

Дослідження та методи аналізу

УДК 622.243.272

DOI: 10.31471/1993-9973-2019-1(70)-17-24

ОСОБЛИВОСТІ ЗАСТОСУВАННЯ ОРІЄНТОВАНИХ КНБК У ПРОЦЕСІ БУРІННЯ СКЕРОВАНИХ СВЕРДЛОВИН

¹І.І. Чудик*, ²А.М. Лівінський, ¹А. Аль Танакчі, ¹А.М. Пастух

¹ІФНТУНГ; 76019, м. Івано-Франківськ, Карпатська 15, тел. (0342) 727137,
e-mail: chudoman@ukr.net

²ТОВ "Ендейвер"; 36011, Полтавська обл., м. Полтава, вул. Пушкіна, буд. 28, офіс 4,
e-mail: alivinskyi@endv.com.ua

Пропонується науково-практичний підхід для оцінювання енергоефективності орієнтованих компоновок низу бурильної колони на базі вибійного двигуна. Основною конструктивною особливістю цих компоновок є наявність кута перекосу в шпindelній частині вибійного двигуна. Умови роботи таких компоновок розглядаються для суміщеного способу буріння при різній кількості опорно-центрувальних елементів. Особливу увагу при цьому приділено встановленню причин непродуктивних витрат енергії на роботу орієнтованих компоновок низу бурильної колони в стовбурі свердловини.

У вдосконаленій авторами математичній моделі враховано геометричні особливості конструкції компоновок, кут перекосу шпindеля вибійного двигуна відносно його корпусу, кількість опорно-центрувальних елементів і місце їх встановлення, зенітний кут стовбура свердловини, фізико-механічні характеристики гірської породи, яка його формує. Проведено розрахунок витрат енергії на обертання і осьове переміщення компоновок в стовбурі скерованої свердловини з урахуванням відхиляючого зусилля на долоті та реакції на опорно-центрувальних елементах. Запропоновано використання показника питомих енергетичних витрат на подолання сил і моментів опору зовнішнього середовища під час роботи орієнтованої компоновки при суміщеному способі буріння.

За результатами аналітичних досліджень на прикладі безопорної, одно- і двоопорних конструкцій із застосуванням розробленого підходу досліджено енерговитрати на роботу орієнтованих компоновок низу бурильної колони з різною кількістю опор. Встановлено, що одноопорні орієнтовані компоновки характеризуються найвищими значеннями сил опору осьовому переміщенню і обертанню в стовбурі скерованої свердловини, що обмежує їх практичне використання як високомоментних, енергетично витратних систем. Основними чинниками формування енергетичних витрат на роботу орієнтованих компоновок при суміщеному способі буріння є кількість опорно-центрувальних елементів в їх складі і величина зенітного кута стовбура свердловини.

Ключові слова: компоновка низу бурильної колони, енергетичні витрати, осьове переміщення компоновки, обертання компоновки, фрезування стінки свердловини, відхиляюча сила, кут перекосу, скерована свердловина, долото.

Предлагается научно-практический подход к оценке энергоэффективности ориентированных компоновок низа буровой колонны на базе забойного двигателя. Основной конструктивной особенностью этих компоновок является наличие угла перекоса в шпиндельной части забойного двигателя. Условия работы таких компоновок рассматриваются для совмещенного способа бурения при разном количестве опорно-центрирующих элементов. Особое внимание в этом уделяется установлению причин непроизводительных потерь энергии на работу ориентированных компоновок низа буровой колонны в стволе скважины.

В усовершенствованной авторами математической модели учтены геометрические особенности конструкции компоновок, угол перекоса шпинделя забойного двигателя относительно его корпуса, количество опорно-центрирующих элементов и место установки, зенитный угол ствола скважины, физико-механические характеристики формирующей его горной породы. Проведен расчет затрат энергии на вращение и осевое перемещение компоновок в стволе направленной скважины с учетом отклоняющего усилия на долоте и реакции на опорно-центрирующих элементах. Предложено использование показателя удельных энергетических потерь на преодоление сил и моментов сопротивления внешней среды в процессе работы ориентированной компоновки при совмещенном способе бурения.

По результатам аналитических исследований на примере безопорной, одно- и двухопорной конструкций с использованием разработанного подхода проведено исследование энергетических потерь на работу ориентированных компоновок низа буровой колонны с разным количеством опор. Установлено, что одноопорные ориентированные компоновки характеризуются высокими значениями сил сопротивления осевого перемещения и вращения в стволе направленной скважины, что ограничивает их практическое использование как высокомоментных, энергетически затратных систем. Основными факторами формирования энергетических потерь на работу ориентированных компоновок при совмещенном способе бурения являются количество опорно-центрирующих элементов в их составе и величина зенитного угла ствола скважины.

Ключевые слова: компоновка низа буровой колонны, энергетические затраты, осевое перемещение компоновки, вращения компоновки, фрезерование стенки скважины, отклоняющая сила, угол перекоса, направленная скважина, долото.

The article presents a scientific and practical approach to assessing the energy efficiency of directional bottom hole assembly on the basis of the mud motor. The main design feature of these assemblies is the presence of a bent angle in the spindle section of the mud motor. The conditions of operation of such assemblies are considered for a combined drilling method with a various number of stabilizers. Particular attention is paid to determining the causes of unproductive energy costs on the work of the directional bottomhole assemblies in the borehole.

The mathematical model improved by the authors includes the geometric features of the assembly design, the bent angle of the spindle of the mud motor as to its body, the number of the stabilizers and the location of their installation, the borehole inclination angle, the physical and mechanical characteristics of the subsurface rock that forms it. The authors calculated the energy consumption for rotation and the axial displacement of the assemblies in the directional well taking into account the deflection forces on the bit and the reaction on the stabilizers. The researchers suggest the use of the indicator of specific energy costs to overcome the forces and moments of the environment resistance during the work of the directional assemblies using the method of combined drilling.

Using the results of analytical research and the developed approach the authors study energy costs for the work of the directional bottom hole assemblies with a various number of the stabilizers. The study is conducted for the slick assemblies, as well as for assemblies with one- and two-stabilizers. It is established that directional assemblies with one stabilizer are characterized by the highest values of the forces of resistance of axial displacement and rotation in the directional well. As they are high-torque, energy-consuming and the most energy-intensive systems, their practical use is limited. The main factors in the formation of energy costs for the work of directional assemblies while applying the combined drilling method are the number of the stabilizers and the inclination range.

Key words: bottom hole assembly, energy costs, axial displacement of the assembly, rotation of the assembly, milling of the well walls, deflection force, bent angle, inclination well, bit.

Вступ. Споживання енергії в світовому об'ємі оцінюється витратами умовного палива в нафтовому еквіваленті. При цьому домінуючими джерелами енергії є нафта і газ, оскільки світові технології, в основному, спроектовано під них. До переліку найбільш енерговитратних держав світу відноситься Україна. Це обумовлено тим, що практично у всіх галузях промисловості та народного господарства використовується морально застаріле і енергоємне обладнання та технології його експлуатації. Ця бага-

тофакторна проблема обумовлює потребу в модернізації всіх галузей промисловості (в тому числі і нафтогазової) та переходу на енергоефективну техніку та технології. В нафтогазовидобувній промисловості це вбачається в розробці перспективних нафтогазових покладів на суші і морі.

Характерною особливістю нафтових і газових родовищ України є суттєва виснаженість основних та наявність великої кількості залишкових запасів вуглеводнів у слабкодренуваних і

важкодоступних зонах (болота, заплави, водойми, гірський рельєф тощо). Для їх розробки необхідним є спорудження похило-скерованих (ПСС) і горизонтальних свердловин (ГС) із застосуванням вискоелективного техніко-технологічного забезпечення – компоновок низу бурильної колони (КНБК).

Аналіз стану проблеми досліджень. Аналіз опублікованих праць [1-3 та ін.] за даним напрямком розкриває широкий спектр проблем управління параметрами проектного профілю з використанням КНБК для орієнтованого і неорієнтованого роторного та турбінного способів буріння. Проте при спорудженні ПСС і ГС здебільшого використовують їх неорієнтовані конструкції, незалежно від способу буріння. Більшість відомих орієнтованих систем скерованого буріння свердловин є конструктивно складнішими за свій прототип, а технологія буріння з ними розрахована на використання вибійних двигунів.

Проте сьогодні існують вибійні системи і технології скерованого буріння свердловин [4], застосування яких відбувається в умовах суміщеного способу. КНБК при цьому стають слабко керованими і не можуть повноцінно забезпечувати параметри проектного профілю. Шляхом аналізу промислових і наукових матеріалів [1-5 та ін.] встановлено низку упущень в підходах до їх проектування і вибору при відповідних техніко-технологічних параметрах експлуатації в ПСС і ГС. Тому метою дослідження, яке реалізується даній публікації, є вдосконалення математичної моделі орієнтованої КНБК шляхом врахування у ній конструктивних і техніко-технологічних параметрів процесу управління траєкторією буріння. Для цього необхідним є реалізація таких завдань:

- дослідження умов взаємодії елементів орієнтованої КНБК з вибоєм та стінками свердловини;
- оцінка енерговитрат контактної взаємодії їх елементів з гірською породою стовбура;
- встановлення енергоефективних конструкцій компоновок [5-7 та ін.].

Для реалізації поставлених цілей дослідження пропонується до розгляду класична аналітично-розрахункова схема взаємодії елементів КНБК із стінками свердловини, яка зображена на рис. 1, а і відповідає кільком варіантам їх технологічного призначення з врахуванням процесу каверноутворення: стабілізаційна система (рис. 1, в); система для набору (рис. 1, б) і спаду (рис. 1, г) зенітного кута (рис. 1, г) [7 та ін.]. Базовою при цьому слід

вважати схему, зображену на рис. 1, а, для якої стінка свердловини приймається в початковому положенні прямолінійною і не має ерозійних виробок. Для неї характерними ознаками є відсутність проектно-розрахункового радіального зазору на долоті ($\Delta q = 0$) та очікуване його значення на ОЦЕ ($\Delta_{оце} > 0$). При наборі зенітного кута (рис. 1, а) для КНБК характерними є: $\Delta q_1 = 0$ – у місці встановлення долота та $\Delta_{оце} > 0$ – на ОЦЕ, що встановлений на відстані l_1 від долота.

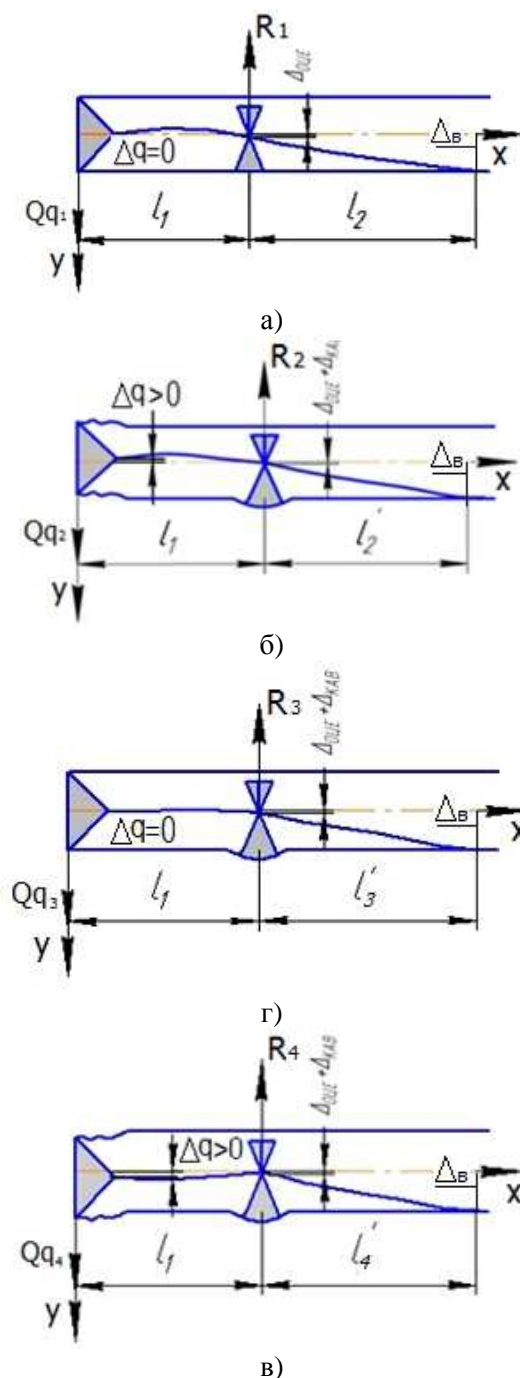


Рисунок 1 – Схема формування ерозійних виробок елементами КНБК

Конструктивно передбачено, що в умовах буріння ПСС чи ГС під дією поперечної ваги компоновки ОЦЕ притискається до нижньої стінки свердловини з силою R_i . Долото за цих умов може бути притиснуте до верхньої чи нижньої стінок свердловини силою Qq_i . Внаслідок обертання бурильна колона з ОЦЕ фрезує гірську породу (рис. 1, б). При цьому на долоті з'являються відповідні радіальні зазори $-\Delta q$, а на ОЦЕ $-\Delta_{ОЦЕ} + \Delta_{КАВ}$ (де $\Delta_{КАВ}$ – глибина каверни). Це зумовлює зменшення величини l_2 до l_2' і зміну Qq_1 до Qq_2 , а R_1 до R_2 , а також призводить до зміни інтенсивності викривлення стовбура свердловини. На рис. 1, в) зображено стабілізаційну КНБК, для якої $Qq_3 \approx 0$, однак за рахунок сили притискання ОЦЕ до стінки свердловини R_3 під час обертання БК відбувається формування на ній каверн, що зумовлює зміну l_2 до l_3' , а Qq_2 до Qq_3 (рис. 1, в) і перехід КНБК від стабілізаційної у випрямляючу (рис. 1, г).

Для випрямляючої КНБК характерною буде аналітично-розрахункова схема, яка зображена на рис. 1, г. Для неї імовірним є фрезування гірської породи тільки по нижній стінці свердловини як долотом (під дією відхиляючого зусилля на долоті $Qq_4 \geq 0$) так і ОЦЕ (під дією сили R_4).

За цих умов, обертаючись, втиснуті в стінку елементи КНБК зрізають шар гірської породи товщиною h . Так відбувається формування ерозійних виробок глибиною Z , що призводить до розширення стовбура свердловини на величину коефіцієнта кавернозності (рис. 2).

Згідно з розрахунковою схемою (рис. 2) площа виробки на стінках свердловини визначається [5] з виразу:

$$S_{вир} = \frac{D_{ОЦЕ}^2}{4} \left[\pi - \frac{2\gamma - \sin(2\gamma)}{2} \right] - \frac{D_{ДОЛ}^2 (2\Delta - \sin(2\Delta))}{8}, \quad (1)$$

де $D_{ОЦЕ}$ і $D_{ДОЛ}$ – діаметри ОЦЕ і долота;

Δ і γ – величини кутів, які отримуються за відповідними залежностями [5 та ін.]:

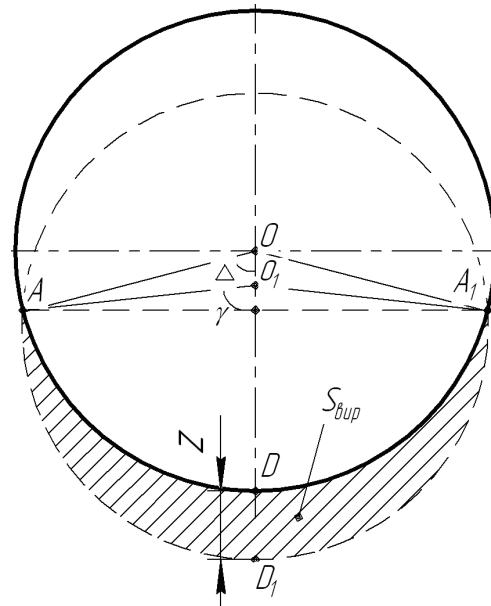


Рисунок 2 – Розрахункова схема формування каверни на стінці свердловини елементами КНБК

$$\Delta = \arccos \left[\frac{D_{ДОЛ} - D_{ОЦЕ} + 2Z}{2D_{ОЦЕ}} \right] \quad (2)$$

$$\gamma = \arccos \left[\frac{D_{ДОЛ} - D_{ОЦЕ} + 2Z}{2D_{ДОЛ}} \right]$$

За цих умов коефіцієнт кавернозності на стінках свердловини, згідно [5] описується формулою:

$$K_{КАВ} = \frac{4S_{ВИР} + \pi D_{ДОЛ}^2}{\pi D_{ДОЛ}^2}. \quad (3)$$

Із врахуванням сил тертя між лопаттю ОЦЕ і стінкою свердловини в процесі різання гірської породи відбувається зниження крутного моменту, який не передається до долота, а витрачається на фрезування стінки свердловини (рис. 3).

Це, в свою чергу, призводить до появи додаткових (непродуктивних) затрат енергії на фрезування або ерозійне руйнування стінки свердловини [5, 6]:

Однією із причин зниження коефіцієнта корисної дії на долоті є опір осьовому переміщенню КНБК у стовбурі свердловини, на подолання якого і витрачається частина енергії [6 та ін.]:

$$\Delta E_{опi}(Q, R_i) = \sum_{i=1}^n (F_{O_i} \Delta h + \mu R_i), \quad (4)$$

де F_{O_i} – сила опору осьовому переміщенню КНБК у свердловині (рис. 3);

Δh – довжина інтервалу буріння за один оберт долота;

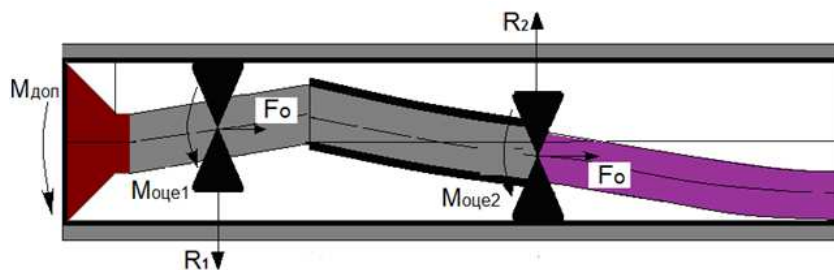


Рисунок 3 – Розрахункова схема енерговитратності орієнтованих КНБК

μ – коефіцієнт тертя ОЦЕ до стінки свердловини;

n – кількість ОЦЕ в КНБК.

На подолання опору тертя під час обертання орієнтованої КНБК в стовбурі свердловини також витрачається енергія, яка визначається відповідно до [6]:

$$\Delta E_{об_i}(Q, R_i) = 2\pi (M_{ДОЛ} + \sum_{i=1}^n M_{ОЦЕ_i}), \quad (5)$$

де $M_{ДОЛ}$ – моменти опору обертання долота;

$M_{ОЦЕ}$ – моменти опору обертання ОЦЕ, (рис. 3).

Сумарні енергетичні витрати на подолання опору зовнішнього середовища під час роботи орієнтованих КНБК визначаються з виразу [6]:

$$E_{\Sigma}(Q, R_i) = \sum_i^j (\Delta E_{op_i}(Q, R_i) + \Delta E_{об_i}(Q, R_i)), \quad (6)$$

де j - кількість обертів долота в процесі буріння стовбура свердловини Δh .

Визначальними чинниками формування параметрів F_{O_i} , $M_{ДОЛ}$ та $M_{ОЦЕ_i}$ є сили R_i та Q , [7]. Для їх визначення необхідною умовою є використання відповідних математичних моделей орієнтованих КНБК із різною кількістю ОЦЕ [6-8].

Для можливості реалізації представлених розрахункових схем орієнтованих КНБК [9, 10] в умовах викривленого стовбура свердловини радіусом R_{CB} пропонується враховувати величину радіального зазору $\Delta_{ОЦЕ}$ в місці встановлення ОЦЕ та у верхній точці контакту КНБК із стінкою Δ_B , які, відповідно до формулювань роботи [6], визначаються з виразу:

$$\Delta_{ОЦЕ} = - \left[2R_{CB} \left(\sin \left(\frac{l_{ОЦЕ}}{(2R_{CB} + D_{ОЦЕ})} \right) \right)^2 + \left[\frac{D_{ОЦЕ}}{2} \right] \times \left[\cos \left(\frac{2l_{ОЦЕ}}{(2R_{CB} + D_{ОЦЕ})} \right) \right]^{-1} \right], \quad (7)$$

де $l_{ОЦЕ}$ – відстань від долота до місця встановлення ОЦЕ в КНБК.

$$\Delta_B = \left[2R_{CB} \left(\sin \left(\frac{J}{2} \right) \right)^2 + \frac{D_{КНБК}}{2 \cos(J)} \right], \quad (8)$$

де $J = y'(x)$ – кут між дотичною до стінки викривленої частини свердловини у верхній точці контактування із нею ОБТ [6 та н.];

$D_{КНБК}$ – діаметр елемента КНБК у верхній точці їх контактування зі стінкою свердловини.

Для визначення величини F_{O_i} пропонується до використання умова піддатливості стінки свердловини на глибину Δ_i під дією втискання в неї ОЦЕ, що розглядається в роботах [5, 8 та ін.]:

$$\Delta_i = \frac{R_i}{n_{nl} b_{nl} K l_{nl}}, \quad (9)$$

де n_{nl} , b_{nl} , l_{nl} – відповідно кількість, ширина і довжина лопаті на ОЦЕ;

K – коефіцієнт піддатливості стінки свердловини:

$$K = 2,46 \cdot 10^{-3} \cdot \left[\frac{b_{nl}}{2S} \right]^{1,32} \left[\frac{E_0}{b_{nl} (1-\nu^2)} \right], \quad (10)$$

де S – пружна характеристика ГП [5, 8 та ін.]:

$$S = \sqrt[3]{\frac{2(1-\nu)EI}{b_{nl} E_0}}, \quad (11)$$

де ν і E_0 – коефіцієнт Пуасона і модуль пружності гірської породи.

Сила опору при сколюванні гірської породи ОЦЕ визначається за формулою:

$$F_{O_i} = \sigma_{СК} S_{PIZ_i}, \quad (12)$$

де $\sigma_{СК}$ – межа міцності гірської породи на сколювання;

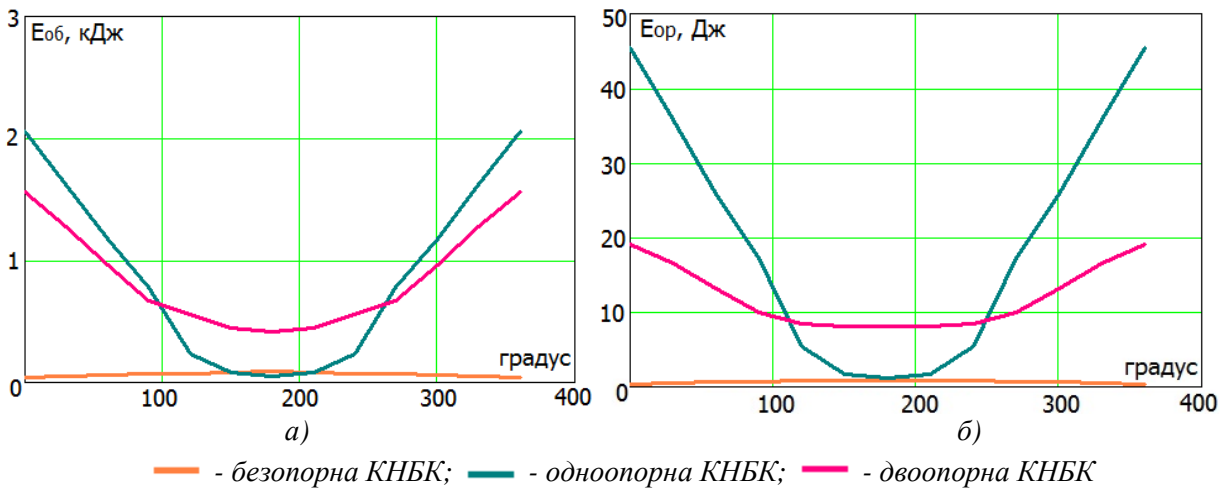
S_{PIZ_i} – площа різання ОЦЕ гірської породи, яка при осьовому переміщенні і обертанні КНБК відповідно визначається:

$$S_{PIZ_i} = b_{nl} \Delta_i, \quad (13)$$

$$S_{PIZ_i} = l_{nl} \Delta_i. \quad (14)$$

Таблиця 1 – Вихідні дані для розрахунку енерговитратності орієнтованих КНБК

$b_{ПЛ}$, м	$l_{ПЛ}$, м	$n_{ПЛ}$, шт	ν	$\sigma_{СК}$, МПа	μ	E_0 , Па
0,04	0,3	4	0,25	20	0,3	$(0,8-1,2) \times 10^{11}$



Риснок 4 – Енергетичні характеристики КНБК з різною кількістю ОЦЕ

при її обертанні і осьовому переміщенні в стовбурі свердловини ($P = 8 \text{ т}$; $\alpha = 80^\circ$)

Із врахуванням вищенаведеного моменти опору $M_{ОЦЕ_i}$ та $M_{дол}$ при обертанні КНБК навколо її осі визначаються з залежностей:

$$M_{ОЦЕ_i} = \frac{D_{ОЦЕ_i}}{2} [\mu R_i + F_{O_i}]; \quad (15)$$

$$M_{дол} = \frac{\mu Q D_d}{2}. \quad (16)$$

Критеріальною оцінкою енергоефективності КНБК під час її роботи є величина питомих енергетичних витрат на подолання опору зовнішнього середовища:

$$\varepsilon = \frac{E_{\Sigma} (Q, R_i)}{L_{КНБК}}, \quad (17)$$

де $L_{КНБК}$ – загальна довжина КНБК.

Для кількісної і якісної оцінки впливу конструктивних і техніко-технологічних параметрів на енерговитратність роботи орієнтованих КНБК у стовбурі ПСС і ГС проводилися аналітичні дослідження з використанням відповідних розрахункових параметрів, які наведені в табл. 1.

За результатами проведених досліджень встановлено, що збільшення кількості ОЦЕ в складі орієнтованої КНБК викликає різке зростання енергетичних витрат як при їх обертанні, так і при осьовому переміщенні ОЦЕ, (рис. 4). При цьому використання безопорної КНБК характеризується значно нижчими показниками енергетичних витрат у порівнянні з опорними конструкціями.

На особливу увагу при цьому заслуговує однопорна орієнтована компоновка, в якій при однакових кутах повороту навколо осі свердловини енергозатрати на обертання і осьове переміщення є значно вищими, ніж в безопорній та двоопорній систем, (рис. 5). Внаслідок дії жорсткого плеча довжиною 0,66 м (відстань від долота до встановленого ОЦЕ) і довгомірною важеля (від ОЦЕ діаметром 212 до контакту ВД зі стінкою свердловини) довжиною від 5 до 16,5 м (при провороті від 0° до 360°) відбувається суттєве збільшення відхиляючого зусилля на долоті і реакцій на ОЦЕ (ефект защемлення), що і призводить до зростання величин $\Delta E_{op_i} (Q, R_i)$, $\Delta E_{об_i} (Q, R_i)$ і ε (рис. 4 і 5).

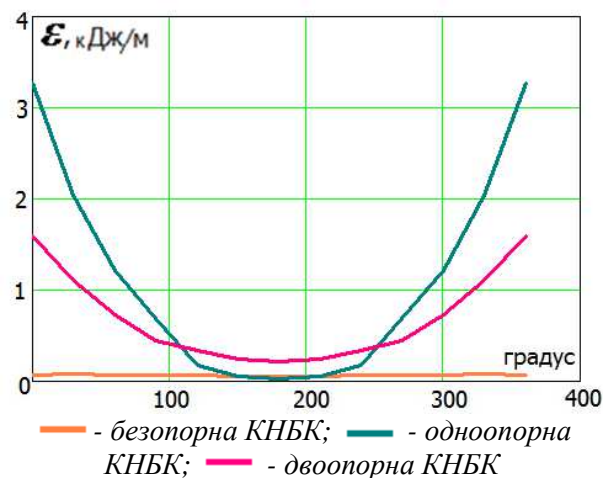


Рисунок 5 – Енергоємність КНБК з різною кількістю ОЦЕ ($P = 8 \text{ т}$; $\alpha = 80^\circ$)

Література

За таких умов виникають ризики отримати защемлення (зависання) компоновки в стовбурі свердловини. При суміщеному способі буріння це буде сприяти появі «баклінг» ефекту, що суттєво обмежить використання одноопорних орієнтованих КНБК. Для двоопорної КНБК за рахунок нижнього жорсткого плеча довжиною 0,66 м (відстань від долота до середини встановленого ОЦЕ) і фіксованого по довжині 9,2 м важеля між ОЦЕ буде спостерігатися збільшення відхиляючого зусилля на долоті і реакцій на ОЦЕ, про те воно буде меншим, ніж для одноопорної компоновки.

Внаслідок цього енергетичні показники двоопорної орієнтованої компоновки зростають не так екстремально, і ризик її заклинювання в стовбурі свердловини, в порівнянні з одноопорною, є меншим. Це розширює умови використання двоопорних орієнтованих компоновок як за стабілізуючими показниками, так і за величиною енергопередачі до долота.

На основі отриманих результатів дослідження встановлено:

1. Основними чинниками створення питомих енергетичних затрат на роботу орієнтованих КНБК при суміщеному способі буріння є кількість, діаметр і місце встановлення ОЦЕ, величина зенітного кута стовбура свердловини і фізико-механічні характеристики гірської породи, яка його формує.

2. Безопорні орієнтовані КНБК є найбільш енергоефективними серед існуючих опорних прототипів. Проте, їх застосування в умовах ПСС чи ГС є обмеженим через неефективне використання при бурінні інтервалів стабілізації і набору зенітного кута.

3. Одноопорні орієнтовані КНБК характеризуються високими значеннями сил опору осьовому переміщенню при суміщеному способі буріння, що теоретично обмежує її практичне використання як високомоментних, енергозатратних систем.

4. Для якісного управління параметрами проектного профілю і зниження енергетичних затрат на цей процес з використанням орієнтованих КНБК при суміщеному способі буріння пропонуються конструкції з двома опорно-центрувальними елементами.

5. Використання в математичних моделях критерію енергоефективності покращує кількісні і якісні показники проектування і вибору конструкцій орієнтованих КНБК при відповідних режимно-технологічних параметрах процесу.

1 Гилязов Р.М. Бурение нефтяных и газовых скважин с боковыми стволами. – М.: ООО «Недра-Бизнесцентр», 2002. – 253 с.

2 Гречин Е. Г. Разработка и исследование методов проектирования и работы неориентированных компоновок низа буровой колонны: автореф. дис. на соиск. науч. ст. д-ра технических наук: спец. 25.00.15. «Технология бурения и освоения скважин» / Е. Г. Гречин. – Тюмень: Тюменский государственный нефтегазовый университет, 2009. – 47 с.

3 Офіційний сайт компанії «National Oilwell Varco» (NOV), обладнання Proshot: https://www.nov.com/Segments/Wellbore_Technologies/ReedHycalog/Directional_Measurment_and_Steerable_Technologies/Directional_Systems/Tele_drift_ProShot.aspx.

4 Григулецкий В. Г. Проектирование компоновок нижней части буровой колонны [Текст] / В. Г. Григулецкий, В. Т. Лукьянов. – М.: Недра, 1990. – 304 с.

5 Чудик І. І. Врахування каверно- і жолобоутворення при проектуванні неорієнтованих КНБК [Текст] / І. І. Чудик, А. А. Юрич, А. А. Козлов // Розвідка та розробка нафтових і газових родовищ. – 2007. – № 2(23). – С. 45-50.

6 Чудик І. І. Узагальнена методика розрахунку енергетичних витрат при роботі неорієнтованих компоновок низу бурової колони для роторного способу буріння [Текст] / І. І. Чудик // Науковий вісник ІФНТУНГ. – 2013. – № 2(35). – С. 121-128.

7 Чудик І. І. Вплив кривизни стовбура свердловини на статичні форми рівноваги неорієнтованих КНБК / І. І. Чудик, А. А. Козлов // Науковий вісник ІФНТУНГ. – 2006. – № 1(13). – С. 50-54.

8 Чудик І. І. Удосконалення методики розрахунку сил притискання опор неорієнтованих КНБК до стінок свердловини [Текст] / І. І. Чудик // Розвідка та розробка нафтових і газових родовищ. – 2008. – № 3(28). – С. 35-41.

9 Чудик І. І. Розширення технологічних можливостей орієнтованих компоновок низу бурової колони / І.І. Чудик, А.М. Лівінський, І. Я. Білецька // Науковий вісник. – 2017. – № 2(43). – С. 26-32.

10 Чудик І.І. Вивчення технологічних можливостей орієнтованих опорних компоновок низу бурової колони / І.І. Чудик, А.М. Лівінський // Розвідка та розробка нафтових і газових родовищ. – 2017. – № 3(64). – С. 31-39.

REFERENCES

- 1 Gilyazov R.M., Burenie neftyanykh i gazovykh skvazhin s bokovymi stvolami. M.: OOO «Nedra-Biznescentr», 2002. 253 p.
- 2 Grechin E. G. Razrabotka i issledovanie metodov proektirovaniya i raboty neorientiruemykh komponovok niza buril'noj kolonny: avtoref. dis. na soisk. nauch. st. d-ra tekhnicheskikh nauk: specz. 25.00.15. "Tekhnologiya bureniya i osvoeniya skvazhin" / E. G. Grechin, Tyumen': Tyumenskij gosudarstvennyj neftegazovyj universitet. Tyumen', 2009. 47 p.
- 3 Ofitsiyni sait kompanii «National Oilwell Varco» (NOV), obladnannia Proshot: https://www.nov.com/Segments/Wellbore_Technologies/ReedHycalog/Directional_Measurment_and_Sterable_Technologies/Directional_Systems/Tele_drift_ProShot.aspx.
- 4 Griguleczkij V. G. Proektirovanie komponovok nizhnej chasti buril'noj kolonny [Tekst] / V. G. Griguleczkij, V. T. Luk'yanov. M.: Nedra, 1990. 304 p.
- 5 Chudyk I. I. Vrakhuvannia kaverno- i zholoboutvorennia pry proektuvanni neorientovanykh KNBK [Tekst] / I. I. Chudyk, A. A. Yurych, A. A. Kozlov // Prospecting and Development of Oil and Gas Fields. 2007. No 2(23). pp. 45-50.
- 6 Chudyk I. I. Generalized method of calculating energy expenditure at work undirected bottom of the drill string configurations for rotary drilling method [Tekst] / I. I. Chudyk // Scientific Bulletin of Ivano-Frankivsk National Technical University of Oil and Gas. 2013. No 2(35). pp. 121-128.
- 7 Chudyk I. I. Vplyv kryvyzny stovbura sverdlovyny na statychni formy rivnovahy neoriientovanykh KNBK / I. I. Chudyk, A. A. Kozlov // Scientific Bulletin of Ivano-Frankivsk National Technical University of Oil and Gas. 2006. No 1(13). pp. 50-54.
- 8 Chudyk I. I. Udoskonalennia metodyky rozrakhunku syl prytyskannia opor neoriientovanykh KNBK do stinok sverdlovyny [Tekst] / I. I. Chudyk // Prospecting and Development of Oil and Gas Fields. 2008. No 3(28). pp. 35-41.
- 9 Chudyk I.I. Enhancement of processing capabilities of oriented bottomhole assemblies / I.I. Chudyk, A.M. Livinskyi, I. Ya. Biletska// Scientific Bulletin of Ivano-Frankivsk National Technical University of Oil and Gas. 2017. No 2(43). pp. 26-32.
- 10 Chudyk I.I. The study of the engineering capabilities of supported oriented bottom hole assemblies / I.I. Chudyk, A.M. Livinskyi // Prospecting and Development of Oil and Gas Fields. 2017. No 3(64). pp. 31-39.