

попереднє настроювання приладу з п'єзоперетворювачем на зразку;

контроль зусилля затяжки реального з'єднання на буровій.

Попередню настройку приладу з п'єзоперетворювачем необхідно проводити кожний раз перед проведенням контролю на зразку для настроювання, який являє собою замкове різьбове з'єднання відповідного типорозміру. Контроль зусилля затяжки на буровій необхідно проводити після закріплення бурильної колони в клинових захватах або посадки на елеватор.

Контролюються всі неробочі різьбові з'єднання в свічах ОБТ і робочі після їх згинчування.

Різьбове з'єднання підлягає додатковій затяжці або розгвинчуванню з послідуною затяжкою з оптимальним крутним моментом, якщо співвідношення амплітуд луна-сигналів 2 і 3 на контрольованому з'єднанні і дослідному зразку відрізняються більше, ніж на 15%. Поєднання неруйнівного контролю різьбових ділянок ОБТ з контролем зусилля затяжки замкового з'єднання дозволить оптимально відпрацювати комплект ОБТ при бурінні глибоких свердловин.

1. ДСТУ 2389-94 Технічне діагностування та контроль технічного стану. Терміни та визначення. 2. Сароян А.Е. Теорія і практика роботи бурильної колони. – М.: Недра, 1990. – 263 с.

УДК 622.242.6

## ОЦІНКА ЗАЛИШКОВОГО РЕСУРСУ ТА ВИЗНАЧЕННЯ ФАКТИЧНОГО СТАНУ - ОСНОВА ПРОМИСЛОВОЇ БЕЗПЕКИ БУРОВИХ УСТАНОВОК

© Карнаш О.М., Зінчак Я.М., Козулькевич М.Р., Карнаш М.О., 2005  
Івано-Франківський національний технічний університет нафти і газу

*Наведена концепція продовження терміну експлуатації бурових установок (БУ). Досліджені проблеми прогнозування реального залишкового ресурсу бурових установок. Досліджені методи ранньої діагностики різних типів обладнання та конструкцій, проаналізовано їх переваги та недоліки при використанні для визначення фактичного технічного стану механічного обладнання бурових установок в процесі експлуатації. Вибрані і описані два основні методи ранньої діагностики, які можуть бути застосовані до бурових установок (стаціонарних та мобільних): метод магнітної пам'яті металу та вібраційний метод діагностування.*

Розвиток систем паливної енергетики і об'єктів хімічної технології пов'язаний із збільшенням масштабів видобування і переробки нафти, газу і конденсату, зі значним зростанням одиничних потужностей установок і апаратів, а також із ускладненням самих технологічних процесів і режимів управління виробництвом. Як наслідок, поряд з розвитком науково-технічного прогресу в промисловості має місце стійка тенденція росту кількості аварій з важкими екологічними, економічними, і соціальними наслідками. Безпека, таким чином, висувається в число основних характеристик промислових об'єктів [1].

Особливу актуальність проблема промислової безпеки має для підприємств нафтогазового комплексу, що підтверджується даними Держнаглядохоронпраці про аварійність за останні роки.

Особливо стоїть питання промислової безпеки при експлуатації бурового обладнання, нормативний

(розрахунковий) термін експлуатації якого перевищує 10 років. Основна частина бурових установок, випущених ще до 90-х років, в даний час виробила свій розрахунково-нормативний термін експлуатації і потребує масштабної заміни. Тому існує нагальна потреба оцінки їх залишкового ресурсу, визначення фактичного стану та прийняття рішення про доцільність подальшої експлуатації чи невідкладної заміни.

Якщо визначення можливості безпечної експлуатації бурових веж на підставі неруйнівного контролю та оцінки технічного стану їх металоконструкцій на всіх стадіях життєвого циклу (проекування, виготовлення, перевірок і випробувань, крім експлуатації) достатньо вивчені, розроблені та описані [2], то контроль пошкоджень в процесі експлуатації, побудова сценаріїв виникнення і розвитку аварій, концепція продовження терміну експлуатації БУ, визначення фактичного стану обладнання БУ сучас-

ними методами ранньої діагностики, є актуальним предметом детальних досліджень.

Величина ризику виникнення та розвитку аварій обладнання, тобто частота реалізації небезпек певного класу, визначається як ймовірність аварій, об'єднана з можливими наслідками. Розрахунок і аналіз ризику (оцінка ризику), основою яких є залишковий ресурс, є тим методичним інструментом, при допомозі якого потенційна небезпека може бути оцінена кількісно.

Суть концепції аналізу ризику заключається у побудові більшості всіх без виключень (що не суперечать законам фізики) сценаріїв виникнення аварій на об'єкті з наступною оцінкою частоти реалізації кожного з сценаріїв та визначенням масштабів наслідків розвитку сценаріїв.

Всі причини виникнення та розвитку аварій можна розділити на чотири класи:

- I – відмови обладнання;
- II – відхилення від технологічного регламенту;
- III – помилки виробничого персоналу;
- IV – форс-мажор.

Для аналізу ініціювання аварій, викликаних відмовами обладнання, найчастіше використовується метод дерева відмов (Fault Tree Analysis – FTA) [3]. Однією із переваг цього методу є систематична, логічно обгрунтована побудова множини відмов елементів системи, які можуть приводити до аварії. FTA вимагає повного розуміння функціонування системи та характеру відмов її елементів.

FTA розбиває аварію на складові компоненти, що визначаються відмовами обладнання. Даний метод є методом “зворотного осмислення”, тобто дослідник починає з аварій чи іншої небажаної події і розглядає події, які можуть привести до їх реалізації. Потім досліджують причини виникнення цих подій і так далі, до тих пір, поки не будуть виявлені всі первинні події, аналіз причин виявлення яких не приводиться або через відсутність необхідної інформації, або через небажання розглядати занадто громіздку структуру. Результатом аналізу дерева несправностей є перелік комбінацій відмов обладнання.

Слід відзначити, що метод дерева несправностей дозволяє врахувати не тільки відмови обладнання, але і, після проведення відповідних розрахунків та оцінок, причини, які відносяться до других класів.

Дерево несправностей – це графічне представлення логічних зв'язків між відмовами обладнання та аварійними ситуаціями.

Відмови, що входять у структуру дерева несправностей, можуть бути поділені на три групи:

- первинні відмови,
- вторинні відмови,
- відмови управління.

Однією із задач аналізу дерева несправностей є визначення переліку первинних відмов, що приводять до створення аварійної ситуації.

Вторинні відмови та відмови управління являються проміжними подіями, які вимагають додаткового аналізу для виявлення первинних подій, які приводять до їх виникнення.

Аналіз дерева несправностей виконується у чотирьох стадіях:

- поставлення завдання,
- розроблення дерева несправностей,
- визначення мінімальних перериваючих сукупностей,
- ранжування цих сукупностей.

Дерево несправностей дає багато корисної інформації, яка полягає у відображенні взаємодій несправностей обладнання, які можуть привести до виникнення аварій. Однак, за виключенням найпростіших дерев несправностей, навіть найкваліфікованіший дослідник не може визначити безпосередньо з дерева всі комбінації відмов елементів, що приводять до аварії. Для цих цілей розроблені спеціальні комп'ютерні коди.

Найбільш часто для аналізу можливих сценаріїв розвитку аварії використовується метод дерева подій. Цей метод дозволяє прослідкувати можливі аварійні ситуації, що виникають внаслідок реалізації відмови обладнання або переривання процесу, який виступає в якості вихідних подій.

На відміну від методу дерева несправностей, аналіз дерева подій являє собою “прогнозований наперед” процес, при якому споживач починає з вихідної події і розглядає ланцюг наступних подій, що приводять до аварії.

Основна процедура аналізу дерева подій включає в себе чотири стадії:

- визначення переліку вихідних подій,
- визначення “безпечних дій” для кожної вихідної події,
- побудова дерева подій,
- описання загальної послідовності подій.

Важливою частиною методу є перша стадія – вибір вихідних подій. До “безпечних подій” відносяться відповідні події, що направлені на ліквідування впливу вихідної події, яка реалізувалася.

Відхилення від регламентованих умов, тобто від умов експлуатування, передбачених технічною і нормативною документацією, що можуть приводити, в кінцевому рахунку до виникнення аварійних ситуацій, можуть носити як випадковий, так і детермінований характер. До перших відносяться погодні умови, діапазон параметрів матеріалів, змінні умови навантаження, внаслідок взаємодії передруйнівного інструменту в свердловині тощо. До других відносяться зміни характеристик січень, викликані коро-

зійно-ерозійним зношенням в процесі експлуатації обладнання, зміна механічних характеристик матеріалів у процесі старіння тощо.

Аналізування починається не з визначення видів можливих несправностей, а з вивчення системних змінних (змінних процесу) та їх відхилень від норми [4]. Цей метод ґрунтується на тому, що ті що розвиваються або уже існуючі несправності проявляються так чи інакше у відхиленнях змінних процесу від звичайного рівня, що спостерігається. (необхідно відзначити схожість основної ідеї цього методу ідеєю методу контрольних карт).

Використання методу починається з дослідження структури системи і процесів, що в ній протікають, та аналізу кожного можливого відхилення змінних від нормального значення, а потім виявляються можливі причини і наслідки цих відхилень.

Результати досліджень для кожного з параметрів процесу заносяться у спеціальні таблиці.

Помилка виробничого персоналу – це дія, яка виконується або не виконується при деяких умовах. Це можуть бути фізичні дії (поворот ручки на пульті керування) або дії, пов'язані з розумовою діяльністю (діагностики відмов чи прийняття рішення).

Метод аналізу помилок персоналу (HUMAN RELIABILITY ANALYSIS – HRA) призначений для якісної оцінки подій, пов'язаних з помилками персоналу. Він також може бути використаний для розроблення рекомендацій для зниження ймовірності таких помилок [5].

HRA включає ідентифікацію умов, які викликають помилки людей, і оцінку ймовірності таких помилок.

Форс-мажор (зовнішні події) можуть бути поділені на дві категорії:

- природні явища: землетруси, паводки, урагани, висока температура, грозові розряди тощо;
- явища, що виникають у результаті діяльності людей: авіакатастрофи, падіння ракет, діяльність сусідніх промислових об'єктів, диверсії тощо.

Включення в дерево несправностей зовнішніх причин вимагає не тільки розуміння особливостей функціонування аналізованої системи, але і її зв'язку з другими системами та природними явищами.

Оцінка частоти реалізації різних сценаріїв сценарію виникнення і розвитку аварій визначається з використанням методу дерева подій.

Методологічні підходи до оцінки частот реалізації різних сценаріїв виникнення і розвитку аварії передбачають наявність повної інформації про частоту первинних відмов, взаємні впливи відмов елементів, їх залишкові ресурси тощо.

Головна мета менеджменту дослідження промислової безпеки БУ – продовження терміну безпечної експлуатації (що особливо важливо для дорогих

установок для буріння, ремонту та освоєння нафтогазових свердловин).

На рис. 1 показана діаграма продовження безпечного ресурсу експлуатації БУ [3].

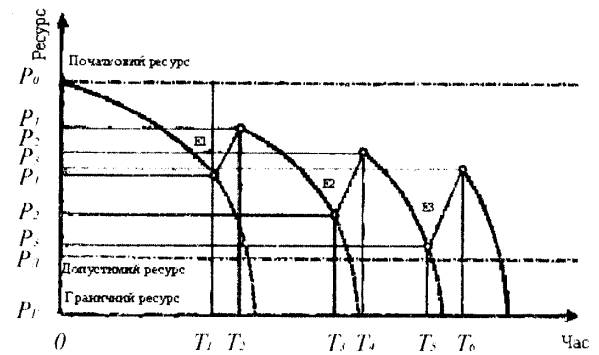


Рис. 1. Діаграма продовження безпечного ресурсу експлуатації БУ

Розглянемо алгоритм, який лежить в основі процесу продовження терміну експлуатації.

Початок експлуатації характеризується початковим ресурсом безпеки (надалі – ресурс), якому відповідає значення  $P_0$ . При досягненні розрахункового (нормативного) терміну експлуатації (дільниця  $0-T_1$ ) ресурс БУ знижується (значення  $P_1$ ) і наближається до допустимого рівня. На цьому етапі (точка  $E_1$ ) приймається рішення або про вивід БУ з експлуатації, або про проведення експертизи, ремонту або модернізації БУ.

На дільниці  $T_1-T_2$  проводиться дослідження (експертиза) промислової безпеки, заходи з ліквідування дефектів, модернізація, ремонт, а також перевіряється якість і повнота заходів з ліквідування дефектів. У результаті проведеної модернізації ресурс БУ може бути підвищений до рівня  $P_1$ : на основі результатів експертизи і виконання коригуючих заходів з ремонту, модернізації, приведення у відповідність вимогам норм і правил безпеки обладнання БУ виходить в експлуатацію (дільниця  $T_2-T_3$ ) на новий продовжений термін. Наступна експлуатація поступово приводить до зниження ресурсу БУ і на момент часу  $T_3$  в точці  $E_2$  знову приймається рішення або про вивід БУ з експлуатації, або про проведення наступного комплексу експертизи, ремонту або модернізації БУ і т. д. Слід відзначити, що із збільшенням віку БУ витрати і час на проведення експертизи, ремонту й модернізації зростають, в той час як продовжений термін експлуатації знижується.

Контроль технічних пристроїв БУ передбачає використання не менше двох неруйнівних методів, один з яких призначений для виявлення поверхневих дефектів, а другий – для виявлення внутрішніх дефектів.

Методи неруйнівного контролю (НК) вибираються на розсуд фахівців, що проводять технічне діагностування, і (або) у відповідності з керівними документами на проведення НК.

НК виконується атестованими спеціалістами у відповідності з методичною документацією на проведення НК.

Для виявлення дефектів можуть використовуватися такі методи НК:

- візуально-вимірвальний (візуально-оптичний) контроль згідно з ГОСТ 25706-83,
- радіографічний контроль за ГОСТ 7512-82,
- ультразвуковий (акустичний) контроль згідно з ГОСТ 14782-86,
- капілярний контроль згідно з ГОСТ 18442-80,
- магнітопорошковий або феррозондовий контроль згідно з ГОСТ 21104-75 і ГОСТ 21105-87,
- вібраційний (вібродіагностика),
- вихрострумний,
- акустично-емісійний контроль згідно з ГОСТ 27655-88,
- інші, що забезпечують потрібне виявлення дефектів (твердометрія, товщинометрія тощо).

Теорія запобігання аварій і катастроф наряду з моделюванням ризику включає аналіз граничних станів при найскладніших сценаріях розвитку аварійних ситуацій з урахуванням первинних і вторинних факторів пошкоджень для забезпечення безпеки при комбінованих діях вражаючих чинників.

В цілому при традиційному вирішенні проблеми безпеки використовують три підходи:

- з позицій міцності (в її багатокритерійному виразі через напруження  $\sigma$ ),
- з позицій ресурсу (в тимчасовій і поциклових постановках),
- з позицій надійності (у вірогідності багаточинника  $P$ -представлення).

Визначення міцності, ресурсу і живучості в теорії і техніці попередження і запобігання аварій разом з моделюванням включає аналіз граничних станів, розвиток методів і створення систем оперативної діагностики аварійних ситуацій і пошкоджених станів.

Визначення базових параметрів по всьому ланцюжку "міцність – безпека" ґрунтується на застосуванні методів неруйнівного контролю і вимірювань для визначення фактичного стану.

Загальна практика контролю нафтогазового обладнання та інструменту передбачає застосування методів ранньої діагностики [6] для попередження утворення недопустимих дефектів, їх виявлення на ранній стадії, а також для прогнозування залишкового ресурсу з метою продовження терміну експлуатації.

Питання діагностування загалом, зокрема раннього, нерозривно пов'язане із процесом руйнування, оскільки метою діагностування є попередження та прогнозування раптових руйнувань конструкцій та обладнання. Для металоконструкцій тривалої експлуатації, до яких належать і бурові установки, характерним є вихід з ладу в результаті руйнування або втомних пошкоджень, а не внаслідок зносу.

Останнім часом стало загальноприйнятим вважати, що процес втомного руйнування складається із трьох фаз. Перша фаза – виникнення тріщини, далі йде друга – поширення тріщини, і, зрештою, коли тріщина досягає критичного розміру, процес руйнування завершується третьою фазою – швидкий та неусталений ріст тріщини до повного руйнування. Можливість моделювання кожної із цих фаз інтенсивно досліджувались, однак на даний момент ще не створено моделей, які б в сукупності представляли загальний інженерний метод розрахунку.

В розробці методик застосування методів неруйнівного контролю та технічної діагностики досягнуто значного поступу, і вони обов'язково повинні застосовуватися при створенні безпечних та надійних конструкцій. Загалом, всі розроблені методи ранньої діагностики дозволяють здійснювати опосередкований контроль таких параметрів: напружено-деформований стан; зміна структури металу; зміна фізико-механічних характеристик; зони концентрації напружень; виявлення дефектів на стадії утворення.

Серед відомих методів ранньої діагностики різних типів обладнання та конструкцій, які були розроблені в останні десятиліття можна виділити кілька основних.

Метод тензометрії дозволяє на основі вимірювань виконувати відносно точні розрахунки робочих та залишкових напружень і деформацій для поверхні виробу чи конструкції.

Рентгеноструктурний та ультразвуковий методи, мають свої особливості, але основними їх недоліками є локальність контролю, необхідність підготовки контрольованої поверхні, а також висока вартість та громіздкість вимірального обладнання.

Метод магнітних шумів (ефект Баркгаузена) дозволяє здійснювати комплексну оцінку стану поверхневого шару металу (глибиною не більше 0,2 мм) із врахуванням структури та залишкових напружень виробів.

Магнітопружний метод визначення залишкових напружень базується на залежності магнітної проникності об'єму металу від величини залишкових напружень, які діють в даному об'ємі. Метод має ряд недоліків, основним із яких є те, що значна похибка методу зумовлена тим, що магнітна проникність змінюється в процесі зварювання не тільки під дією

залишкових напружень, але і внаслідок зміни температури, хімічного складу та структури металу.

Відомий також метод контролю механічних напружень по зміні локальної залишкової намагніченості. В основі методу і відповідних технічних засобів закладені залежності градієнту магнітного поля над локально намагніченою ділянкою від величини механічних напружень. Ці залежності попередньо досліджуються на зразках при розтязі і при циклічних навантаженнях. Потім отримані залежності використовуються на обладнанні, яке перебуває в експлуатації.

Метод муарових смуг або метод оптично-активних покриттів дозволяє виявляти локальні деформації, різні неоднорідності металу, смуги ковзання і тріщини. Цей метод, крім ряду недоліків, потребує застосування спеціальних оптично-активних покриттів.

Відомий також коерцитиметричний метод контролю напружень та деформацій. Даний метод має ряд недоліків, які полягають в необхідності зачистки поверхні контролю, неможливості контролю зварних з'єднань гнутих елементів та складність визначення фактичних зон концентрації напружень від впливу діючих робочих навантажень. Даний метод доцільно використовувати як додатковий та наблизений для оцінки напружено-деформованого стану конструкцій у поєднанні із іншими методами неруйнівного контролю.

Аналіз можливостей відомих методів контролю та вимірювання напружень і деформацій в основному металі виробів та конструкцій дозволяє назвати їх суттєві та узагальнені недоліки. Основними недоліками є:

- неможливість використання методів в пластичній області деформацій;
- локальність контролю, їх непридатність для контролю великогабаритних конструкцій;
- не враховується зміна структури металу;
- контроль виконується тільки на поверхні виробів, неможливість оцінки глибинних шарів металу;
- необхідна побудова градуальних графіків на попередньо виготовлених зразках;
- необхідна підготовка контрольованої поверхні і об'єктів контролю (зачистка, активне намагнічування, наклеювання перетворювачів і т.п.);
- складність визначення положення перетворювачів контролю по відношенню до напрямку дії головних напружень та деформацій, які визначають напруженість конструкції.

Значного поширення в даний час зазнав метод акустичної емісії (АЕ) при оцінці ресурсу обладнання та конструкцій. Метод АЕ базується на тому, що при мікророзтріскуванні у вершинах дефектів випромінюються акустичні сигнали.

Метод АЕ в порівнянні з іншими методами має ряд суттєвих переваг при оцінці роботоздатності обладнання і конструкцій. Він дозволяє контролювати розвиток дефектів в пружно-пластичній області і в об'ємі металу конструкцій, охоплює великі ділянки контролю. Проте, метод АЕ потребує значних підготовчих робіт, чутливий до завад від фонового шуму. Апаратура контролю має високу вартість і недостатньо метрологічно забезпечена. Найбільш суттєвим недоліком методу АЕ є те, що він не дає оцінки напружено-деформованого стану всієї конструкції.

В останні роки все більшого поширення дістали такі нові методи: метод магнітної пам'яті металу, при якому використовується ефект магнітної пам'яті до зон дії максимального робочого навантаження, та вібраційний метод діагностування, який може бути застосований як для оцінки роботоздатності всієї конструкції установки, так і її окремих елементів без розбирання і зупинки БУ та її основних механізмів.

Процесами, які передують експлуатаційному пошкодженню будь-якої конструкції, є зміна властивостей металу (корозія, втома) в зонах концентрації напружень та деформацій. Відповідно відбувається зміна намагніченості металу, яка відображає фактичний напружено-деформований стан конструкції.

Метод магнітної пам'яті металу, який базується на вимірюванні поля залишкової намагніченості, дозволяє здійснювати оцінку напружено-деформованого стану виробів з врахуванням неоднорідності структури як пружній, так і в пластичній зонах деформацій. Метод дозволяє своєчасно виявляти зони концентрації напружень та деформацій, які обумовлені дією робочих навантажень і неоднорідністю структури металу. При контролі використовується ефект магнітної пам'яті металу в зонах дії максимальних робочих навантажень. Метод магнітної пам'яті не дає кількісної оцінки рівня діючих напружень (на відміну від тензодавачів). Однак, він дозволяє (існують відповідні критерії) відрізнити область пружної деформації від пластичної, дозволяє визначити площадки ковзання шару металу і зони зародження втомнісних тріщин. Якщо тріщина вже утворилась, метод проявляє напрямок розвитку тріщини в структурі металу і таким чином дає відповідь на питання чи розвивається тріщина.

Проблема раптових втомнісних руйнувань нафтогазового обладнання та інструменту із використанням традиційних методів неруйнівного контролю не може бути вирішена, оскільки вона направлена на пошук вже розвинутих дефектів. ММП-контроль, здійснюючи ранню діагностику обладнання, дозволяє вирішити цю задачу.

Основні переваги нового способу діагностики в порівнянні із відомими методами неруйнівного контролю наступні:

- використання способу не потребує спеціальних намагнічуючих пристроїв, так як використовується явище намагнічування труб і деталей в процесі їх роботи;

- місця концентрації напружень заздалегідь невідомі і визначаються в процесі контролю;

- не потрібно зачищати чи у якийсь інший спосіб готувати контрольовану поверхню;

- для виконання контролю використовують малогабаритні прилади із автономним живленням та обладнані ресструючими пристроями.

На основі фактичного напружено-деформованого стану конструкції існує можливість своєчасно її зміцнити чи замінити зношений вузол. ММП-контроль ефективно використовувати разом із іншими методами неруйнівного контролю.

При пошкодженні конструкцій зменшується їх жорсткість, внаслідок чого змінюються частоти і збільшуються амплітуди їх вібрацій. Вібрації конструкцій зазвичай є демпфованими вимушеними коливаннями. Демпфування вібрацій конструкцій може бути значним. Воно пов'язане із дисипацією (розсіянням) енергії внаслідок в'язкого внутрішнього або контактного тертя. В конструкціях із високими демпфуючими властивостями вібрації швидко затухають, тоді як в конструкціях із низьким коефіцієнтом демпфування амплітуда вібрацій може досягти руйнівного рівня.

До дефектів, які можуть викликати інтенсивні вібрації конструкцій, належать послабленні січення, недостатньо жорсткі основи і фундаменти, механічні люфти і неефективні кріплення. Вібрації викликають також додаткові навантаження від збурень навколишнього середовища – вітру, опадів, землетрусів, просідання ґрунту, руху транспорту тощо. Під дією цих факторів у конструкціях можуть збуджуватись поперечні, поздовжні і крутильні коливання різних мод. Вібрації характерні для конструкцій та устаткування, працюючих у динамічних режимах.

Вітер і опади викликають постійну вібрацію колон (ніг) бурової вежі стаціонарної бурової установки чи платформи транспортної бази мобільної бурової установки (МБУ). Іншими джерелами вібрації є різні механізми і машини, які встановлені і функціонують на платформі. Як правило, конструкції колон та платформ мають невисоке демпфування, так що частота їх коливань близька до частоти дії збурюючих сил, яка може бути рівна частоті власних коливань конструкції, що викликає явище резонансу. Руйнування одного з елементів несучої конструкції викликає зміну її жорсткості, частоти власних коливань і подальшої поведінки при вібраційному навантаженні.

Значення резонансних частот колон бурової вишки БУ чи платформи транспортної бази МБУ

залежать від їх маси і жорсткості. Пошкодження одного із силових елементів призводить до збільшення навантажень і деформацій, які діють на інші елементи. Локальна втрата жорсткості викликає зниження частот власних коливань конструкції, що можна визначити експериментально. Першу та другу гармоніки власних коливань легко можна визначити при природному збудженні конструкції. Руйнування або пошкодження будь-якого елемента конструкції призводить до більш різкої зміни вібраційних характеристик конструкції при одних частотах, ніж при інших. По характеру цих змін можна наближено визначити розташування елементам, що вийшов з ладу. Для деяких конструкцій можна також оцінювати частоти третіх тонів коливань. Ці дані служать підтвердженням руйнування того чи іншого елемента і дають змогу знайти його.

Таким чином, частота власних коливань дає інформацію про цілісність конструкції, а зміна амплітуди дозволяє встановлювати форму коливань і визначати розташування дефекту.

Повністю зруйновані несучі елементи конструкцій можуть бути виявлені по зміні їх характеристик без розбирання і зупинки БУ. Для виявлення пошкоджень, таких, як тріщини в зварних з'єднаннях, необхідно визначити більш високі моди коливань в групах елементів або навіть в окремому елементі конструкції. Такі моди можна аналізувати з використанням крос-спектрального аналізу прискорень, які вимірюються одночасно на всіх елементах конструкції.

Ще однією з основних задач неруйнівного контролю БУ під час експлуатації є достовірна оцінка в даний момент часу фактичного стану тіл обертання відповідальних механізмів, недоступних для візуального огляду без розбирання і зупинки машини. Для вирішення цієї проблеми використовується віброакустичний метод неруйнівного контролю. Діагностовані стани машин і оцінка ступені небезпеки пошкодження на основі даних контролю вібрації – один з найефективніших методів визначення працездатності обладнання. Вібрація механізмів, що діагностуються, являє собою складний спектр, що складається з частотних складових, порушуваних окремими елементами їх конструкцій і перешкодами [4]:

$$S(t) = \sum A_i \sin(\omega_i t + \varphi_i) + \Theta(t),$$

де  $A_i$ ,  $\omega_i$ ,  $\varphi_i$  - амплітуда, кругова частота і кут  $i$ -ї складової спектру;  $\Theta(t)$  - рівень широкосмугового шуму.

Для здійснення вібраційного контролю (збору параметрів вібрації і проведення спектрального аналізу) рекомендовано використовувати апаратуру, оснащену процесором швидкого перетворення

Фур'є (БПФ) [4] і програмне забезпечення (наприклад, фірм CSI (США) або "ВАСТ" (Росія).

На бурових установках об'єктами контролю є бурові лебідки, бурові насоси і їх приводи.

Методом вібродіагностики проводиться контроль структурного стану механізму (неспіввісність, дисбаланс, знос зв'язаних деталей, ослаблення кріплення до фундаменту, знос підшипників і т.д.) і його функціонального стану - пошук можливих дефектів (поломка зуба шестерні, утворення тріщин, і т.п.). Ефективність методу в більшості залежить від правильності вибору точок вимірювання на об'єкті.

Аналіз отриманих результатів дозволяє своєчасно і якісно проводити обробку вузлів і визначати необхідність ремонту машин на найближчий період часу, що сприяє попередженню аварій устаткування.

Таким чином забезпечується значна економія фінансових коштів, обумовлена скороченням витрат на планово-запобіжні (періодичні) ремонти, ліквідацію аварій, і якнайповніше вироблення ресурсу устаткування.

Виникнення дефекту в механізмі і його динаміка викликає зміну рівня вібрації у відповідній смузі інформативних частот.

Інформативні частоти - частоти несправностей, можна розрахувати знаючи конструкцію (кінематичну схему) механізму: наприклад, для підшипника - число і діаметр тіл кочення, діаметри зовнішньої і внутрішньої обойми і швидкість обертання валу, для зубчатої передачі - число зубів шестерень і швидкість обертання валу шестерні.

Вібродіагностика машин і устаткування вирішує такі задачі:

- визначення технічного стану на даному етапі часу,
- виявлення дефектного вузла і конкретного дефекту,
- прогнозування залишкового ресурсу.

Регулярне вимірювання вібраційних параметрів бурового обладнання виявляє два типи стійких змін вібрації: монотонне, викликане зміною структурних параметрів механізму в процесі зносу і старіння, і стрибкоподібне, дискретне пов'язане з відмовами і виникнення дефектів.

Процедура прогнозування залишкового ресурсу механізму по зміні рівня вібрації зводиться до екстраполяції знайденого тренда і визначення моменту перетину його з лінією граничного стану. Для побудови тренда необхідно проводити періодичні вимірювання вібрації залежно від циклів навантаження механізму (наприклад, раз на місяць або квартал).

При проведенні вібродіагностичного моніторингу бурового обладнання БУ є характерні складні моменти, що впливають на ефективність діагностики:

- окремі механізми не мають доступу до всіх підшипникових вузлів,
- наявність в механізмах тихохідних валів (менше 600 об/хв),
- змінні циклічні навантаження в процесі роботи,
- наявність в устаткуванні вузлів з різним механізмом рухів (в насосі УНБ-600 - обертовий рух перетворюється у зворотньо-поступальний).

У зв'язку з цим, віброакустичний метод неруйнівного контролю вимагає розробки якісних методик, адаптованих під конкретні умови роботи механізму, які забезпечують правильний вибір контрольованих параметрів, точок вимірювання, періодичності контролю, оптимальних рівнів.

#### Висновки

В цій публікації наведені шляхи забезпечення промислової безпеки БУ за результатами виконання таких робіт.

1. Досліджено порядок оцінки залишкового ресурсу та концепцію продовження терміну експлуатації бурових установок.
2. Досліджено методи ранньої діагностики елементів металокопункцій БУ, проаналізовано їх переваги та виділено спільні недоліки традиційних методів неруйнівного контролю.
3. Вибрано два основні методи ранньої діагностики, які можуть бути застосовані до БУ (стаціонарних та мобільних) – метод магнітної пам'яті металу та вібраційний метод діагностування.

4. Розглянуто теоретичні фізичні основи методу магнітної пам'яті металу та проаналізовано його переваги в порівнянні з відомими методами НК.

Метод магнітної пам'яті може використовуватись, як основний для ранньої діагностики елементів металокопункцій та копункцій БУ в цілому з метою визначення напружено-деформованого стану, контролю зварних з'єднань та тіла елементів.

Метод магнітної пам'яті металу може також бути доповнений коерцитиметричним методом.

5. Вібраційний метод діагностування може бути застосований для оцінки роботоздатності як всієї конструкції БУ, так і її окремих елементів, а також для виявлення та встановлення місця розташування дефектів типу порушення суцільності. Даний метод також може бути застосований для діагностування технічного стану колон (ніг) бурових вишок стаціонарних БУ та платформи транспортної бази (основи) МБУ, бурових лебідок, бурових насосів і їх приводів.

*1 Карнаш О.М., Зінчак Я.М., Козулькевич М.Р. Ідентифікація та декларування безпеки об'єктів підвищеної небезпеки підприємств нафтогазової галузі //Нафтова і газова промисловість -2004- №6. С. 60-*

63 с. 2. ГСТУ 320.02829777.014-99 *Неруйнівний контроль та оцінка технічного стану металоконструкцій бурових веж в розібраному і зібраному стані*. 3. *Methods of Fault Tree Analysis in Their Limits*, Weber G.G. Brunel University. U.K., 1984. 4. *Придвигжин В.А., Бабин С.Г., Гарин Ю.Р. Экспертиза промышленной безопасности технических устройств*

*буровых установок, Москва, 2005 р. 5. Reliability And Safety of Process And Manufacturing Systems, 12 Annual Sumpr., Finland, 1991. 6. Субботин С.С., Михайленко В.И. Дефектоскопия нефтяного оборудования и инструмента при эксплуатации – М.Недра, 1982-213 с.*

УДК 622.692.4.07+622.24.05

## МЕТОДИКА ОЦІНЮВАННЯ ФАКТИЧНОГО ТЕХНІЧНОГО СТАНУ БУРОВИХ ВЕЖ

© Карнаш О.М., 2005

*Івано-Франківський національний технічний університет нафти і газу,*

© Цюцяк І.І., Буній М.В., 2005

*Науково-виробнича фірма „Зонд”, м. Івано-Франківськ*

© Козлов А.В., 2005

*ДАТ „Чорноморнафтогаз”*

***Розглянуті результати роботи з розробки й удосконалення методики оцінки фактичного технічного стану бурових веж методами неруйнівного контролю.***

Аналіз сучасного стану парку бурових веж підприємств України, які займаються бурінням нафтових та газових свердловин, а саме ВАТ “Укрнафта”, БУ “Укрбургаз” ДК “Укргазвидобування”, ДАТ “Чорноморнафтогаз” та НАК “Надра України” показав, що для нього характерні такі основні ознаки:

60 – 70% бурових веж та їх основ відпрацювали нормативний ресурс, встановлений заводом-виробником, який становить: для веж – 12 років, для їх основ – 9 років;

60 – 70% бурових веж та їх основ відпрацювали нормативний ресурс, встановлений заводом-виробником, який становить: для веж – 12 років, для їх основ – 9 років;

більшість бурових веж, які експлуатуються в Україні, імпортного виробництва (ВО „Уралмаш”; завод бурової техніки „Баррикади”, м. Волгоград, Російська Федерація; заводи UPETROM I MAI S.A., UPET.S.A., Румунія та інші). З виходом з ладу окремих деталей вузлів бурових веж ця обставина ускладнює та здорожує процес їх заміни;

збільшення в Україні кількості підприємств (Стрийський завод „Металіст”, ВАТ „Карпатнафтомаш”, завод ім. Малишева та ін.), які не мають досвіду випуску бурових веж та їх основ, проте займаються їх виробництвом. Це негативно відбивається на обсягах виробництва, якості та технічному рівні цієї продукції;

відсутність вітчизняної нормативної бази для виготовлення, оцінювання фактичного технічного стану та продовження терміну експлуатації відамортизованого бурового обладнання, в тому числі бурових веж та їх основ.

Згідно з [1], бурові вежі в процесі експлуатації періодично повинні піддаватись статичним випробуванням за затвердженою методикою [2]. При цьому бурова вежа має плавно навантажуватися в три етапи. Випробувальні навантаження відповідно становлять: на першому – 60%; на другому 100%; на третьому етапі – 120% від паспортної вантажопідйомності вежі. Усі випробувальні навантаження повинні витримуватись протягом 10 хв.

Таке перевантаження може стимулювати розвиток дефектів, в тому числі і тріщин різного характеру. На думку авторів, таким випробуванням необхідно піддавати тільки нові бурові вежі, які надходять від заводу-виробника. При цьому воно може бути як один із етапів вхідного контролю з подальшою реєстрацією в паспорті бурової вежі та тільки інтегральною оцінкою її стану [3].

Вітчизняний та зарубіжний досвід експлуатації бурових веж довів недосконалість статичних випробувань, так як при цьому не досягають поставленої мети – перевірки міцності вежі та її вантажопідйомності.