

ВІДГУК

офіційного опонента **Якима Романа Степановича**
на дисертаційну роботу **Левчук Катерини Григорівни**
**«Удосконалення наукових основ моделювання динамічних процесів
ліквідації прихоплень бурильного інструмента»,**
представленої на здобуття наукового ступеня доктора технічних наук за
спеціальністю 05.05.12 – Машини нафтової і газової промисловості.

Актуальність роботи.

Для створення сприятливих умов нормального функціонування всіх галузей економіки, а надто забезпечення енергетичної незалежності й соціально-економічного розвитку України одним з пріоритетних та стратегічних завдань є збільшення об'ємів видобутку вуглеводнів. Це ставить актуальну задачу щодо збільшення буріння нових свердловин. Однією з проблем при бурінні є виникнення усіляких ускладнень. Такі умови часто сприяють виникненню аварій. Найскладніші поміж них пов'язані з прихопленнями бурильного інструмента, що можуть відбуватися як під час прокладання і процесу буріння свердловин. За промисловими даними, близько 30 % аварій припадає на злам та відгвинчування бурильного інструмента і елементів бурильної колони внаслідок прихоплення. Тому дослідження динамічних процесів, що відбуваються під час вивільнення бурильного інструмента мають важливе практичне значення для ефективного усунення подібних аварійних подій. Відтак, створення узагальнених уніфікованих моделей багаторозмірних бурильних колон при ліквідації прихоплень і алгоритмів розв'язання одержаних систем із нелінійних диференціальних рівнянь є актуальною науково-прикладною проблемою. Тому дисертаційне дослідження Левчук К. Г., присвячене дослідженню динаміки процесів, що відбуваються під час вивільнення прихопленого бурильного інструмента має практичне значення та є актуальним.

Ступінь обґрунтованості та достовірності наукових положень, висновків і рекомендацій, сформульованих у дисертації.

Дисертаційне дослідження має достатньо обґрунтовані основні наукові положення, що виносяться на захист. При цьому коректно доведено одержані теоретичні твердження. Спроможність наукових результатів підтверджено чисельними експериментальними дослідженнями із залученням апарату методів комп'ютерної алгебри та математичного моделювання.

Наукова новизна дисертаційної роботи

У дисертаційній роботі Левчук К. Г. отримано низку достатньо вагомих теоретичних результатів щодо створення методів та засобів із моделювання динамічних процесів під час ліквідації прихоплень бурильного інструмента. Поміж них такі результати.

Вперше

- сформульовано і розроблено метод фрикційних автоколивань щодо ліквідації прихоплень бурильного інструмента у похило-скерованих свердловинах;
- робочий цикл процесу вивільнення бурильного інструмента ударним способом розбито на чотири етапи: *перший* – натягування компонок бурильної колони, що з'єднано замковою парою; *другий* – розгін бойка; *третій* – ударна взаємодія компонок бурильної колони; *четвертий* – відновлення після удару.

Розроблено математичну модель

- *нову* для дослідження динаміки вивільнення прихопленого бурильного інструмента при збуренні фрикційних автоколивань;
- *удосконалену* для дослідження динаміки вивільнення прихопленого бурильного інструмента шляхом нанесення удару;
- *нові* для дослідження динаміки вивільнення прихопленого бурильного інструмента за допомогою поздовжньої і поперечної вібрації у випадку застосування поверхневих і глибинних осциляторів.

Досліджено і оцінено

- вплив параметрів механічних пристроїв на статичні та динамічні складові сил

і напружень в поперечних перерізах бурильних труб та ефективність вивільнення бурильного інструмента.

Створено

- методику одержання аналітичних залежностей для утримувальних сил на основі *удосконаленого* методу визначення меж зон прихоплення та виділення ділянок з різним ступенем обтиснення колони бурильних труб гірською породою по довжині прихоплення;
- комплекс комп'ютерних програм для дослідження динамічних процесів механічних систем на основі структурно-орієнтованого підходу при реалізації динамічних моделей.

Практичне значення результатів дослідження.

Практичне значення одержаних у роботі результатів полягає у підвищенні ефективності ліквідації аварій, пов'язаних із прихопленнями бурильного інструмента, і підтверджуються:

- свідоцтвом про реєстрацію авторського права на твір № 76636 Україна. *Комп'ютерна програма «Програма для розрахунку спектра бурильної колони (RangeDrillString);*
- патентами на корисні моделі № 104433, 108599 (*Пристрої для усунення прихоплень при бурінні*), № 129396 (*Випрямляч стовбура свердловини*), № 130707 (*Калібратор шарошковий*);
- впровадженням у практику ліквідації аварій Інструктивних документів, які регламентують використання ударних і вібраційних пристроїв;
- використанням результатів роботи у навчальних курсах підготовки фахівців освітньо-кваліфікаційного рівня бакалавр за спеціальністю 185 «Нафтогазова інженерія та технології» Івано-Франківського національного технічного університету нафти і газу;
- актом впровадження результатів дисертаційної роботи в ТзОВ «Інте-рбур» ЛТД, ПНДП «ІНТТЕХ» і ТзОВ «Нафтогазтехнологія».

Повнота відображення результатів дослідження в опублікованих працях і авторефераті.

Теоретичні та практичні результати дисертаційної роботи повністю висвітлено у публікаціях, що входять до переліку фахових видань і галузевих закордонних журналах, та достатньо апробовано на національних і міжнародних конференціях. За матеріалами дисертації опубліковано 25 статей, 13 тез у матеріалах наукових конференцій, 1 свідоцтво про реєстрацію авторського права та 4 патенти на корисну модель.

Автореферат ідентичний за змістом з основними положеннями дисертації і достатньо повно відображає основні її наукові результати, що отримані здобувачем.

Структура та основний зміст дисертації. Дисертація складається зі вступу, семи розділів, загальних висновків, списку використаних джерел із 318 найменувань, 6 додатків. Основна частина дисертаційної роботи викладена на 282 сторінках і містить 101 рисунки та 39 таблиць. Загальний обсяг дисертації становить 449 сторінок.

Дисертаційна робота структурована відповідно поставленій задачі досліджень і складається із вступу, семи розділів, висновків, списку використаних джерел і шести додатків.

У **вступі** подано загальну характеристику і обґрунтовано актуальність дисертаційного дослідження: сформульовано мету та завдання; предмет і методи досліджень; вказано зв'язок теми дисертаційної роботи з планами наукових досліджень; визначено наукову новизну та практичну цінність одержаних результатів; наведено відомості щодо публікацій з вказівкою особистого внеску здобувачки та апробації результатів дисертаційного дослідження.

У **першому розділі** «Сучасні механічні способи ліквідації прихоплень бурильного інструмента» з'ясовано причини виникнення, види і механічні

способи ліквідації прихоплень бурильного інструмента, технології і технічні засоби ліквідації усіх видів прихоплень механічними способами, проведено огляд сучасних математичних моделей елементів бурової вежі. У розділі сформульовано задачі досліджень динамічного процесу вивільнення прихопленого бурильного інструмента.

З наведеного аналізу стану поставленої проблеми витікає актуальність науково-прикладного завдання щодо розвитку і удосконалення математичних моделей і способів вивільнення прихопленої колони бурильних труб, що спрямовані на забезпечення ефективності ліквідації аварії.

У **другому розділі** «Моделювання прихоплень бурильної труби» розглянуто способи визначення місць розташування та інтервалів прихоплення бурильної колони і кут охоплення труб гірською породою. А також методи, що дозволяють отримати величину розподілених тисків обтиснення бурильних труб в осьовому та радіальному напрямках. За одержаними геофізичними даними про контактний тиск між гірською породою і прихопленими трубами у фіксованих перерізах зони прихоплення запропоновано нову методику побудови функції розподіленого тиску методом інтерполяції.

Одержані аналітичні залежності, за якими оцінюють екстремальні значення інтегральних сил прихоплень на кожній з цих ділянок, а за відомими методиками визначають види прихоплень на виділених ділянках бурильної колони. Встановлено їх зв'язки з граничними значення деформації і напруженості бурильних труб, насамперед на небезпечних (горизонтальних та похило-скерованих) відрізках бурильної колони. На підставі проведення детального аналізу: місця, меж і виду прихоплення бурильного інструмента, напружено-деформованого стану труб запропоновано методику вибору найефективнішого способу ліквідації аварії.

За результатами проведених досліджень запропоновано конструкції випрямляча стовбура свердловини і шарошкового калібратора, які дозволяють випрямляти стовбур свердловини при ускладненнях (обвалах, затяжках), а також порушувати реономні в'язі бурильної колони зі стінками гірської виробки при проходженнях і розходжуванні бурильної колони.

У розділі також узагальнено рекомендації щодо попередження різних видів прихоплень: перепаду тиску, прилипань до стінок свердловини, осипань і обвалів порід, затяжок і заклинювань бурильних труб, плинності пластичних порід, сальників.

У **третьому розділі** «Розробка дискретно-континуальних моделей вивільнення прихопленого бурильного інструмента» вперше розроблено математичну модель динаміки багаторозмірної механічної системи «бурова вежа – механізм для ліквідації прихоплень – бурильна колона – гірська порода». Запропоновано алгоритм дослідження коливань системи з розподіленими параметрами та зосередженими масами багаторозмірних конструкцій прихопленої колони зі змінними пружно-інерційними характеристиками.

Вперше сформульовано та розв'язано задачу ліквідації прихоплень бурильного інструмента при бурінні нафтових і газових свердловин методом фрикційних автоколивань. Показано, що порушення періодичності коливань залежить від параметрів бурової вежі (матеріалу, площі поперечного перерізу, пружності секцій бурильної колони), а варіюванням швидкості та частоти коливань талевого каната можна налаштувати частоти коливань, інтервали руху і спокою, силу висмикування прихопленої бурильної колони. Проаналізовано та обґрунтовано необхідність згладжування вібрацій колони бурильних труб, викликаних навантаженнями, що її утримують. Також запропоновано алгоритм досліджень коливань багаторозмірних пружно-деформованих прихоплених труб у похило-скерованих свердловинах.

На основі проведеного аналізу впливу швидкості підймання талевого блока, амплітуди і частоти збурювальної сили у верхньому перерізі аварійного компонента бурильної колони встановлено, що збільшення швидкості підймання від 0,2 до 1 м/с спричинює зростання амплітуди швидкості «голови» прихоплення у 1,5 – 1,75 разів, а збільшення частоти збурювальної сили вібраційного пристрою з 2 до 8 Гц – до зменшення цієї ж амплітуди у 3 – 3,5 рази.

У **четвертому розділі** «Математичне моделювання роботи ударного механізму для ліквідації прихоплень» вперше розроблено методику

математичного моделювання динаміки механічної системи «бурова колона – ударний механізм – гірська порода» при вивільненні прихопленого бурильного інструмента.

Вперше запропоновано *ударний процес* ліквідації прихоплень бурильної колони розбити на чотири етапи, застосувавши до опису якого два підходи:

перший – за теорією Г. Герца, що дає достовірні значення ударного імпульсу, але не відображає тривалість удару і відповідно залежність ударної сили від часу;

другий – методом плоскої хвилі Сен-Венана і теорії пружності, для якого вперше розроблено методику побудови хвильової діаграми ударного імпульсу.

У дисертаційній роботі розроблена методика визначення і чисельного дослідження спектра частот вільних коливань аварійної компоновки бурильної колони, яка дозволяє одержати закон вимушених коливань колони за можливості виникнення резонансних явищ, а у результаті проведених досліджень основних динамічних характеристик ударних пристроїв. Проаналізовано і обґрунтовано ефективність роботи яса YS 203B, гідравлічних ударних механізмів ГУМД 195 і ZSJ/ZXJ 80B для колони з двома секціями (хід бойка варто вибирати 10 – 30 см) та з трьома секціями (хід бойка рекомендовано вибирати 50 – 200 см).

Теоретично та у результаті чисельних досліджень обґрунтовано, що ефективність роботи ударного механізму необхідно оцінювати за величиною ударного імпульсу, а не за максимальним значенням ударної сили, уникнувши при цьому перевищення граничних навантажень та напружень.

Дослідженнями виявлено, що швидкість ліквідації прихоплень бурильної труби залежить від пружності породи, що її притискує. Найшвидше вдається вивільнити бурильну колону із суглинку, довше із щебеню, супіску. Відтак констатується що ударний імпульс плоскої хвилі зі збільшенням сили тиску породи на трубу має меншу тривалість й імпульсний характер.

Також у роботі запропоновано до аварійної компоновки бурильної колони ввести амортизатор, що уможливить збільшити тривалість удару і як наслідок ударний імпульс. На основі проведених досліджень процесу ліквідації

прихопленнь бурильного інструмента ударним способом із використанням амортизатора встановлено, що збільшення жорсткості амортизатора призводить до зниження частотного спектра бурильної колони. Рекомендовано амортизатор розміщувати на відстані 0,4–0,45 довжини обважненої бурильної труби, відрахованої від верху її вільної частини. У цьому випадку максимальна ударна сила задовольняє умову міцності і понад 85 % ударного імпульсу передається від ударного механізму до місця прихоплення, а величина при цьому ударного імпульсу визначається жорсткістю амортизатора.

У п'ятому розділі «Математичне моделювання ліквідації прихопленнь за допомогою осциляторів» вперше розроблено дискретно-континуальну математичну модель бурильної колони з поверхневим і глибинним вібропристроями, які збуджують поздовжні або поперечні коливання.

На основі розроблених математичних моделей складено комп'ютерні програми для дослідження динамічних процесів у прихопленій бурильній колоні, які збуджені осцилятором, а також чисельних значень силових характеристик, міцності та передачі енергії до зони прихоплення, за допомогою якої проаналізовано та обґрунтовано роботу вібраційних пристроїв для оцінки вибору найефективнішого способу вивільнення прихоплених бурильних труб.

На основі представлених результатів досліджень впливу параметрів вібраторів (амплітуди, частоти, конструктивних особливостей, що визначають вигляд збудювальної сили), а також місця їх установки на ефективність вивільнення прихопленої бурильної труби сформульовано такі висновки і рекомендації:

поверхневі вібратори з поздовжнім збудженням застосовувати для збудження коливань на мілких свердловинах і налаштовувати осцилятор на першу резонансну частоту;

глибинні вібратори з поздовжнім збудженням коливань на глибоких свердловинах і налаштовувати вібропристрій на другу або третю власну частоту бурильної колони; на надглибоких свердловинах доцільно використовувати осцилятори, що збуджують поперечні нутаційні коливання.

Показано, що зі збільшенням в'язкості промивальної рідини амплітуда й енергія вимушених коливань спадають, а напруження в зоні прихоплення зростають повільно.

Аналізом складених моделей і одержаних експериментальних досліджень встановлено, що для накопичення найбільшої величини потенціальної енергії вібропристрій необхідно розташовувати на відстані, що складає 0,35-0,5 довжини обважненої бурильної труби від верху її вільної частини, а у випадку налаштування вібропристрою на власні частоти, вище третьої, осцилятор доцільно розташувати якомога ближче до зони прихоплення, оскільки збудені вібрації можуть привести до руйнування бурильних труб.

У шостому розділі «Вплив механічних властивостей матеріалу на напружено-деформований стан прихоплених бурильних труб» розроблена математична модель вивільнення прихопленого бурильного інструмента уможлиблює, шляхом чисельних досліджень, ще на етапі проектування попереджувати можливість виникнення прихоплень у розвіданих і спрогнозованих геологами небезпечних зонах. Дослідження динамічних процесів під час вивільнення бурильного інструмента ударним або вібраційним способами показали, що для ефективної ліквідації аварії необхідно забезпечувати якомога більший імпульс ударних або збудених вібраційних сил, урахувавши показники міцності матеріалів бурильних труб.

У роботі розроблено рекомендації щодо підбору матеріалу та режимів роботи ударного пристрою. Запропоновано обирати найефективніший спосіб ліквідації прихоплень бурильного інструмента з огляду конкретного випадку і розробляти послідовність їх застосування, а у випадку чергування різних способів необхідно спиратися на сукупність накопиченого досвіду та зібраної інформації про причини виникнення аварії та властивостей матеріалу, з якого виготовлено труби.

У сьомому розділі «Шляхи практичного використання результатів досліджень при ліквідації прихоплень бурильного інструмента» на основі запропонованих нових математичних моделей та розроблених нових методик теоретичного дослідження процесів, що виникають у прихопленій колоні у

випадку застосування ударних механізмів і осциляторів для вивільнення бурильних труб, складено програми для параметричних досліджень.

Практична цінність одержаних у дисертаційній роботі результатів визначається новими конструкціями пристроїв, розробленими у співавторстві: пристрою-випрямляча стовбура свердловини і шарошкового калібратора, призначених для збереження діаметра свердловини протягом роботи породоруйнівного інструмента, забезпечення точного центрування вертикальних і похило-скерованих свердловин, а також гідравлічного ударного пристрою та пристрою для усунення прихоплень. Запропоновані ударні механізми уможливають успішно ліквідувати такі прихоплення як заклинювання, спричинені падінням сторонніх предметів у свердловину, зашламування, звуження жолобів. Механізми цього типу мають просту конструкцію і великі величини силових характеристик за рахунок енергії, накопиченої пружною деформацією бурильної колони. Запропонована у співавторстві конструкція пристрою для усунення прихоплень уможливає визначати тривалість удару, ударну силу, будувати ударний імпульс рухомої частини бурильної колони методом тензометрії, що значно підвищує точність визначення динамічних характеристик ударного пристрою, а також уможливає досліджувати вплив фізичних параметрів пристрою на ефективність його роботи та суттєво підвищувати надійність роботи.

Також у розділі представлено розроблені «Інструкцію з використання ударних пристроїв для ліквідації прихоплень бурильного інструменту» та «Інструкцію з використання осциляторів для ліквідації прихоплень бурильного інструменту». Одержані у роботі результати можна використати для подальших досліджень та удосконалення існуючих інженерних методів моделювання динамічних процесів у бурильних колонах на стадії їх проектування й конструювання.

У **висновках** по роботі перелічено основні наукові та практичні результати виконаних досліджень.

У **додатках** наведено список публікацій за темою дисертації, програмні коди на мові Maple функцій для моделювання динамічних процесів ліквідації

прихопленнь бурильного інструмента методом фрикційних автоколивань, ударним і вібраційним способами, Інструкції з використання механічних способів ліквідації прихопленнь бурильного інструмента, а також представлено акти впровадження результатів дисертаційної роботи.

Зауваження та дискусійні положення дисертаційного дослідження загалом:

1. П.2.4 як відомо, формулювання Рекомендацій відбувається на основі перевірки на практиці одержаних експериментальних результатів. Тут дається посилання на відому інструкцію. Відтак не зрозуміло які ж були здійснені експериментальні дослідження.

2. Висновки до розділів п. 1.4, 2.5, 3.4, 4.4, 5.4,6.5, 7.6 громіздкі та подекуди мають описовий характер, що у деяких випадках унеможливило встановити наукову новизну того чи того результату, є посилання на літературні джерела. Можливо коректніше було б сформулювати декілька чітких тез.

3. п. 2.1 та 2.2, а також п.6.1, вступ до розділу 5, а також п.5.1 на с.165 – 168, вступ до розділу 7, а також п.7.1 на с. 228 – 231, 234 – 236, 238 – 240, 242 – 244, 253 – 261 містять аналіз літературних джерел, тому цю інформацію доцільніше було б подавати в першому розділі.

4. З тексту п.4.12 незрозуміло якими експериментальними дослідженнями і вимірюваннями користувались для підтвердження числових досліджень.

5. На с.213 – 216 представлено теоретичні матеріали. Тим не менше, при оцінюванні напружено-деформованого стану буринних труб вартувало брати за основу експериментальні випробовування, здійснивши хоча б стандартні випробовування на розтяг-стик. Можна було б також здійснити 3-D моделювання напружених станів скориставшись одним з програмних середовищ.

6. П.6.1. С.205 представлено пояснення втрати міцності надто спрощене. Напружено-деформований стан в тілах визначають згідно методів і рівнянь лінійної теорії пружності та оцінюють коефіцієнти інтенсивності напружень

відповідно до конкретного типу деформованого стану, а також опір руйнуванню. Відтак, вартувало спиратися на роботи В.В.Панасюка, О.Н.Романіва, Ю.Н.Работнова, В.С.Іванової, В.І.Похмурського, Є.І.Крижанівського, В.М.Івасіва та ін. Взяти хоча б відому монографію Панасюк В.В. «Механіка квазіхрупкого руйнування матеріалів» (1991р.).

7. Подавати визначення в тексті дисертації некоректно, передбачається що фахівці володіють термінологією, зокрема з механіки матеріалів.

8. У тексті дисертації не завжди дотримується стандартна термінологія, зокрема: застосовується вислів «поріг міцності труб», «податливість металу», «тримкість», «межа тримкості», «прилипання», «майданчики плинності», «корозійна стійкість», тощо, трапляються невідповідні позначення границі плинності. Також трапляються окремі русизми, наприклад: тензодатчик, установка тощо. У тексті роботи є окремі невдалі звороти, незначні описки, наприклад на с.78 зазначено «ступені обробки поверхонь», тут більше пасує писати «якості оброблених поверхонь», на с.88 у пункті 3 не цілком зрозуміло про які методи йдеться.

В той же час необхідно зауважити, що зазначені зауваження не мають принципового характеру, не знижують високого наукового рівня дисертації, а спрямовані тільки на її покращання і доповнення.

Висновок про відповідність дисертації встановленим вимогам.
Оцінюючи роботу загалом, можна зробити висновок, що дисертаційна робота Левчук Катерини Григорівни є завершеною науково-дослідною роботою, яка виконана на високому теоретичному і практичному рівні, і заслуговує на позитивну оцінку. Дисертація має внутрішню єдність, написана технічно грамотно. Оформлення дисертації і автореферату здійснено на сучасному рівні та відповідає всім вимогам Міністерства освіти і науки України щодо докторських дисертацій. Наукові положення і практичні рекомендації обґрунтовані, основні результати досліджень, що представлені у публікаціях, повністю відображають суть роботи. Зміст автореферату цілком відповідає змісту та основним положенням дисертаційної роботи.

Дисертаційна робота «Удосконалення наукових основ моделювання динамічних процесів ліквідації прихоплень бурильного інструмента» відповідає вимогам пунктів 9, 10, 12-14 «Порядку присудження наукових ступенів», затвердженого постановою Кабінету Міністрів України № 567 від 24.07.2013 р. та чинним вимогам Міністерства освіти і науки України, а її авторка Левчук Катерина Григорівна заслуговує на присудження їй наукового ступеня доктора технічних наук за спеціальністю 05.05.12 – машини нафтової та газової промисловості.

Офіційний опонент, професор, доктор технічних наук,
професор кафедри технологічної та професійної освіти
Дрогобицького державного педагогічного
університету ім. Івана Франка

Р. С. Яким



Відгук надіслав у секретарю
вченої ради Д 20.05.2019
Учений секретар І Федук
03.09.2019р.
І.В. Просяник

