannya yakosti sverdlovyny. *Naftova i hazova promyslovisht*. 2008. No1. P.22-24. [in Ukrainian]
6. Sementsov H.N., Hutak O.V. Modeliuvannya ta identyfikatsiia protsesu burinnia dlia zadach optymizatsii upravlinnia: monohrafiia. Odesa: Kuprienko SV, 2014. 295p. [in Ukrainian]
7. Vaganov Yu.V., Kustyshev A.V., Ovchinnikov V.P., Kustyshev I.A. Osnovy supervayzerskogo kontrolya pri remonte i rekonstruktsii neftyanykh i gazovykh skazhin: uchebnoe posobie. Tyumen: TyumGNGU, 2014. 160 p. [in Russian]
8. Balaba V.I. Otsenka sootvetstviya pri stroitelstve skvazhin. *Upravlenie kachestvom v neftegazovom komplekse*. 2010. No1. P.41-46. [in Russian]
9. DSTU ISO 9000:2015 Systemy upravlinnia yakistiu. Osnovni polozhennia ta slovnyk terminiv (ISO 9000:2015, IDT). Kyiv: DP "UkrNDNTs". 2016. 45p. [in Ukrainian]
10. Aniskovtsev O. V., Charkovskiy V. M., Nepomniashchyi A. S., Shcherbatiuk I. D., Serediuk V. D. Planuvannya rishen v uskladnenykh umovakh burinnia sverdlovyn na naftu y haz. *Rozvidka ta rozrobka naftovykh i hazovykh rodovyshch*. 2008. No3(28). P.5-10. [in Ukrainian]
11. Saati T. Prinyatie resheniy. Metod analiza ierarhiy / per. s angl. M.:Radio i svyaz, 1993. 278 p. [in Russian]

References

1. Meskon M.H., Albert M., Hedoyri F. Osnovy menedzhmenta. M.: Delo, 1992. 702 p. [in Russian]
2. Deiaki napriamky udoskonalennia tekhnolohii sporudzhennia sverdlovyn na slantsevyi haz / M.A. Mysliuk, Z.D. Khomynets, Yu.M. Salyzhyn ta in. *Naftohazova haluz Ukrainy*. 2013. No1. P.40-45. [in Ukrainian]
3. Pryntsypy stvorennia systemy keruvannia yakistiu sporudzhennia naftovykh i hazovykh sverdlovyn / M.A. Mysliuk, I.I. Rybchych, D.O. Yeher ta in. *Naftova i hazova promyslovisht*. 2007. No1. P.9-13. [in Ukrainian]
4. Mysliuk M.A., Yeher D.O., Zarubin Yu.O., Mysliuk V.M. Systema otsiniuvannya yakosti sporudzhennia naftovykh i hazovykh sverdlovyn. *Naftova i hazova promyslovisht*. 2008. No3. P.16-18. [in Ukrainian]