

## ВІДГУК

офіційного опонента на дисертаційну роботу

Глазунова Сергія Миколайовича

**«Квазістатичні та динамічні фрикційні ефекти**

**при бурінні глибоких свердловин»,**

подану на здобуття наукового ступеня кандидата технічних наук за

спеціальністю 05.23.17- будівельна механіка.

### Актуальність теми дисертації.

Створення нових високоефективних методів і технологій буріння глибоких нафтових і газових вертикальних та криволінійних свердловин є однією з найбільш важливих задач сучасної енергетики. Її важливість особливо зростає в зв'язку зі збільшенням об'ємів нафти і газу, що видобуваються зі сланцевих порід, запаси яких на території України особливо великі. При цьому, однак, серед причин, які перешкоджають інтенсифікації видобутку вуглеводневих палив, знаходяться умови ускладнення їх вилучення з глибоких та складних порід. В зв'язку з цим режими буріння часто супроводжуються нештатними та аварійними ситуаціями.

Головні обставини, які визначають рівень видобутку вуглеводнів, пов'язані з природними факторами, а саме, обсягами і запасами вуглеводнів та відстанями їх віддалення від промислових центрів. При цьому практичне застосування технології буріння свердловин складної конфігурації вимагає відповідного математичного моделювання для проектування їх раціональних траєкторій та використання сучасної техніки і технологій для їх проходки. В цих випадках найбільший інтерес представляють питання визначення зовнішніх та внутрішніх сил, а також крутних моментів, які діють на бурильну колону в режимах виконання спуско-підйомних операцій і буріння. Серед цих сил та моментів найбільш негативну роль відіграють сили опору (контактні сили і сили

КАНЦЕЛЯРІЯ НТУ  
№ 01/1022  
12.11.2018 р.

тертя), які перешкоджають руху колони і сприяють реалізації ефектів прихватів. Усуенню або хоча б пом'якшенню негативного прояву цих сил заважають два фактори. Перший з них пов'язаний із складністю наявних фрикційних процесів, які включають суттєво нелінійні ефекти. Другий фактор обумовлений високою складністю математичних моделей, що описують квазістатичні та динамічні фрикційні явища. Ці моделі формулюються на основі теорії гнучких криволінійних стержнів та методів будівельної механіки. Вони являють собою нелінійні диференціальні рівняння високих порядків із змінними коефіцієнтами.

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 (особливо заданих у табличній формі) становлять важливу наукову та прикладну проблему. В зв'язку з цим тема дисертаційної роботи С.М. Глазунова, спрямована на створення методики теоретичного прогнозування методами будівельної механіки позаштатних квазістатичних і динамічних явищ, обумовлених фрикційними ефектами, є актуальною.

#### Наукова новизна дисертації отриманих результатів

У дисертаційній роботі С.М. Глазунова вперше поставлені та розв'язані задачі про вплив сил тертя на квазістатичні процеси у каналах криволінійних хвилястих свердловинах, геометрія траєкторій яких задана в табличній формі, а також про вплив сил в'язкості на крутильні автоколивання бурильних колон. За допомогою кубічних сплайнів виконаний перехід від дискретної форми представлення геометрії до аналітичної. Створене програмне забезпечення для комп'ютерного моделювання осьового руху колони та сил опору, які генеруються.

Вперше проведено теоретичний аналіз траєкторного руху бурильних колон в порожнинах хвилястих свердловин. Виявлено, що рекомендації, які використовуються на практиці, щодо з'єднання різних сегментів осьової лінії свердловини дугами кола, призводить до збільшення сил фрикційного опору їх переміщенню. Вперше продемонстровано, що з'єднання їх елементами клотоїд або кубічних парабол призводить до суттєвого зниження сил тертя.

Запропонована нова математична модель (в формі звичайного диференціального рівняння другого порядку) самозбурення торсіонних автоколивань бурильних колон з врахуванням сил в'язкого тертя промивної рідини. Методом комп'ютерного моделювання встановлено, що переходи від стаціонарних коливань колон до їх автоколивань здійснюється через біфуркаційні стани, причому сили в'язкого тертя несуттєво впливають на їх значення

Обґрунтованість і достовірність наукових положень, висновків та рекомендацій.

Обґрунтованість і достовірність положень дисертації забезпечується обґрунтованим вибором та застосуванням класичних положень будівельної механіки, загальноприйнятих гіпотез механіки гнучких криволінійних стержнів, а також диференціальної геометрії та положень теорії сплайнової інтерполяції. Побудовані диференціальні рівняння інтегруються методами чисельного аналізу (метод Рунге-Кутти).

Достовірність результатів досліджень підтверджується їх практичною перевіркою при різних значеннях характерних параметрів, зіставленням отриманих результатів з результатами розв'язків інших авторів, які знайдені при граничних значеннях визначальних величин.

### Практичне значення і можливе використання результатів.

Отримані в дисертації наукові результати відповідають сучасним вимогам науки і техніки. Розроблені нові математичні моделі, підходи та методики аналізу впливу сил тертя на осьовий рух та торсіонні коливання бурильних колон в глибоких свердловинах, а також виявлені ефекти виникнення в них позаштатних ситуацій можуть викликати зацікавленість спеціалістів під час проектування їх конструкцій та режимів проходки глибоких нафтових та газових свердловин. Результати роботи можуть бути використані на підприємствах нафтової та газової промисловості України.

Методи комп'ютерного моделювання квазістатичних та динамічних фрикційних ефектів при бурінні глибоких свердловин, розроблені в даній дисертації, впроваджені в ПРАТ «Укргазвидобування» і використовуються на етапах проектування траєкторії свердловини і їх проходки.

Основні теоретичні положення розробленої в дисертації моделі пружного згинання криволінійних стержнів впроваджені також в навчальний процес при викладанні курсу з будівельної механіки стрижневих систем у Національному транспортному університеті.

Зміст автореферату відповідає основним положенням дисертації.

### Повнота викладання результатів дисертації

Наукові положення і результати дисертації з достатньою повнотою опубліковано у 28 наукових роботах, у тому числі в одній монографії, в 7 статтях в іноземних журналах або наукометричних виданнях України, у 8 фахових виданнях України та 1 патенті. Основні наукові результати дисертації доповідались на восьми міжнародних наукових конференціях, а також чотирьох наукових конференціях у Національному транспортному університеті.

### Оцінка основного змісту дисертаційної роботи.

Дисертаційна робота складається зі вступу, п'яти розділів, висновку, списку використаних джерел, який містить 163 найменування та двох додатків. Вона містить близько 169 сторінок друкованого тексту, 9 таблиць та 99 рисунків. Повний обсяг дисертації складає 210 сторінок..

Наукова інформація, яка міститься у кожному із розділів, викладена логічно послідовно і має завершений характер. Вона містить результати теоретичних та чисельних досліджень, які є взаємопов'язаними і доповнюють один одного.

По роботі також є зауваження і рекомендації.

1. При бурінні глибоких криволінійних свердловин доводиться прокладати їхні траєкторії через різні зони земних порід з відмінними геологічними та механічними характеристиками. Хоча розроблена методика і моделі дозволяють врахувати фактори неоднорідності, в дисертації розглянуті випадки лише однорідних масивів. Оскільки неоднорідні структури широко зустрічаються на практиці, було б цікаво розглянути і ці випадки.
2. Для згладжування табличних даних щодо геометрії свердловини в дисертації використано метод інтерполяції кубічними сплайнами, який гарантує неперервність кривизни траєкторії по всій її довжині. При цьому достатня точність обчислень досягається за рахунок вибору відповідних значень кроків інтерполяції та інтегрування. В той же час в обчислювальній практиці зустрічаються і більш точні сплайнові апроксимації більш високих порядків (п'ятого і вище), хоча, звісно ж, вони є більш складними. Було б цікаво проаналізувати апроксимації яких порядків є найбільш раціональними для задач, поставлених у дисертації.
3. При постановці задач про крутильні та згинальні коливання бурильних колон дисертант використав прийнятий в будівельній механіці підхід, при

якому хвильові ефекти у системі не враховуються і аналізуються інтегральні періодичні рухи (тобто коливання) всієї системи. Цей прийом у дисертації не прокоментований.

4. В задачах самозбурення крутильних автоколивань бурильної колони дисертантом вперше врахований ефект в'язкості промивної рідини при максимальних значеннях коефіцієнта в'язкості, прийнятих у практиці буріння. При цьому враховано лише коаксіальний характер її плеского обертального руху поміж двома циліндрами і для визначення сил опору використаний відомий аналітичний розв'язок. Показано, що вплив цих сил малий, оскільки вони пригнічуються торсіонним (крутним) моментом на долоті. Однак в дійсності рідина здійснює також осьовий рух, тому бажано, хоча б якісно, обговорити вплив і осьових сил тертя на обертальний рух системи.
5. Переваги побудованої в дисертації математичної моделі автоколивань долота в формі системи з однією степінню вільності полягає в її простоті. В зв'язку з цим представляється можливим з її допомогою моделювати автоколивання системи при різних законах тертя (або різання) на долоті. Ці питання у практиці буріння вивчені недостатньо і є актуальними, оскільки визначаються великою кількістю міцностних властивостей породи, глибиною свердловини, а також розмірами і геометрією долота. Можна побажати дисертанту в подальшому дослідити ці питання за допомогою розробленої ним моделі.

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

Тексти дисертації та автореферату викладені українською мовою. Стиль висловлювання наукових матеріалів послідовно аргументований і зрозумілий, він відповідає нормам української мови. Ілюстраційний матеріал виконаний якісно, він сприймається легко.

### Загальний висновок

Дисертаційна робота Глазунова Сергія Миколайовича «Квазістатичні та динамічні фрикційні ефекти при бурінні глибоких свердловин» є завершеною науковою роботою з актуальних проблем будівельної механіки. Вона виконана на високому науковому рівні, її результати представляють суттєвий прикладний інтерес.

Вважаю, що робота відповідає всім вимогам п. 11 «Порядку присудження наукових ступенів» ДАК МОН України щодо кандидатських дисертацій, а її автор Глазунов Сергій Миколайович заслуговує присудження йому наукового ступеня кандидата технічних наук за спеціальністю 05.23.17 – будівельна механіка.

Офіційний опонент

доктор технічних наук, професор,  
професор кафедри будівельної механіки,  
декан будівельного факультету  
Київського національного  
університету будівництва і архітектури



Г.М. Іванченко

Особистий підпис професора Іванченка Г.М. засвідчую:

Вчений секретар Вченої ради КНУБА

к.т.н., доцент



О.С. Петренко