

ВІДГУК

офіційного опонента **Іваницького Ярослава Лаврентійовича** на дисертаційну роботу **Рачкевича Руслана Володимировича** *«Розвиток наукових основ забезпечення працездатності колон бурильних і насосно-компресорних труб на ділянках свердловин із геометричними недосконалостями»* представлена на здобуття наукового ступеня доктора технічних наук за спеціальністю 05.0512- машини нафтової та газової промисловості.

1. Актуальність проблеми

Дисертаційну роботу Рачкевича Р.В. присвячено проблемі безпечної експлуатації елементів конструкцій зокрема бурильних колон і насосно-компресорних труб. Враховуючи тривалу експлуатацію цих конструкцій їх значну матеріалоемність і габарити ця проблема є особливо актуальною. Як правило такі об'єкти працюють в умовах складного навантаження протягом тривалого періоду або циклічно-періодичною зміною зовнішніх зусиль. В процесі буріння свердловин бурильна колона може піддаватись різним силовим схемам навантаження. Важливим є факт врахування реального напружено-деформованого стану який виникає в бурильних трубах, які зазнають поздовжньо-поперечного навантаження у свердловинах із кавернами. В матеріалі бурильних і насосно-компресорних труб у свердловинах із віссю довільно-просторової кривини виникає складний напружено-деформований стан і для оцінки їх ресурсу роботи необхідно розробити підходи та технічні засоби контролю величини деформацій та напружень з врахуванням реальних умов експлуатації.

За такими підходами можна встановлювати локальний напружено-деформований стан у найбільш навантажених місцях для більш точного оцінювання довговічності з врахуванням випадкових експлуатаційних навантажень.

Саме таким актуальним аспектом пов'язаним із встановленням безпечного терміну експлуатації бурильних колон і насосно-компресорних труб присвячена дисертаційна робота де розроблені математичні моделі для оцінювання напружено-деформованого стану колон бурильних і насосно-компресорних труб для свердловин із геометричними недосконалостями.

Ступінь актуальності теми дисертаційної роботи також підтверджується використанням її матеріалів в межах програм науково-дослідних робіт: «Розроблення методів управління процесом спорудження скерованих свердловин в сланцевих і вугільних відкладах», номер державної реєстрації 0112U004157; «Науково-організаційні засади нарощування видобутку вітчизняних нафти та газу та диверсифікації постачання енергетичних ресурсів для підвищення енергетичної безпеки України», номер державної реєстрації 0115U007099.

2. Обґрунтованість і достовірність наукових положень, висновків і рекомендацій

Обґрунтованість та достовірність наукових положень, висновків і рекомендацій Рачкевича Р.В. забезпечується статистичним підтвердженням актуальності напрямку дослідження; критичним аналізом наукових доробок за обраною тематикою; чіткістю та лаконічністю формулювання мети й завдань досліджень; використанням загальновідомих і визнаних положень класичної теорії балок і механіки стрижнів, методів механіки руйнування та кінетичної теорії втомного руйнування, критеріїв статистики й тензометричних досліджень; співставленням отриманих теоретичних результатів із власними експериментальними дослідженнями, а також аналітичними та експериментальними результатами інших відомих науковців.

3. Новизна наукових положень, висновків і рекомендацій

Опрацювання дисертаційної роботи дозволило сформулювати її наукову новизну в наступному вигляді:

а) використовуючи класичну теорію балок, розвинуто математичну модель вагової кусково-сталого бурильної колони, що зазнає поздовжньо-поперечного згину, яка дає можливість оцінювати її напружено-деформованого стану із необмеженою кількістю реакцій як прямолінійної так і криволінійної ділянки свердловини ускладненої жолобами чи кавернами;

б) вперше, на основі положень механіки стрижнів, розроблено математичну модель колони бурильних або насосно-компресорних труб, яка експлуатується у довільно викривленому стовбурі свердловини, що дозволяє встановити форму її пружної осі, отримати зміну нормальних та дотичних напружень в поперечному перерізі, встановити місце, величину й напрямок реакції зі стінкою свердловини;

в) використовуючи С-критерій механіки руйнування, запропоновано використання локального напруження безпосередньо перед фронтом втомної тріщини для прогнозування довговічності різьбових з'єднань бурильних і насосно-компресорних труб, що дало можливість підвищити точність розрахунків;

д) для прогнозування довговічності елементів бурильних і насосно-компресорних труб за одночасної дії в поперечному перерізі нормальних і дотичних напружень, використано їх еквівалентну величину в якості аргументу трипараметричного рівняння кривої втоми із емпіричними коефіцієнтами, на основі даних випробовувань за дії тільки нормальних напружень.

4. Повнота викладу наукових положень, висновків і рекомендацій в опублікованих працях

Наукові положення, висновки й рекомендації дисертаційної роботи в повному обсязі відображені в опублікованих працях і пройшли апробацію на міжнародних науково-практичних конференціях і симпозіумах.

За темою дисертації опубліковано 30 робіт, з яких 21 у фахових українських та закордонних виданнях, а також виданнях, що занесені до

наукометричних баз; 2 – патенти України на винахід і корисну модель; 7 – у збірниках праць та тез міжнародних конференцій.

Одноосібно дисертантом видано 7 робіт. Із праць, які вийшли у співавторстві, використана тільки та їх частина, яка належить особисто Рачкевичу Р.В.

5. Оцінка структури та змісту дисертаційної роботи

Дисертаційна робота Рачкевича Р.В. складається із вступу, шести розділів, загальних висновків, списку використаних джерел і додатків.

Вступ написано згідно із вимогами до оформлення дисертацій та авторефератів дисертацій і складається із обґрунтування вибору теми, мети, завдань, об'єкту, предмету та методів дослідження, наукової новизни, достовірності та практичного значення одержаних результатів, особистого внеску здобувача, апробації матеріалів, характеристики публікацій, структури та обсягу дисертації.

У першому розділі дисертації автор дослідив частку відмов колон бурильних і насосно-компресорних труб по відношенню до загальних обсягів аварійності під час спорудження та експлуатації свердловин. Встановлено, що кількість відмов є суттєвою, а тому дослідження спрямовані на забезпечення працездатності вказаних колон є актуальними. Для вирішення даної проблеми дисертантом обрано комплексний підхід, який полягає у проведенні оцінки напружено-деформованого стану колон бурильних і насосно-компресорних труб з подальшим прогнозуванням їх довговічності. Це дозволить обґрунтовано встановити безпечний період експлуатації із врахуванням геометричних недосконалостей свердловин. В результаті їх критичного аналізу автором сформульовано мету та завдання дисертаційної роботи.

Другий розділ роботи відображає методичні основи та обладнання для експериментів. Так, спочатку, розроблено критерії подібності та лабораторний стенд для дослідження напружено-деформованого стану колон бурильних і насосно-компресорних труб. Його перевагою, в порівнянні із існуючими аналогами, є можливість імітації свердловини із віссю будь-якої просторової форми, що задається опираючись на результати промислової інклінометрії. При цьому модель колони навантажується осьовою силою розтягу та крутним моментом. Поряд із цим в дисертації наведено конструкцію та описано дослідний зразок пристрою для вимірювання зусиль в колоні бурильних труб та згинального моменту за експлуатаційних умов. Також описано дослідний зразок силової головки для реалізації блокового навантаження при дослідженні втомної міцності елементів бурильних або насосно-компресорних труб із безступеневим регулюванням рівня навантаження.

У третьому розділі роботи наведено теоретичні засади для розроблення методів оцінки напружено-деформованого стану колон бурильних і насосно-компресорних труб у похило-скерованих і горизонтальних свердловинах враховуючи явища каверно- та жолобоутворення та наявності локальних перегинів. Зокрема розвинуто математичну модель, що базується на класичній

теорії балок. Автором запропоновано розрахункові схеми та системи рівнянь граничних умов, які дозволяють аналізувати поведінку кусково-сталої бурильної колони за необмеженої кількості контактів зі стінкою свердловини. Також вперше, на основі положень механіки стрижнів, розроблено математичну модель, для розрахунку форми пружної осі колони бурильних або насосно-компресорних труб, враховуючи її взаємодію із стінками довільно викривленого стовбура свердловини. При цьому є можливість визначити нормальні та дотичні напруження в поперечному перерізі труб, величину, напрям і точку прикладання реакцій із стінкою свердловини. Суттєвою перевагою даної моделі, порівняно із відомими, є можливість задавати форму осі та діаметр свердловини безпосередньо за результатами її інклінометричного та профілометричного дослідження.

Четвертий розділ дисертації присвячено розробленню методу оцінки напружено-деформованого стану бурильної колони, що експлуатується в прямолінійній нахиленій чи криволінійній ділянці свердловини з жолобом або каверною. В основі даного методу лежить узагальнена математична модель, яка опирається на класичну теорію балок. Аналітичні дослідження показали, що жолоб або каверна в прямолінійному нахиленому стовбурі свердловини може спричиняти нормальні напруження від згину співрозмірні з границею втоми матеріалу бурильної колони, а в криволінійному стовбурі – збільшувати їх рівень майже вдвічі. Додатково, запропоновано метод для визначення нормальних напружень і деформацій, яких зазнає бурильна колона при її стисканні у горизонтальному стовбурі свердловини також є можливість визначати силу опору переміщенню труб у свердловині. Як показали розрахунки, втрата стійкості бурильною колоною спричиняє суттєве збільшення даної сили. Така інформація може бути надзвичайно важливою при оцінці навантаження на долото під час буріння горизонтальних ділянок свердловин.

У п'ятому розділі роботи наведено методи оцінки напружено-деформованого стану колон бурильних і насосно-компресорних труб у ділянках свердловин, де зміна зенітного й азимутального кутів відбувається з довільною інтенсивністю. В основі даних підходів лежить математична модель, яка базується на положеннях механіки стрижнів. Зокрема проаналізовано вплив локального перегину однієї із свердловин Одеського родовища на зміну деформації та напруження, які виникають у бурильній колоні. Встановлено, що рівень останніх більше ніж втричі перевищує величину, визначену за класичним підходом. Лабораторний експеримент також підтвердив цю тезу. Цікавий результат одержано також і при аналітичному дослідженні напружено-деформованого стану колони насосно-компресорних труб. З'ясувалося, що зворотно-поступальний рух колони насосних штанг зумовлює виникнення змінних нормальних напружень від згину у поперечному перерізі насосно-компресорних труб, які знаходяться в просторово викривленому інтервалі свердловини. До того ж, максимальна величина цих напружень може сягати граничних величин.

Шостий розділ дисертації спрямований на розвиток методів прогнозування довговічності елементів бурильних і насосно-компресорних труб. Так, в роботі запропоновано та обґрунтовано використання напруження безпосередньо перед фронтом пів еліптичної втомної тріщини в якості аргументу функції С-критерію руйнування. Як показали порівняльні розрахунки, це дало можливість на чверть підвищити точність прогнозування довговічності різьбових з'єднань бурильних і насосно-компресорних труб. Також зроблено акцент на необхідності врахування впливу сукупної дії нормальних і дотичних напружень на ресурс трубних колон. Відтак в дисертації використано еквівалентне напруження в трипараметричному рівнянні кривої втоми із емпіричними коефіцієнтами, які отримуються із випробувань за дії в небезпечному перерізі тільки нормальних напружень та апробовано на основі відомих експериментів. Додатково в роботі досліджено принцип незалежності дії випадкової осьової сили та циклічного згинального моменту на втомну довговічність бурильної колони. Встановлено, що результуючий вплив цих факторів не дорівнює сумі впливів кожного із факторів зокрема. На основі цього, автором зазначено про необхідність використання саме результуючого процесу зміни напруження для оцінки ресурсу бурильних колон під час експлуатації.

Завершують дисертаційну роботу загальні висновки, список використаних посилань і додатки, що включають фотокопії керівних документів, патентів і акту промислового впровадження розробленого обладнання.

6. Зауваження до дисертаційної роботи

6.1 В розділі 1 наведено аналіз відмов насосно-компресорних труб на основі як літературних джерел так і промислових даних. Втім, аварійність з бурильними колонами проаналізовано виключно опираючись на друковані видання.

6.2 Незважаючи на те, що автор проводив моделювання напружено-деформованого стану бурильних колон у статичній постановці, варто би було додати у розрахунок розподілену силу інерції, яка неодмінно має місце при роторному бурінні. Це би суттєво не ускладнило математичні моделі, проте збільшило би їх відповідність реальним умовам.

6.3 У розділі 6 використано узагальнений критерій для визначення еквівалентної амплітуди напружень та еквівалентного середнього напруження при складному навантаженні. Не зайвим би було обґрунтувати, чому вибрано саме цей критерій.

6.4 У розділі 6 автором використано трипараметричне рівняння кривої втоми для прогнозування довговічності елементів бурильних і насосно-компресорних труб за складного напруженого стану. Відомо, що довговічність елементів конструкцій з тріщиною оцінюють на основі кінетичних діаграм втомного руйнування «швидкість поширення тріщини V – розмах КІН ΔK ». Бажано було б порівняти ці результати. Втім, для вирішення даної задачі, більш ефективним був би енергетичний підхід, (ф-ла 1.19, с. 57)

6.5 На закінченні підрозділу 6.2 наведено поверхні втоми елементів бурильної колони. В даному випадку варто би було подати аналогічні поверхні і для найбільш поширених елементів насосно-компресорних труб.

6.6 У тексті дисертації трапляються граматичні, синтаксичні та стилістичні помилки. Дисертант занадто вільно використовує терміни «втомна довговічність», «втома», «втомна міцність», «циклічна міцність», «ступінь, ступінь пошкодження». «через фіксацію її розкриття на час необхідний для налаштування обладнання» (с.109,227,228,229).

7. Висновок по дисертаційній роботі в цілому

В загальному дисертація Рачкевича Р.В. «Розвиток наукових основ забезпечення працездатності колон бурильних і насосно-компресорних труб на ділянках свердловин із геометричними недосконаlostями» є завершеною науковою працею, в якій наведено один із шляхів вирішення важливої галузевої проблеми забезпечення працездатності колон бурильних і насосно-компресорних труб, які експлуатуються в свердловинах із геометричними недосконаlostями.

Матеріал роботи чітко структурований, викладений лаконічно державною мовою. Кількість ілюстрацій достатня для його розуміння. Оформлення дисертації відповідає вимогам Державного стандарту України та вимогам атестаційної колегії Міністерства освіти і науки України.

Тема та зміст роботи цілком відповідає спеціальності 05.05.12 – машини нафтової та газової промисловості, за якою вона подана до захисту.

Автореферат дисертації лаконічно та в повному обсязі відображає основний зміст, положення, висновки та рекомендації дисертаційної роботи.

Вважаю, що дисертаційна робота «Розвиток наукових основ забезпечення працездатності колон бурильних і насосно-компресорних труб на ділянках свердловин із геометричними недосконаlostями» є актуальною, містить наукову новизну та практичну цінність, висвітлена в необхідній кількості публікацій і має достатній рівень апробації. Тому повністю відповідає вимогам «Положення про присудження наукових ступенів», затвердженого Постановою Кабінету Міністрів України від 24 липня 2013 р., а її автор Рачкевич Руслан Володимирович заслуговує присудження наукового ступеня доктора технічних наук за спеціальністю 05.05.12 – машини нафтової та газової промисловості.

Керівник відділу міцності та довговічності
конструкцій за складного навантаження
Фізико-механічного інституту ім. Г.В. Карпенка
НАН України, проф., д.т.н.

Я.Л. Іваницький

Підпис д.т.н., проф. Іваницького Я.Л. засвідчую
Учений секретар ФМІ НАН України
канд. техн. наук

В.В. Корній

Підпис Іваницького у співавторстві з
Учений секретар ФМІ НАН України
20.05.2018
01.03.2018