

## ВІДГУК

офіційного опонента на дисертаційну роботу  
Шлюнь Наталії Володимирівни  
“Стійкість бурильних колон в криволінійних свердловинах”,  
представлену на здобуття наукового ступеня  
кандидата технічних наук за спеціальністю  
05.23.17 – будівельна механіка

### **Актуальність теми дисертації.**

Розвиток нафтогазової промисловості та удосконалення умов буріння є одним з найактуальніших питань в нашому столітті. Сучасний етап експлуатації більшості легкодоступних родовищ нафти і газу в Україні характеризується завершальним етапом. В той же час на території України знайдені також великі запаси сланцевого газу. Так, на деяких вугільних шахтах відведення газу метану вже дозволяє не лише підвищити безпеку підземних робіт, але також і забезпечити горючим газом деякі шахтарські селища і міста. Відомо, що запаси метану вже виявлені на глибинах нижче 1700 м, тоді як вугільні шари закінчуються на глибині 1000 м. Як показує світовий досвід, видобування цього газу може виявитися ефективним за допомогою криволінійних свердловин, які досягають родовищ нафти і газу на деяких відхиленнях від бурильних установок.

Однією з найважливіших технологічних компонент видобутку вуглеводневих палив є буріння глибоких криволінійних свердловин. Однак їх проходка пов'язана зі значними труднощами, зумовленими постійною змінюваністю балансу сил гравітації, сил опору (сил тертя), сил інерції та сил пружності, що діють на долото і бурильну колону, а також моментів цих сил.

Важливо відмітити, що створення криволінійних свердловин з великим відхиленням дозволяє не лише досягати віддалених підземних покладів нафти і газу, але і суттєво підвищити дебіт свердловини та повноту відбору палива. Проте технології буріння криволінійних свердловин пов'язані з підвищеною аварійністю, тому проблема практичного впровадження технологій буріння



глибоких свердловин різної просторової орієнтації призводить до необхідності теоретичного моделювання механічних явищ, які супроводжують процес буріння.

Разом з тим, можна відмити, що методів безаварійного промислового буріння протяжних свердловин складної геометрії поки ще не розроблено, оскільки спеціалістами в даній області не накопичено практичного досвіду буріння подібних свердловин та повністю відсутні методи теоретичного (комп'ютерного) моделювання вказаних процесів і супутніх їм аварійних ситуацій. Враховуючи актуальність для енергетики України питань розробки безаварійних технологій буріння глибоких криволінійних свердловин, можна зробити висновок, що питання розробки методів будівельної механіки, які дозволяють моделювати процеси глибокого буріння свердловин різних обрисів, становить важливу наукову та прикладну проблему. Тому тема дисертаційної роботи Н. В. Шлюнь, направлена на створення методики теоретичного прогнозування методами будівельної механіки явищ випинання бурильних колон у каналах криволінійних свердловинах, є досить актуальною.

Дисертаційна робота виконана згідно з планом науково-дослідних робіт, що проводяться на кафедрі вищої математики Національного транспортного університету, а також в рамках держбюджетних тем №11 «Математичне моделювання процесів безаварійного буріння в сланцевих породах і шельфових зонах морських акваторій» (2012 – 2014 рр., номер державної реєстрації 0112U000137) і № 38 «Комп'ютерне прогнозування і запобігання аварійним режимам буріння похило-скерованих та горизонтальних свердловин на етапах їх проектування і проходки» (2015 – 2017 рр., номер державної реєстрації 0115U002270).

#### **Наукова новизна отриманих результатів.**

У дисертаційній роботі Н.В. Шлюнь вперше поставлені та розв'язані задачі про втрату стійкості та випинання наддовгих бурильних колон в каналах глибоких криволінійних свердловинах з різними обрисами їх осьових ліній. На

основі теорії гнучких криволінійних стрижнів, методів диференціальної геометрії, теорії поверхонь та основних положень будівельної механіки стійкості пружних систем побудована система нелінійних рівнянь пружного згинання бурильної колони в свердловині з довільною геометрією. Розроблено методику розв'язування цих рівнянь, визначення їх власних значень та власних форм. Показано, що вони відносяться до класу сингулярно збурених, тому їх розв'язки мають вигляд крайових ефектів або короткохвильових вейвлетів, що виникають на заздалегідь невідомих ділянках в середині довжини колони.

### **Обґрунтованість і достовірність наукових положень, висновків та рекомендацій.**

Обґрунтованість і достовірність наукових положень дисертації забезпечується тим, що основними передумовами роботи є класичні положення та загальноприйняті гіпотези будівельної механіки криволінійних стрижнів з додатково накладеними в'язями, диференціальної геометрії та теорії поверхонь. Граничні задачі поставлено коректно, для їх розв'язання використовуються високоточні числові методи. Отримані результати узгоджуються з фізичними міркуваннями та результатами тестових розрахунків з різними кроками чисельного інтегрування.

### **Практичне значення і можливе використання результатів.**

Проведені в дисертації дослідження відповідають сучасним вимогам розвитку науки і техніки. Розроблені нові моделі, підходи та методики аналізу пружної втрати стійкості невеликих бурильних колон у каналах глибоких криволінійних свердловин в залежності від геометрії їх осьових ліній, а також виявлені ефекти виникнення в них критичних станів можуть викликати зацікавленість під час проектування їх конструкцій і технологій проходки глибоких криволінійних газових, нафтових і вугільних свердловин. Результати роботи можуть бути використані на підприємствах нафтової, газової та вугільної промисловостей України.

Методи комп'ютерного моделювання випинання та стійкості, розроблені в рамках даної дисертаційної роботи, використовуються ТОВ "ГЕНПРОФБУД" при проектуванні та розрахунках трубчатих конструкцій з внутрішніми потоками рідини, що піддаються впливу інтенсивних поздовжніх сил і крутних моментів. Цей факт підтверджується відповідною довідкою про впровадження результатів роботи на вказаному підприємстві.

Основні положення розробленої в дисертаційній роботі теорії пружного втрати стійкості гнучких криволінійних стрижнів впроваджені також в навчальний процес у Національному транспортному університеті при викладанні курсу з будівельної механіки стрижневих конструкцій.

#### **Повнота викладу результатів дисертації.**

Результати дисертації достатньо повно опубліковано в 26 наукових працях, у тому числі в 1 монографії, в 7 статтях закордонних журналів, у 8 фахових виданнях України, та 2 патентах на корисну модель. Основні результати дисертації доповідались на чотирьох міжнародних наукових конференціях, а також на чотирьох конференціях Національного транспортного університету. Зміст автореферату відповідає основним положенням дисертації.

#### **Оцінка основного змісту роботи.**

Дисертаційна робота складається зі вступу, чотирьох розділів, висновків, двох додатків та списку використаних джерел, що містить 138 найменувань. У роботі представлені 38 рисунків та 13 таблиць. Загальний обсяг дисертації складає 203 сторінки, з яких 146 сторінок друкованого тексту.

Усі розділи роботи мають завершений зміст, містять достатню кількість наукової інформації, їх послідовність є логічним розвитком процесу досліджень. У розділах наведено дані теоретичних і чисельних досліджень, які доповнюють одне одного та підтверджують ефективність розроблених методів і підходів.

Як по кожній роботі в новому напрямку, по дисертації Н.В. Шлюнь можна зробити **зауваження**, які, однак, не впливають на її загальну позитивну оцінку:

1. В роботі розглянуті задачі про стійкість бурильних колон під дією квазістатичних осьових, гравітаційних, контактних і фрикційних сил. Такі стани навантаження реалізуються, як правило в режимах виконання спуско – підйомних операцій. Більш складні стани квазістатичного навантаження реалізуються в процесі буріння, оскільки в ньому виникають також внутрішні та зовнішні крутні моменти, що також впливають на стійкість та випинання колони. Вважаю, що в майбутньому було б цікаво також проаналізувати вплив і цих факторів, особливо з врахуванням *історії навантаження*, коли напрямок дії сил тертя заздалегідь невідомий.

2. В роботі детально не описаний алгоритм рішення задачі – як спрягаються окремі суміжні ділянки трубопроводу, як враховуються відмінність базових систем координат в точках спряження двох ділянок.

3. Основна відмінність роботи полягає в тому, що труба дотикається до поверхні колони в кожній своїй точці. Проте можуть бути випадки, коли певні ділянки труби вільно розміщені всередині колони і не контактують з нею. Було б також цікаво в майбутньому розглянути і ці ефекти

4. Відомо, що на тіла, що рухаються навіть з постійною швидкістю по криволінійних траєкторіях, діють додаткові сили інерції, викликані доцентровими прискореннями на ділянках викривлення. Оскільки осьові швидкості руху елементів колони в криволінійній свердловині мають порівняно невеликі значення, то можна припустити, що обумовлені ними додаткові прискорення і сили інерції, що притискають колону до стінки свердловини і сприяють збільшенню сил опору, мають порівняно невеликі значення і ними можна знехтувати. Однак для підтвердження цього припущення було б доцільно провести додаткові теоретичні дослідження. Можна рекомендувати дисертанту в подальшому виконати розрахунок зазначених ефектів.

5. Дисертантом виконано дослідження випинання бурильних колон в криволінійних свердловинах з плоскою осьовою лінією. Всі ці задачі являються новими та являють собою інтерес як для теорії, так і практики. Необхідно відмітити, однак, що в практиці буріння широко зустрічаються також випадки проектування та проходки свердловин з тривимірною геометрією. В роботі питання аналізу стійкості колони в таких свердловинах не обговорюються. Вважаю, що було б цікаво хоча б прокоментувати ці питання як з теоретичної, так і практичної точок зору.

6. Є недоліки методичного плану, що стосуються подання тексту дисертації. Так стверджується, що представлена на мал. 1.6 геометрія стержня в циліндричній порожнині є інваріантною по відношенню до сили і моменту і з їх зміною змінюється контактна розподілена сила – це вимагає математичних пояснень. З іншої сторони, в описовій геометричній частині багато уваги приділяється куту  $\chi$  - між головними центральними осями інерції і нормаллю до лінії. Проте в подальшому він не використовується, адже для стержня кругового січення можна прийняти довільний кут за напрям центральний осей.

#### **Оцінка мови та стилю викладення дисертації та автореферату.**

Дисертація і автореферат викладено українською мовою. Стиль викладення матеріалу зрозумілий, чіткий, аргументований, а сам матеріал сприймається легко. Терміни, які використані у роботі, у цілому відповідають прийнятим у будівельній механіці. Незважаючи на деякі несуттєві огріхи технічного характеру, стиль роботи доступний, дозволяє сприймати матеріал з першого прочитання. У роботі багато ілюстраційного матеріалу, що виконаний із високою якістю.

**Відповідність змісту автореферату основним положенням дисертації.** Зміст автореферату відповідає змісту дисертації в цілому і її окремих розділів, він включає основні результати досліджень і достатньо повно дозволяє оцінити наукову новизну і практичну цінність дисертаційної роботи.

**Висновок про дисертацію в цілому та відповідність її вимогам ДАК МОН України.**

Перераховане дає повну підставу для **висновку**: як обсяг, так і науковий рівень дисертації свідчать про те, що робота є закінченою науковою працею, виконаною на актуальну тему. У ній отримані суттєві нові наукові результати, а саме — побудована нова математична модель стійкості бурильних колон в каналах криволінійних свердловин при виконанні технологічних операцій буріння.

Одержані в дисертації результати представляють інтерес для фахівців у галузі нафтової та газової промисловостях України. Робота у науковому та практичному плані актуальна і важлива, відповідає усім вимогам ДАК МОН України, та її автору Наталії Володимирівні Шлюнь за проведення досліджень і отримані результати можна присудити вчений ступінь кандидата технічних наук за спеціальністю 05.23.17 – будівельна механіка.

Офіційний опонент, доктор техн. наук, професор,  
завідувач відділу фізичних основ  
міцності і руйнування  
Інституту проблем міцності  
ім. Г.С. Писаренка НАН України



І.В. Ориняк

Підпис професора І.В. Ориняка засвідчую:



В.Т. Скрипченко