

УДК 539.3
UDC 539.3

ЗАДАЧІ МОДЕЛЮВАННЯ НЕШТАТНИХ СИТУАЦІЙ ПРОЦЕСІВ ГЛИБОКОГО БУРІННЯ

Глазунов С.М., Національний транспортний університет, Київ, Україна

THE PROBLEMS OF MODELING OF EMERGENCY SITUATION IN DEEP BORE-HOLE DRILLING PROCESSES

Glazunov S.M., National Transport University, Kyiv, Ukraine

ЗАДАЧИ МОДЕЛИРОВАНИЯ НЕШТАТНЫХ СИТУАЦИЙ ПРОЦЕССОВ ГЛУБОКОГО БУРЕНИЯ

Глазунов С.Н., Национальный транспортный университет, Киев, Украина

Позаштатні явища, що супроводжують процеси глибокого буріння

В даний час всі ми є свідками того, які суперечки виникають в політиці, бізнесі і промисловості в зв'язку з проблемами видобутку і перерозподілу нафто-газових ресурсів [1-4]. Додаткову гостроту в цю атмосферу внесла сланцева революція, що вибухнула в останні роки, внаслідок створення нових технологій гідророзриву й надглибокого та наддалекого криволінійного буріння [5-6]. Вже нерідкі випадки проходки вертикальних свердловин глибиною понад 10 км, а рекордне віддалення від бурильної установки горизонтальної свердловини перевищило 13,5 км.

У підвищеному стані на бурильну колону діють розподілені сили тяжіння. Вони створюють в ній растягуючу осьову силу, яка досягає максимуму в точці підвісу і спадає до нуля на її нижньому кінці. В процесі буріння, коли колона впирається нижнім кінцем у дно свердловини, на неї діє стискаюча сила вертикальної реакції, тому вся колона знаходиться в розтягнуто-стисненому напруженому стані [7].

Для надання колоні обертового руху до її верхнього кінця прикладається крутний момент. Для неглибоких свердловин можна вважати, що в стаціонарному стані цей момент дорівнює моменту різання, прикладеного до долота, і тоді крутний момент в самій колоні залишається сталим вздовж її довжини. Однак, якщо свердловина глибока, то для обчислення приводного крутного моменту в точці підвісу необхідно до моменту різання додати розподілені моменти сил тертя між стінками свердловини і колони. Тоді внутрішній крутний момент в колоні стане змінним. І він виявляється істотно змінним при поздовжніх і крутих коливаннях колони, коли долото входить та виходить з контакту з породою на дні свердловини, а процес різання стає переривчастим.

На значення моменту різання (крутного моменту) істотно впливає значення кутової швидкості. Оскільки з її зміною момент змінюється нелінійно, в бурильній колоні можливо самозбудження торсіонних коливань, що призводять до аварійних ситуацій.

Важливим фактором, що впливає на квазістатичну та динамічну поведінку бурильної колони, є її обертання. Для колон з геометричними недосконаlostями і з дисбалансами мас воно призводить до появи відцентрових сил інерції, які суттєво впливають на стійкість прямолінійної форми БК. У випадках порушення згинних коливань, обертання є джерелом виникнення гіроскопічних (коріолісових) сил інерції. Ці сили пов'язують різні види рухів (обертальні й лінійні) і призводять до порушення синфазності коливань.

Дуже складні ефекти в бурильних колонах породжуються зовнішніми і внутрішніми потоками промивної рідини. По-перше, з їх рухом пов'язані додаткові сили тертя, що впливають на динаміку БК. По-друге, при згинних коливаннях БК внутрішні потоки (по аналогії з обертовим рухом) також породжують відцентрові і гіроскопічні сили інерції, які дестабілізують прямолінійну форму колони і змінюють спектр її власних згинних коливань. Особливості дії цих сил детально вивчені в теорії трубопроводів. Їх прояв у БК досліджено недостатньо.

Зауважимо, що на практиці всі перераховані сили та впливи можуть мати місце одночасно з різними поєднаннями їх інтенсивностей й призводити, в залежності від довжини БК, до різних неприпустимих режимів.

Тому при видобутку палива з великих глибин підвищення ефективності буріння вертикальних свердловин роторним способом тісно пов'язане з проблемами виявлення критичних режимів функціонування бурильних колон та з розробкою заходів щодо зниження їх негативного впливу на бурильний процес. До таких явищ, що негативно впливають на технологічний процес буріння, відносяться:

- спіралеподібна втрата стійкості прямолінійної форми БК в нижній її частині по типу наддовгого стиснуто-розтягнутого, закрученого стрижня, що обертається;
- збудження поздовжніх коливань БК під дією різних збурень технологічного характеру;
- збудження резонансних згинних коливань БК, зумовлених геометричними недосконаlostями і дисбалансом усієї системи та окремих її частин;
- параметричне самозбудження крутильних коливань БК з залипаннями (slip-stick vibration), спричиненими нелінійними силами тертя зривної взаємодії між ріжучим інструментом (долотом) і породою, що обробляється;
- самозбурення коливань кружляння (whirling motion) долота, пов'язаних з його перекочування навколо осі системи в умовах фрикційної або неголономної взаємодії долота з поверхнею дна свердловини;
- прихоплення бурильної колони (втрата її рухомості) в протяжній криволінійній свердловині з геометричними недосконаlostями (dead lock states) в результаті різкого зростання сил контактної і фрикційної взаємодії;
- біфуркаційне випинання (buckling) бурильної колони в каналі криволінійної свердловини з зонами локалізації випучин, що не підлягають прогнозуванню.

Зазначені явища можуть призводити до аварійних ситуацій, що супроводжується обривом труби БК, прихватом ріжучого інструменту в зоні різання породи і затиранням ділянок БК в породу, розгвинчування труб БК, відхиленням осі свердловини від вертикалі і її незапланованим викривленням, а також втратою стійкості стінок свердловини і їх обвалом.

Встановлення параметрів процесу буріння, за яких реалізуються критичні стани, може бути здійснено методами математичного моделювання. Однак спроби практичного проведення математичних експериментів щодо прогнозування критичних станів БК пов'язані зі значними обчислювальними труднощами. В першу чергу вони обумовлені особливостями співвідношень між геометричними параметрами БК.

Так, оскільки для довгої колони її діаметр становить 10-5 частину її довжини, вона виявляється геометрично подібної до людського волосся з мізерно малими згинною та крутильною жорсткостями. У зв'язку з цим для їх теоретичного дослідження часто застосовують механічні моделі струн або абсолютно гнучких ниток. В англійській літературі колони так і називають: "drill string" - "бурильна струна". У той же час, щоб правильно описати крайові і локальні ефекти згинного деформування БК, треба розраховувати їх згідно із теорією балок, тому використання цієї теорії на довжинах в кілька кілометрів призводить до появи так званої "обчислювальної жорсткості", яка супроводжується значним погіршенням збіжності обчислювальних алгоритмів. В математиці рівняння, що моделюють такі ефекти, називаються сингулярно збуреними [7].

Інше ускладнення задачі моделювання квазістатичної та динамічної поведінки БК пов'язане зі складною комбінацією сил і впливів, що впливають на її квазістатіку й динаміку. Тому розглянуті завдання є істотно багатопараметричними. У загальній постановці такі завдання є нерозв'язними. У зв'язку з цим одним з найбільш раціональних підходів до їх вирішення є розділення згинних, поздовжніх й крутильних рухів колони, їх окремих розгляд й встановлення найбільш загальних закономірностей процесів протікання з виявленням їх критичних станів [8].

Математичні аспекти проблем механіки колон глибокого буріння

Проблеми математичного моделювання статичних та динамічних механічних явищ і критичних станів, що виникають в колонах глибокого буріння, пов'язані зі значними теоретичними труднощами. По-перше, ці труднощі обумовлені складною природою статичних і динамічних дій на бурильну колону і складністю механічних процесів, згенерованих ними. По-друге, істотний(ий)

визначальний) вплив на специфіку процесів, постановки задач та методики їх розв'язання надає фактор великої довжини бурильної колони, що призводить до практичної втрати нею згинної жорсткості. Тому для них методики інтегрування розв'язуючих рівнянь згину БК на великих відрізках інтегрування виявляються такими, що важко реалізуються. Найбільш помітно ці труднощі проявляються при спробі розв'язання задач про біфуркаційне випучування БК та про їх вільні коливання. У зв'язку з цим завдання про згинну стійкість БК формулюються у двох постановках.

Перша постановка базується на формулюванні задачі Штурма-Ліувілля на великому інтервалі довжини колони, у якій дуже помітним виявляється явище так званої "обчислювальної жорсткості". Воно спричинене тим, що розв'язуючі функції поперечних переміщень $u(x)$, $v(x)$ нетривіальних розв'язків дуже швидко змінюються з великими похідними на малому відрізку, що прилягає до нижнього краю БК, і мають малі значення з малими похідними на решті її частини. Особливі складнощі при вивченні системи рівнянь, що визначає функції $u(x)$, $v(x)$, пов'язані з тим, що точки початку швидких змін розв'язуючих функцій заздалегідь невідомі. У нашому випадку ефекти "обчислювальної жорсткості" викликані високим порядком диференціальних рівнянь і неявно присутніми малими коефіцієнтами при старших похідних. Малість цих коефіцієнтів проявляється при масштабуванні довжини інтегрування рівнянь рівноваги і коливань до одиничного відрізка. Тоді складові з четвертими похідними потрібно ділити на L^4 , і їх роль у загальному балансі внутрішніх сил і моментів істотно знижується. Завдяки цьому, розв'язок набуває ділянки швидких (типу прикордоншару) і повільних (регулярних) змін. Якщо цей розв'язок комбінується у вигляді суперпозиції частинних розв'язків, зростаючих і спадаючих за експоненціальним законом, то на великих інтервалах інтегрування значення розв'язків першої групи спрямовуються до нескінченності, а розв'язки другої групи - до нуля, і задача побудови необхідних розв'язків вихідних рівнянь стає нездійсненною навіть для двоточкових крайових задач. Як зазначено вище, у математиці такі системи називаються сингулярно збуреними [8].

Внаслідок зазначених труднощів питання дослідження згинної стійкості і власних коливань БК великої довжини виявилися практично недослідженими. У даній книзі для їх розв'язування запропонована методика, що базується на застосуванні методу початкових параметрів спільно з процедурою ортогоналізації по Годунову (для вертикальних свердловин) і метод кінцевих різниць з дуже малим кроком (для криволінійних свердловин).

Використана при дослідженні стійкості БК постановка задачі Штурма-Ліувілля дозволяє встановити початок процесу зародження її біфуркаційного згинання. При його здійсненні колона випучує і вступає в контактну взаємодію зі стінкою свердловини. На цій стадії реалізується другий етап втрати стійкості БК, на якому розглядається її закритичний стан і вивчається закритична рівновага елементів БК при заданій (зазвичай, регулярній спіральній) геометрії її деформування. Постановки задач, засновані на зазначеному підході, широко застосовуються в зарубіжній літературі. Вони базуються на використанні теорії гнучких криволінійних стрижнів і, зазвичай, пов'язані з рядом спрощених припущень про характер закритичної поведінки БК, що істотно знижує цінність отриманих на їх основі результатів.

У даній роботі розглядається початковий етап біфуркаційного випучення бурильних колон (перша постановка), для аналізу якого формулюються відповідні задачі Штурма-Ліувілля на всій довжині БК у вертикальній свердловині. Особлива увага приділяється розрахунку стійкості БК на основі сингулярно збурених рівнянь з так званим інтегровним розрахунковим схемам, що призводить для багатоопорних колон до багатоточкових крайових задач. Показано, що, зазвичай, втрата стійкості колон реалізується у формі спіральних вейвлетів.

Із ще більшими обчислювальними труднощами пов'язані задачі про вільні коливання БК у вертикальних свердловинах. Методами дисперсійного аналізу встановлено, що на відміну від коливань звичайних стрижнів нескінченної довжини, що допускають розв'язки у вигляді стоячих плоских хвиль, коливання нескінченних закручених труб, що обертаються, з потоками рідини можуть відбуватися тільки по формах біжучих спіральних хвиль (хвилі із круговою або циліндричною поляризацією). При цьому кожній довжині біжучої хвилі відповідає чотири значення фазової швидкості, різні для лівої й правої спіралі й залежні від напрямку руху хвилі. Ця обставина свідчить про те, що вільні згинні коливання БК великої (хоча й скінченної) довжини можуть бути реалізовані тільки по просторових формах.

У зв'язку з великою довжиною бурильної колони особливу форму можуть також набувати збурені в ній торсіонні автоколивання. Вони обумовлені суттєво нелінійною залежністю (із точками екстремуму) моменту різання долотом породи від його кутової швидкості й зароджуються через біфуркації зародження циклу. У математиці А. Пуанкаре був одним з перших, хто звернув увагу на біфуркаційну природу автоколивальних процесів. А. Андронон розглянув можливість виникнення цих ефектів у механічних коливальних системах з нелінійним тертям. Пізніше Хопф дав математичне обґрунтування цієї теорії. Тому ефекти самозбурення коливальних у системах з нелінійним тертям одержали назви біфуркацій Пуанкаре-Андронова-Хопфа.

У прикладній математиці й фізиці розрізняють два види автоколивальних – томсонівське й релаксаційне. Томсонівські автоколивання протікають по формах, близьких до гармонічних, релаксаційні автоколивання описуються періодичними або майже періодичними ламаними функціями з майже розривними похідними (швидкостями). Як показав аналіз, торсіонні автоколивання бурильних колон є релаксаційними. У зв'язку із цим їх моделювання спряжене зі значно більшими обчислювальними труднощами. Запропоновано три моделі протікання торсіонних автоколивальних у бурильних колонах: хвильова, коливальна модель із розподіленими параметрами й коливальна модель із одним ступенем свободи. Обчислення показали, що хоча у хвильовій моделі розв'язки мають квантований характер, в інтегральному розумінні розв'язки у всіх випадках практично збіглися. Однак для випадку автоколивальних у протяжних похилих свердловинах з істотними впливами сил тертя більш точною виявилася модель із розподіленими параметрами.

Очевидно, тільки в практиці буріння спостерігається особливий вид механічних коливальних, які називаються коливаннями «кружляння» (whirling). При їхньому самозбудженні долото відхиляється від свого центрованого стану й починає перекочуватися, у загальному випадку з ковзанням і крученням, навколо осьової лінії системи. У цих випадках в'язі, що накладаються на рух долота, можуть бути неголономними. У зв'язку із цим кружляння долота може бути стійким і нестійким, відбуватися в напрямках прямого й зворотного обертання, або центр долота може рухатися по самих незвичайних траєкторіях. Для опису цих видів коливальних слід застосовувати методи неголономної механіки й геометрії.

З особливими технічними й теоретичними труднощами спряжене буріння криволінійних свердловин великої протяжності. При їх проходці колона може перебувати в досить жорстких умовах, викликаних дією контактних і фрикційних сил. У процесі буріння або виконання спуско-підйомних операцій (наприклад, для заміни долота) ці сили досягають досить великих значень, особливо в місцях геометричних нерегулярностей осьової лінії свердловини у формах зламів (dog legs) і гармонічних або спіральних вейвлетів. Часто вони є основною причиною порушення технології буріння й призводять до прихвату БК. Для моделювання цих ефектів необхідно застосовувати теорію гнучких криволінійних стрижнів, методи диференціальної геометрії й обчислювальної математики. При цьому особливий інтерес представляє питання про з'єднання двох ділянок свердловини з різними кривизнами. Для цієї операції виявляється нераціональним метод мінімальної кривизни, що використовується на практиці і базується на моделюванні колони абсолютною гнучкою ниткою (soft string drag (torque model), а слід з'єднувати ділянки свердловини шляхом введення малих ділянок у формі спіралі Кореню (клотоїди) або кубічної параболи. Для моделювання цього ефекту доцільно застосовувати модель криволінійного стрижня (stiff string drag (torque model).

Щоб продемонструвати труднощі, пов'язані з розрахунком таких систем, наведемо рівняння пружної рівноваги бурильної колони у каналі криволінійної свердловини. Вони включають три рівняння рівноваги силової групи

$$\begin{aligned} \frac{dF_u}{ds} &= r \cdot F_v - k_R \cos \chi \cdot F_w - f_u^{gr} - f_u^c, \\ \frac{dF_v}{ds} &= k_R \sin \chi \cdot F_w - r \cdot F_u - f_v^{gr} - f_v^c, \\ \frac{dF_w}{ds} &= k_R \cos \chi \cdot F_u - k_R \sin \chi \cdot F_v - f_w^{gr} - f_w^f \end{aligned}$$

і три рівняння моментної групи:

$$\frac{dk_R}{ds} \sin \chi + k_R \cos \chi \cdot (r - k_T) = \frac{A - C}{A} k_R \cos \chi \cdot r + \frac{F_v}{A},$$

$$\frac{dk_R}{ds} \cos \chi + k_R \sin \chi \cdot (r - k_T) = \frac{C - A}{A} k_R \sin \chi \cdot r + \frac{F_u}{A},$$

$$\frac{dr}{ds} = -\frac{m_w^{fr}}{C}.$$

Тут F_u, F_v, F_w - компоненти вектора внутрішніх сил; k_R - значення головної кривизни; r - кручення; E, G - модулі пружності матеріалу колони при розтягу й зсуві; I, I_o - осьвий та полярний моменти інерції поперечного перерізу труби бурильної колони.

Для розв'язування цієї системи рівнянь використовується метод початкових параметрів [8].

І, нарешті, дуже цікавим з погляду механіки й математики є питання про Ейлерове (біфуркаційне) випучування БК у каналі криволінійної свердловини. Насамперед воно повинно розглядатися на основі постановки задачі Штурма-Ліувілля для криволінійного пружного стрижня. У цьому випадку вона розпадається на дві самостійні задачі. Спочатку потрібно за допомогою моделі stiff string drag (torque model побудувати функції осьової сили й крутного моменту в колоні, а потім, використовуючи їх як коефіцієнти, сформулювати рівняння на власні значення для колони по всій її довжині. Оскільки поставлена задача також є сингулярно збуреною, реалізовані на основі її розв'язку форми випучування мають вигляд локалізованих гармонічних вейвлетів, місця розташування яких заздалегідь невідомі. У зв'язку з цим для розв'язку задачі слід застосовувати інтегральний (глобальний) підхід і локалізовані випучини шукати по всій довжині БК. Крім того у зв'язку з тим, що переміщення випученої колони, обмежені стінками каналу свердловини, для формулювання задачі доводиться враховувати нелінійний в'язі. Виключення рівнянь в'язей здійснюється за допомогою методів диференціальної геометрії, теорії каналових поверхонь і шляхом використання спеціального рухомого триєдра. Розв'язок поставленої задачі дозволяє знайти не тільки критичні навантаження для колони в криволінійному каналі свердловини, але й також вказати місце локалізації зони її випучування.

Перераховані математичні особливості поставлених задач роблять їх досить трудомісткими, але в той же час й привабливими для науковця.

ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ

1. Kerr R.A. Bumpy road ahead for world's oil. – Science, 18 Nov.2005, Vol. 310.– P. 1106–1108.
2. Leonardo Maugeri. Oil: never cry wolf- why the petroleum age is far from over – Science. – May 2004. – V.304.– P. 1114–1115.
3. Jonggeun Choe, Jerome J.Schubert, Hans C. Juvkam-Wold. Well-control analyses on extended-reach and multilateral trajectories – SPE Drilling & Completion. – June 2005. – P. 101–108.
4. Iyoho A.W., Meize R.A., Millheim K.K., Crumrine M.J. Lessons from integrated analysis of GOM drilling performance – SPE Drilling & Completion. – March 2005. – P. 6–16.
5. Editorial. Avoiding an oil crunch – Science. – 1999. – V.286, № 5437. – P. 47.
6. Мислюк М.А., Рибчич І.Й., Яремійчук Р.С. Буріння свердловин. – Вертикальне та скероване буріння, Т.3– Київ: "Інтерпрес ЛТД". – 2004. – 294с.
7. Чанг К, Хауэс Ф. Нелинейные сингулярно возмущенные краевые задачи – М., Мир. – 1988. – 247 с.
8. V.I. Gulyayev, E.N. Andrusenko, N.V. Shlyun. Theoretical modelling of post – buckling contact interaction of a drill string with inclined bore-hole surface – Structural Engineering and Mechanics. – 2014. –Vol. 49, No 4. – P. 427–448.

REFERENCES

1. Kerr R.A. Bumpy road ahead for world's oil. – Science, 18 Nov.2005, Vol. 310.– P. 1106–1108.
2. Leonardo Maugeri. Oil: never cry wolf- why the petroleum age is far from over – Science. – May 2004. – V.304.– P. 1114–1115.
3. Jonggeun Choe, Jerome J.Schubert, Hans C. Juvkam-Wold. Well-control analyses on extended-reach and multilateral trajectories – SPE Drilling & Completion. – June 2005. – P. 101–108.
4. Iyoho A.W., Meize R.A., Millheim K.K., Crumrine M.J. Lessons from integrated analysis of GOM drilling performance – SPE Drilling & Completion. – March 2005. – P. 6–16.
5. Editorial. Avoiding an oil crunch – Science. – 1999. – V.286, № 5437. – P. 47.

6. Myslyuk M.A., Rybchich I. Yo., Yaremychuk R.S. Borewell Drilling – Vertical and Directed Drilling. V.3– Kyiv, Interpress LTD. – 2004. P – 294с. (Ukr)
7. Chang K.W., Howes F. Nonlinear Singular Perturbation Phenomena. – Springer-Verlag, New York, Berlin, Heidelberg, Tokyo, 1984. (Rus)
8. V.I. Gulyayev, E.N. Andrusenko, N.V. Shlyun. Theoretical modelling of post – buckling contact interaction of a drill string with inclined bore-hole surface – Structural Engineering and Mechanics. – 2014. –Vol. 49, No 4. – P. 427–448.

РЕФЕРАТ

Глазунов С.М. Задачі моделювання нештатних ситуацій процесів глибокого буріння / С.М. Глазунов // Вісник Національного транспортного університету. Серія «Технічні науки». Науково-технічний збірник. – К. : НТУ, 2017. – Вип. 1 (37).

У статті наведено аналіз найбільш типових позаштатних ситуацій, що виникають при бурінні глибоких вертикальних та криволінійних свердловин, і методів їх комп'ютерного моделювання. Обговорюються математичні методи, що застосовуються для постановки задач статичної та динамічної протяжних бурових колон.

Об'єктом дослідження є видовжена буровий колона в порожнині вертикальної або криволінійної свердловини.

Мета роботи полягає у встановленні найбільш несприятливих позаштатних (статичних та динамічних) ситуацій, що супроводжують процес буріння, і аналізі методів їх моделювання.

Методи дослідження - чисельні методи математичної фізики розв'язування рівнянь у частинних похідних.

Наведено найбільш несприятливі ситуації, що виникають при виконанні спуско-підйомних операцій і процесу буріння. Розглянуто теоретичні підходи до завдань їх моделювання. Показано, що за допомогою комп'ютерного моделювання можна прогнозувати аварійні режими буріння і запобігати їм. Результати досліджень можуть бути впроваджені в практику проектування і проведення технологічних режимів буріння.

КЛЮЧОВІ СЛОВА: СВЕРДЛОВИНА, БУРИЛЬНА КОЛОНА, ПОЗАШТАТНА СИТУАЦІЯ, КОМП'ЮТЕРНЕ МОДЕЛЮВАННЯ.

ABSTRACT

Glazunov S.M. The problems of modeling of emergency situation in deep bore-hole drilling processes. Visnyk National Transport University. Series «Technical sciences». Scientific and Technical Collection. – Kyiv: National Transport University, 2017. – Issue 1 (37).

The analysis of the most typical emergency situations occurring in drilling of deep vertical and curvilinear bore-holes and methods of their computer simulation is performed the mathematic algorithms used for statement of the problems on statics and dynamics of extended drill strings are discussed.

The research object is an extended drill string in a cavity of vertical or curvilinear bore-hole.

The analysis target consist in establishment of the most unfavourable emergency (static and dynamic) situations accompanying the drilling processes and in analysis of their simulation approaches.

The investigation methods represent the numerical algorithms of mathematic physics for solving equations with partial derivatives.

The examples of the most unfavourable situations, appearing in fulfillment of tripping operations and drilling, are demonstrated. The theoretical approaches to the simulation problem are considered. It is shown that it is possible to predict and to prevent the failure regimes with the use of elaborated methods of their modelling.

The investigation results can be inculcated into the design and drilling practices.

KEY WORDS: BOREWELL, DRILL STRING, EMERGENCY SITUATIONS, COMPUTER SIMULATION

РЕФЕРАТ

Глазунов С.Н. Задачи моделирования нештатных ситуаций процессов глубокого бурения / С.Н. Глазунов // Вестник Національного транспортного університету. Серія «Технічні науки». Научно-технический сборник. – К. : НТУ, 2017. – Вип. 1 (37).

В статье приведен анализ наиболее типичных нештатных ситуаций, возникающих при бурении глубоких вертикальных и криволинейных скважин, и методов их компьютерного моделирования. Обсуждаются математические методы, применяемые для постановки задач статики и динамики протяженных буровых колонн.

Объектом исследования является протяженная буровая колонна в полости вертикальной или криволинейной скважины.

Цель работы заключается в установлении наиболее неблагоприятных нештатных (статических и динамических) ситуаций, сопутствующих процессу бурения, и анализе методов их моделирования.

Методы исследования – численные методы математической физики решения уравнений с частными производными.

Приведены наиболее неблагоприятные ситуации, возникающие при выполнении спуско-подъемных операций и процесса бурения. Рассмотрены теоретические подходы к задачам их моделирования. Показано, что с помощью компьютерного моделирования можно прогнозировать аварийные режимы бурения и предотвращать их. Результаты исследований могут быть внедрены в практику проектирования и проведения технологических режимов бурения.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА: СКВАЖИНА, БУРИЛЬНАЯ КОЛОННА, НЕШТАТНАЯ СИТУАЦИЯ, КОМПЬЮТЕРНОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ.

АВТОРИ:

Глазунов Сергій Миколайович, Національний транспортний університет, аспірант кафедри вищої математики, e-mail: sglazonov@smartenergy.com, тел. +380442847109, Україна, 01010, м. Київ, вул. Суворова 1.

AUTHOR:

Glazunov Sergiy. M., National Transport University, postgraduate student, e-mail: sglazonov@smartenergy.com, тел. +380442847109, Ukraine, 01010, Kyiv, Suvorova str. 1.

АВТОРЫ:

Глазунов Сергей Николаевич, Национальный транспортный университет, аспирант кафедры высшей математики, e-mail: sglazonov@smartenergy.com, тел. +380442847109, Украина, 01010, г. Киев, ул. Суворова 1.

РЕЦЕНЗЕНТИ:

Лоза І. А., доктор технічних наук, професор, Національний транспортний університет, професор кафедри теоретичної та прикладної механіки, Київ, Україна.

Лебедева І.В., кандидат фізико-математичних наук, доцент, Київський Національний університет імені Тараса Шевченка, доцент кафедри теоретичної та прикладної механіки, Київ, Україна.

REVIEWER:

Loza I.A., Ph.D., Engineering (Dr.), professor, National Transport University, professor, department of Theoretical and Applied Mechanics, Kyiv, Ukraine.

Lebedeva I.V., Ph.D., Physics and Mathematics, associate professor, Taras Shevchenko National University of Kyiv, associate professor, department of Theoretical and Applied Mechanics, Kyiv, Ukraine.