

УДК 622.243.272

ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНІ ДОСЛІДЖЕННЯ НА МОДЕЛЯХ КОМПОНОВОК НИЗУ БУРИЛЬНОЇ КОЛОНИ

¹Є.І.Крижанівський, ¹І.І.Чудик, ²М.М.Яворський, ¹В.М.Івасів

¹ІФНТУНГ, 76019, м. Івано-Франківськ, вул. Карпатська, 15, тел. (03422) 42002
e-mail: ndingt@ifdtung.if.ua

²БУ "Укрбургаз", 63300, Харківська обл., м. Красноград, вул. Полтавська, 86,
тел. (05744) 74668

Рассматривается способ исследования компоновок низа буровой колонны экспериментальным путем в лабораторных условиях. Описывается схема экспериментальной установки, ее возможности, методика моделирования и интерпретация результатов исследования для промышленных неориентированных КНБК любых конструкций. Для достоверности результатов произведена их сравнительная оценка с результатами аналитических расчетов в виде графических зависимостей.

The research method of the layout of the drilling string bottom by the experimental way at the laboratory conditions is examining. The scheme of the experimental installation, it's resources, the technique of the simulation and interpretation of the investigation results for the industrial unoriented LDSB of any construction is also described. For the validity of the results, their comparative appraisal with the results of the analytical calculations as graphical dependences is done.

Основною проблемою похило-спрямованого буріння є реалізація проектного профілю свердловини, вирішення якої залежить значною мірою від компоновок низу бурильної колони (КНБК). Існує велика кількість аналітичних моделей неорієнтованих КНБК, які дають змогу проектувати компоновки для різних задач буріння в заданому напрямі. Розрахунки реалізації аналітичного підходу вимагають використання об'ємного математичного апарату, що в більшості випадків зумовлює використання спрощень, у результаті чого отримуємо наближені значення шуканих величин. Зважаючи на те, що критерієм оцінки якості аналітичних моделей неорієнтованих КНБК є експериментальні дослідження [1-7], виникає необхідність вивчення їх роботи в лабораторних умовах.

Для проведення такого роду досліджень на кафедрі нафтогазового обладнання ІФНТУНГ було розроблено експериментальну установку для вивчення взаємодії елементів КНБК зі стінками свердловини, прототип якої наведено в роботі [7]. Схематичну конструкцію цієї установки зображено на рисунку 1. Вона складається з основи 1 та станини 2, до якої за допомогою вузла обертання 3 кріпиться двотавр 4. Він може змінювати свій кут нахилу відносно вертикалі в діапазоні від 0° - 90° . Для визначення величини зенітного кута нахилу осі свердловини використовують кутомір 9. Осьове навантаження на долото створюється навантажувальним гвинтом 6. Авторами було вдосконалено деякі елементи цієї установки, а саме – силувимірювальні вузли з тензометричними давачками та модель бурильної колони. Конструктивною особливістю вдосконалення вузлів вимірювання є можливість проведення вимірювань силових параметрів не в одній площині, а в просторі. Вони розташовуються на двотаврі і призначені для вимірювання осьового навантаження на долоті – вузол 11 та реакцій на долоті

і опорно-центруючому елементі (ОЦЕ) – відповідно вузли 10 та 7.

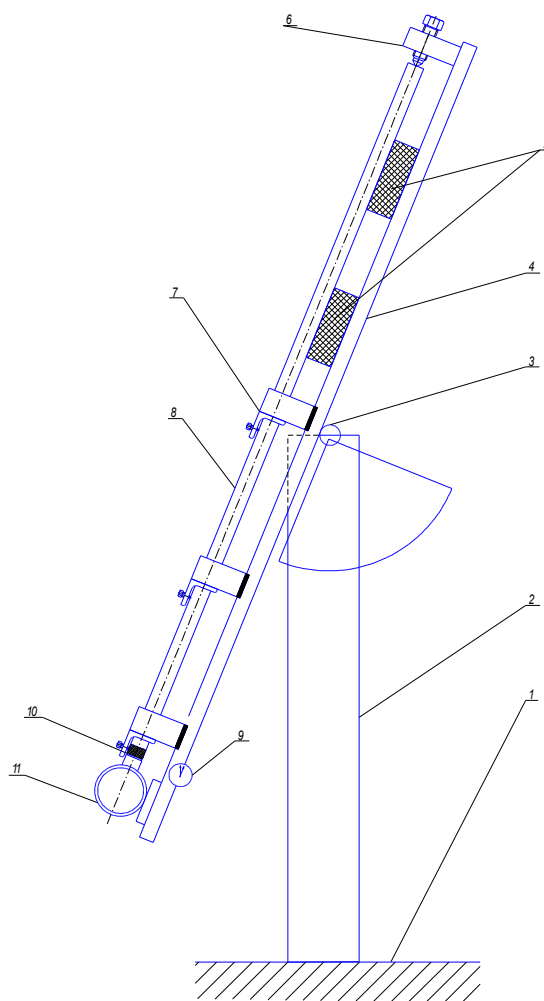


Рисунок 1 – Схема експериментальної установки для дослідження неорієнтованих КНБК

Модель бурильної колони виготовлено з мідної трубки 8 довжиною 4,5 м, внутрішню порожнину якої заповнено порошкоподібним обважнювачем (наприклад, свинець, рапід і ін.) для створення більшої ваги її погонного метра при незмінній жорсткості на згин. Це є її конструктивною перевагою над попередньо запроєктованою конструкцією модельної трубки і дає змогу моделювати КНБК великого типорозміру з кількома ОЦЕ при малих zenітних кутах нахилу осі свердловини. Для забезпечення необхідних параметрів профілю стовбура свердловини на ділянці розташування КНБК конструкцією передбачено підставки 5, які імітують нижню стінку свердловини. За їх допомогою можна відтворювати як прямолінійний, так і викривлений стовбур свердловини за рахунок зміни їх товщини.

На основі положень теорії подібності розмірностей [1, 3] було встановлено, що процес деформації будь-яких КНБК у стовбурі свердловин характеризують такі основні параметри:

- P — осьове навантаження на долото;
- q — вага одиниці довжини елемента КНБК;
- L — довжина бурильної колони;
- EI — жорсткість на згин колони бурильних труб;
- g — прискорення вільного падіння.

Відповідно до основних положень теорії розмірностей для п'яти параметрів системи та трьох основних одиниць вимірювання можна записати два критерії подібності — K₁, K₂ [1]

$$\begin{aligned} K_1 &= (EI)^{\alpha_1} \cdot (g)^{\alpha_2} \cdot (q)^{\alpha_3} \cdot L; \\ K_2 &= (EI)^{\gamma_1} \cdot (g)^{\gamma_2} \cdot (q)^{\gamma_3} \cdot P, \end{aligned} \quad (1)$$

де $\alpha_1, \alpha_2, \alpha_3, \gamma_1, \gamma_2, \gamma_3$ — невизначені коефіцієнти.

В ролі незалежних параметрів приймаємо значення довжини компоновки L та відхиляючого зусилля на долоті P. Використавши розмірності відповідних параметрів та провівши деякі перетворення, отримуємо такі співвідношення:

$$\begin{aligned} K_1 &= \sqrt[3]{\frac{q}{EI}} \cdot L = \frac{L}{\mu}; \\ K_2 &= \frac{P}{\sqrt[3]{E \cdot I \cdot L}} = \frac{P \cdot \mu^2}{EI}, \end{aligned} \quad (2)$$

де $\mu_m = \sqrt[3]{\frac{EI_m}{q_m \cdot \cos(\alpha)}}$ — довжина однієї безрозмірної одиниці довжини [1] при zenітному куті нахилу осі свердловини α .

Використовуючи необхідну та достатню умову подібності двох явищ або процесів [1], для моделі і природи отримуємо

$$\frac{L_n}{\mu_n} = \frac{L_m}{\mu_m}; \quad \frac{P_n \cdot \mu_n^2}{E_n I_n} = \frac{P_m \cdot \mu_m^2}{E_m I_m}. \quad (3)$$

Параметри стосовно природи і моделі позначаються індексами "н" і "м". Для визначення фактичних значень відхиляючого зусилля на

долоті Q, реакцій на ОЦЕ — R та довжини КНБК — L скористаємося такими рівняннями згідно з [1]:

$$\begin{aligned} Q_n &= \frac{Q_m \cdot \bar{q}}{q_m \cdot \mu_m}; & R_{n_i} &= \frac{R_{m_i} \cdot \bar{q}}{q_m \cdot \mu_m}; \\ l_{n_i} &= \frac{l_{m_i} \cdot \mu_n}{\mu_m}; & r_{n_i} &= \frac{r_{m_i} \cdot \mu_n}{\mu_m}. \end{aligned} \quad (4)$$

Якщо КНБК складається з n елементів різної ваги одиниці довжини q_i і жорсткості на згин EI_i, для визначення довжини КНБК справедливим буде рівняння

$$l_n = l_{n_1} + l_{n_2} + \dots + l_{n_n}, \quad (5)$$

де l_{n_n} — невідома відстань від верхнього ОЦЕ до точки дотику КНБК зі стінкою свердловини

$$l_{n_n} = \left[\frac{l_m}{\mu_m} - \left(\frac{l_{n_1}}{\mu_{n_1}} + \frac{l_{n_2}}{\mu_{n_2}} + \dots + \frac{l_{n_{n-1}}}{\mu_{n_{n-1}}} \right) \right] \cdot \mu_{n_n}. \quad (6)$$

Середнє значення ваги погонного метра q, величина однієї безрозмірної одиниці довжини μ та вага однієї безрозмірної одиниці довжини \bar{q} по всій довжині КНБК визначаються

$$q = \frac{(q_{n_1} l_{n_1} + q_{n_2} l_{n_2} + \dots + q_{n_3} l_{n_3}) \cdot \sin(\alpha)}{l_{n_1} + l_{n_2} + \dots + l_{n_3}}, \quad (7)$$

$$\mu = \frac{\mu_m}{l_m} \cdot [l_{n_1} + l_{n_2} + \dots + l_{n_3}], \quad (8)$$

$$\bar{q} = \mu \cdot q. \quad (9)$$

Параметри взаємодії КНБК із вибоєм та стінками свердловини при експериментальному моделюванні отримуємо в безрозмірному вигляді. Це дає змогу проводити дослідження КНБК у межах пружних деформацій на трубах, які виконані із різних матеріалів, що доведено в роботі [1] незалежно від геометричних розмірів і використовувати їх для моделювання багаторозмірних бурильних колон. Відносна простота перерахунку експериментальних даних у промислові уможливорює однорозмірними модельними бурильними трубами досліджувати процеси деформації реальних КНБК будь-яких типорозмірів і конструкцій.

Згідно із запропонованим підходом проведено дослідження роботи КНБК з одним та двома ОЦЕ при модельних значеннях зазорів (0,25; 0,5 мм) у місцях установки центруючих пристроїв, змінюючи відстань від долота до ОЦЕ або відстань між ними. У табл. 1 наведено значення відхиляючого зусилля на долоті в безрозмірних одиницях при різних кутах нахилу осі свердловини для КНБК із одним та двома ОЦЕ. Окрім цих результатів (табл. 1), отримуємо ще значення реакцій на ОЦЕ та довжини ділянок від долота до точки дотику компонок з нижньою стінкою свердловини, які в статті не наводяться.

Таблиця 1 — Відхиляюче зусилля на долоті для КНБК з одним та двома ОЦЕ

Точки виміру	Кути нахилу осі свердловини					
	КНБК з одним ОЦЕ			КНБК з двома ОЦЕ		
	10°	20°	30°	10°	20°	30°
1	0.168	0.22	0.26	-0.0378	-0.059	-0.075
2	0.107	0.135	0.152	-0.023	-0.039	-0.05
3	0.068	0.078	0.078	-0.0072	-0.015	-0.023
4	0.041	0.035	0.028	0.01	0.01	0.0108
5	0.022	0.101	-0.01	0.031	0.039	0.043
6	0.008	-0.012	-0.03	0.055	0.078	0.082
7	-0.001	-0.031	-0.055	0.082	0.115	0.127
8	-0.014	-0.05	-0.072	0.114	0.158	0.177
9	-0.021	-0.063	-0.096	0.152	0.2	0.234
10	-0.031	-0.075	-0.114	0.198	0.257	0.3
11	-0.035	-0.086	-0.129	0.22	0.297	-
12	-0.041	-0.094	-0.142	-	-	-
13	-0.046	-0.104	-0.144	-	-	-
14	-0.05	-0.114	-	-	-	-
15	-0.052	-0.109	-	-	-	-
16	-0.053	-	-	-	-	-

За допомогою формул (3-9) отримані результати експериментальних досліджень можна інтерпретувати для будь-яких реальних конструкцій КНБК відповідно з одним та двома ОЦЕ.

Для прикладу візьмемо такі конструкції неорієнтованих КНБК:

1. Долото Ø215.9мм, гвинтовий вибійний двигун ДГ 172 з центратором, ОБТ 146 (початкове положення ОЦЕ – на корпусі двигуна).

2. Долото Ø215.9мм, гвинтовий вибійний двигун ДГ 172 з центратором (ОЦЕ розташований на відстані 2м від долота), ОБТ 146 із центратором (діаметри ОЦЕ не наводяться тому, що вони визначаються за результатами експерименту (4)).

Експериментальні значення радіального зазору 0.5мм відповідають зазору для натурі 4мм, а 0,25 мм – 2 мм. Вони моделюють зазори на ОЦЕ Ø208 та 212 мм при діаметрі долота 215.9 мм. Визначаємо кількість ділянок кожної з компоновок, їх жорсткості та вагу погонного метра. Після цього за отриманою формулою (6) обчислюємо довжини невідомих ділянок КНБК, яка знаходиться вище ОЦЕ. За формулами (7-9) проводимо обчислення величин q , μ , \bar{q} для того, щоб отримати значення відхиляючого зусилля на долоті, реакцій на ОЦЕ для реальних КНБК.

Для наочності наведемо графічні залежності зміни величини Q , визначеного експериментальним шляхом, для порівняння з результатами теоретичних досліджень аналітичної моделі КНБК [8] залежно від відстані між долотом та ОЦЕ (рис. 2) та відстані між обома центраторами (рис. 3), при різних кутах нахилу осі свердловини. При цьому індекси “e” відповідають даним, отриманим експериментальним шляхом,

а “d” – теоретичним, і відповідно “1” відповідає zenітному куту нахилу осі свердловини 10°, “2” – 20°, “3” – 30°.

При порівнянні результатів експериментальних та теоретичних досліджень видно, що вони дещо відрізняються між собою за числовими значеннями, хоча форма кривих є подібною для обидвох методів. Для КНБК із одним ОЦЕ різниця в значеннях коливається в діапазоні від 2.6% до 16% і тим вона більша, чим більший zenітний кут нахилу осі свердловини. Для КНБК з двома ОЦЕ отримано, що відхилення змінюється в межах від 2.8% до 18%, і різниця в значеннях також збільшується в напрямку зростання zenітного кута. Отримана різниця в значеннях Q є результатом прийнятих припущень в аналітичних обчисленнях та похибках при моделюванні і виконанні експериментальних досліджень. Але все ж отримані результати досліджень свідчать про відносно їх високу точність при моделюванні статичних форм рівноваги неорієнтованих КНБК із одним та двома ОЦЕ і є підтвердженням того, що розроблені методи є придатними для проектування компоновок у промислових умовах.

Література

1. Григулецкий В.Г., Лукьянов В.Т. Проектирование компоновок нижней части буровой колонны. – М.: Недра, 1990. – 304 с.
2. Антаманов С.И., Марков О.А., Серeda Н.Г. Экспериментальное исследование сил контактного давления центраторов на стенки скважины // Нефтяное хозяйство. – 1970. – №9. – С. 21-24.
3. Балицкий А.В. Исследование на механической модели статической устойчивости колонны буровых труб: Материалы межвузовского совещания // Нефтяное машиностроение. – 1958. – Т. 3.

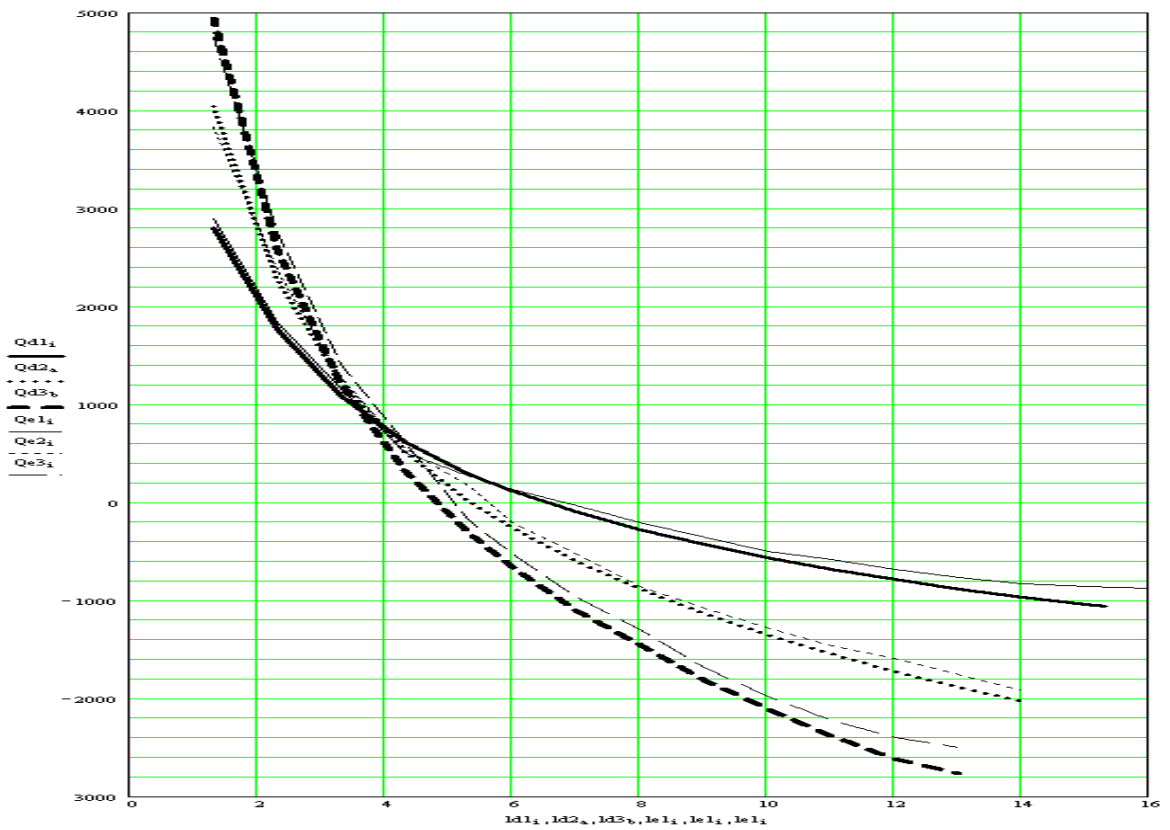


Рисунок 2 – Залежність зміни відхилюючого зусилля на долоті від відстані між долотом та ОЦЕ для КНБК з одним центратором

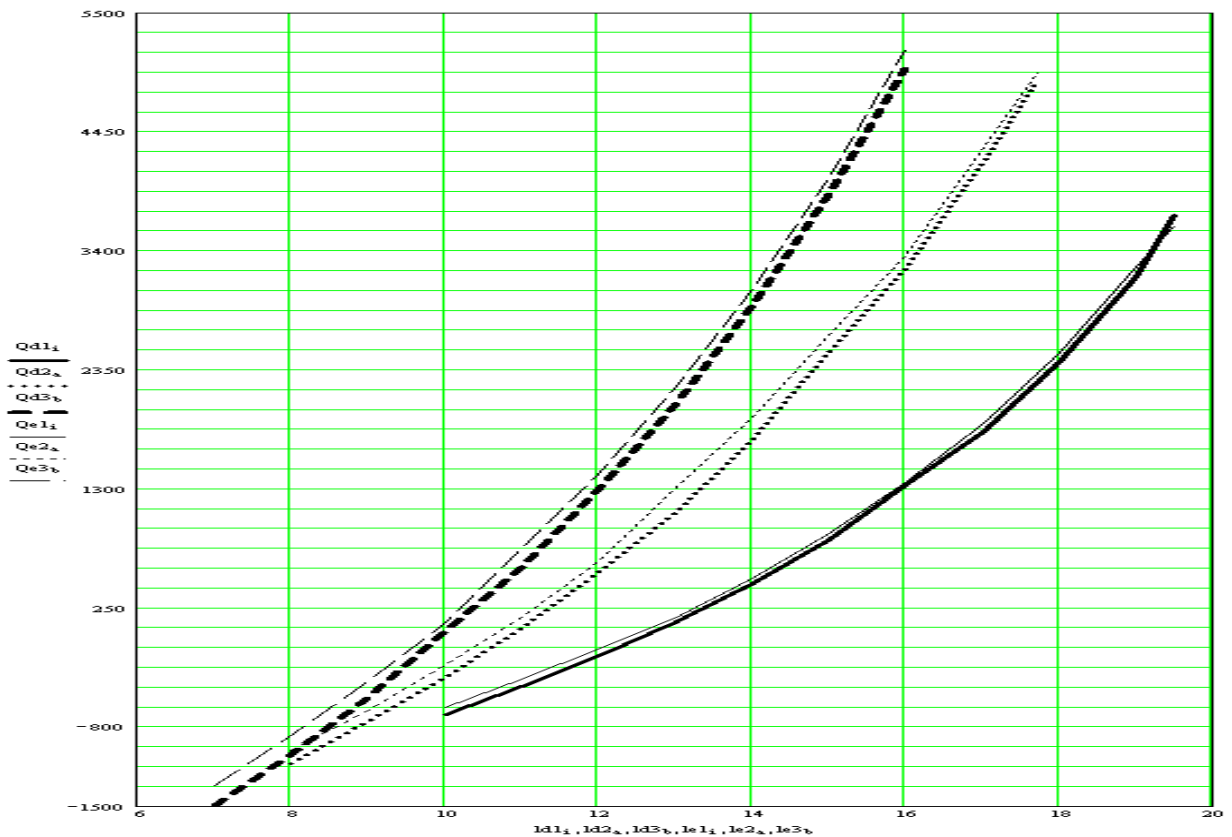


Рисунок 3 – Залежність зміни відхилюючого зусилля на долоті від відстані між ОЦЕ для КНБК з двома центраторами

4. Васько И.А., Середа Н.Г. Марков О.А. Исследование взаимодействия невращающейся ступенчатой буровой колонны с забоем и стенкой скважины // Нефтяное хозяйство. – 1971. – №8.

5. Орынчак Н.И. Исследование взаимодействия нижней части буровой колонны с забоем и стенкой скважины при установке двух центраторов // Изв ВУЗов. Геология и разведка. – 1970. – №10.

6. Беляев В.М. Компонировки нижней части буровой колонны // ТНТО: Сер. Бурение. – М.: ВНИИОЗНГ, 1972. – 140 с.

q – вага одиниці довжини колони;

7. Оганов С.А., Цибульский И.С. Экспериментальное исследование низа буровой колонны в наклонной скважине // Теория и практика бурения наклонных скважин. – Баку, 1981. – С. 8-12.

8. Івасів В.М., Чудик І.І., Козлов А.В., Глушич В.Г. Розрахунок компоновок низу бурової колони (КНБК) з двома центраторами // Науковий вісник ІФНТУНГ. – 2002. – №2(3). – С. 15-16.

УДК 622.24.058

ОЦІНКА ВПЛИВУ ЗГИНАЛЬНИХ НАВАНТАЖЕНЬ ТА ВІБРАЦІЙ НА НАПРУЖЕНИЙ СТАН БУРИЛЬНОЇ КОЛОНИ

М.В.Лисканич, Я.С.Гриджук, І.Й.Попадюк

ІФНТУНГ, 76019, м. Івано-Франківськ, вул. Карпатська, 15, тел. (03422) 44277
e-mail: public@ifdtung.if.ua

Рассматривается процесс изгиба буровой колонны под действием собственного веса и осевой возбуждающей нагрузки, сопровождаемой колебаниями колонны. С помощью уравнения упругой линии приводятся зависимости для определения реакции взаимодействия колонны со стенкой скважины, максимального изгибающего момента и максимальных напряжений изгиба.

The process of buckling of drill pipe under the influence of its weight and axle stimulating power, caused by the soil vibration of the pipe is discussed. Using the equation of springing line the dependences for defining the power of interaction between the pipe and the wall of the drillhole, maximum bending moment and maximum tension of pipe are shown.

На даний час при виборі конструкції бурових колон згідно з розповсюдженими методами розрахунку та практичним досвідом в більшості випадків виходять зі статичної міцності і міцності від утомленості, не враховуючи напружень в трубах, що виникають під дією коливальних процесів в системі “буровий ствол – свердловина”.

Для оцінки впливу згинальних навантажень на напружений стан в поперечних перерізах пружнодеформованої бурової колони застосовуємо теорію стійкості деформівних систем. При постановці задачі зробимо деякі припущення, що зводяться до такого: свердловина приймається вертикальною; буровий ствол розглядається як пустотілий, шарнірно закріплений на кінцях, однорідний стержень, матеріал якого є лінійно пружним; дія власної ваги замінюється кінцевою зосередженою силою.

Для визначення реакцій в точках А, В і С згідно з розрахунковою схемою, що зображена на рисунку, складемо систему рівнянь

$$\begin{cases} \sum F_{ix} = 0, \\ \sum F_{iy} = 0, \\ \sum M_A = 0. \end{cases} \Rightarrow \begin{cases} R_{Ax} - P = 0, \\ R_{Ay} + R_{By} - R_C = 0, \\ R_C l_1 - R_{By} l = 0, \end{cases} \quad (1)$$

де: $P = \Delta P + ql$ – осьове навантаження;

ΔP – амплітуда осьового навантаження;

l_1 – довжина ділянки колони;

R_{Ay}, R_{By} – горизонтальні складові реакцій \bar{R}_A, \bar{R}_B ;

R_{Ax} – вертикальна складова реакції \bar{R}_A ;

R_C – реакція взаємодії, що виникає між колоною та стінкою свердловини.

Амплітуда осьового змушувального навантаження ΔP на основній частоті ґрунтових коливань залежить від твердості і пластичності розбурюваної породи, конструкції бурової колони і осьового навантаження на долото. За експериментальними даними та літературними джерелами [1] для тришарових доліт при нерезонансних режимах коливання бурової колони можна прийняти:

при роторному бурінні

$$\Delta P = (0,2 \div 0,5) Q_D;$$

при бурінні вибійними двигунами

$$\Delta P = (0,3 \div 0,8) Q_D,$$

де Q_D – осьове статичне навантаження на долото.

Тут більші значення коефіцієнта при Q_D відповідають більш твердим і менш пластичним породам, які вибрані з діапазону оптима-