

підрахунку запасів, або під час оперативної інтерпретації для встановлення положення ГНК в сусідніх свердловинах.

### Література

1 Физические основы импульсных нейтронных методов исследования скважин / Ю.С.Шимелевич, С.А.Кантор, А.С.Школьников и др. – М.: Недра, 1976. – 186 с.

2 Резванов Р.А. Радиоактивные и другие неэлектрические методы исследования скважин. – М.: Недра, 1982. – 183 с.

3 Методические указания по проведению нейтронного и гамма-каротажа в нефтяных и газовых скважинах аппаратурой СРК и обработке результатов измерений / Хаматдинов Р.Т., Еникеева Ф.Х., Велижанин В.А. и др. – Калинин: Изд. НПО «Союзпромгеофизика», 1989. – 81 с.

4 Методическое руководство по проведению и обработке данных повторного радиоактивного каротажа нефтяных и газовых скважин. – М.: Изд. ОНТИ, ВНИИЯГГ, 1982. – 123 с.

УДК 622.243.57

## ВИЗНАЧЕННЯ ПОПЕРЕЧНОЇ РЕАКЦІЇ ВИБОЮ У ПРОЦЕСІ БУРІННЯ ПОХИЛО-СПРЯМОВАНИХ І ГОРИЗОНТАЛЬНИХ СВЕРДЛОВИН З ВІДБОРОМ КЕРНА

<sup>1</sup> Я.В.Кунцяк, <sup>2</sup> О.М. Лев

<sup>1</sup> ЗАТ „НДІ КБ БІ”, м. Київ, тел. (044) 4442089, e-mail: [ndikbbi@bk.ru](mailto:ndikbbi@bk.ru)

<sup>2</sup> ІФНТУНГ, 76019, Івано-Франківськ, вул. Карпатська, 15, тел. (0342) 507626, e-mail: [public@nung.edu.ua](mailto:public@nung.edu.ua)

*Предложена математическая модель конструкции бурильной колонны для отбора керна в наклонно-направленных и горизонтальных скважинах. На основании этой модели разработана компьютерная программа и конструкция керноприёмного устройства. Промышленные испытания данного керноприёмного устройства проводились на скважинах АО "Татнефть" и ОАО "Укрнефть".*

*The mathematical model of construction of the drilling column for a selection of kern in the inclined-directed and horizontal boring wells is offered. Based on this model, the computer program and construction of the sampling device are elaborated. The industrial tests of this sampling device were conducted at Olli fields of JSC "Tatnafta" and OJSC "Ukrnfta".*

**Постановка проблеми.** Світовий досвід розвитку нафтогазової промисловості достатньо наочно підтверджує ефективність використання похило-спрямованих та горизонтальних свердловин (ГС) для виснаження родовищ. Для вибору раціонального методу розробки покладу необхідно володіти достовірною інформацією про петрофізичні та ємнісні властивості колектора. Як відомо, найбільш ефективним та достовірним джерелом такої інформації є керновий матеріал.

Під час відбору керна в ГС, особливо у випадку значної протяжності горизонтальних ділянок, виникає проблема стабілізації зенітного кута осі свердловини. Процес відриву керна передбачає наприкінці кожного рейсу буріння без навантаження (так звану „підрізки”). Залежно від фізичних властивостей гірської породи, що становить інтервал відбору керна, ця технологічна операція триває 20-30 хв. В похило-спрямованих та горизонтальних свердловинах під дією гравітації бурильна головка „лягає” на „нижню” стінку свердловини, що призводить до її посиленого фрезерування під час „підрізки”. Надалі це може спричинити поступове падіння зенітного кута свердловини. Коли інтервал від-

бору керна має протяжність понад 20 м і відбір проводиться великою кількістю рейсів, падіння зенітного кута свердловини може бути значним.

З метою запобігання фрезерування нижнього сектора стінки свердловини бурильною головкою в КНБК включають центруючі елементи, котрі встановлюють на корпусі керноприймального пристрою. В практиці буріння без відбору керна застосовують цілу низку стабілізуючих компоновок, що дає позитивні результати, але для буріння з відбором керна вони непридатні.

Оскільки корпус керноприймального пристрою обертається разом з бурильною головкою, встановлення центраторів на ньому призведе до виникнення небажаних поперечних зусиль (відхиляючих складових). З огляду на це, необхідно встановлювати на керноприймальний пристрій так званий „плаваючий” центратор, конструкція якого передбачає вільне обертання центруючого елемента на корпусі і розташувати його варто на такій відстані від долота, за якої поперечна реакція вибою дорівнювала б нулю.

Таблиця 1 – Типова компоновка при відборі керну

Тип ПКГ	Тип ГВД	Тип телеметричної системи	Діаметр, мм		Довжина, м		
			бурильної головки типу ИСМ	плаваючого центратора	ПКГ	ГВД	ГУОБИТ
172/100	Д-172	ГУОБИТ-172	212,7	210,0	6,0	5,66	9,0

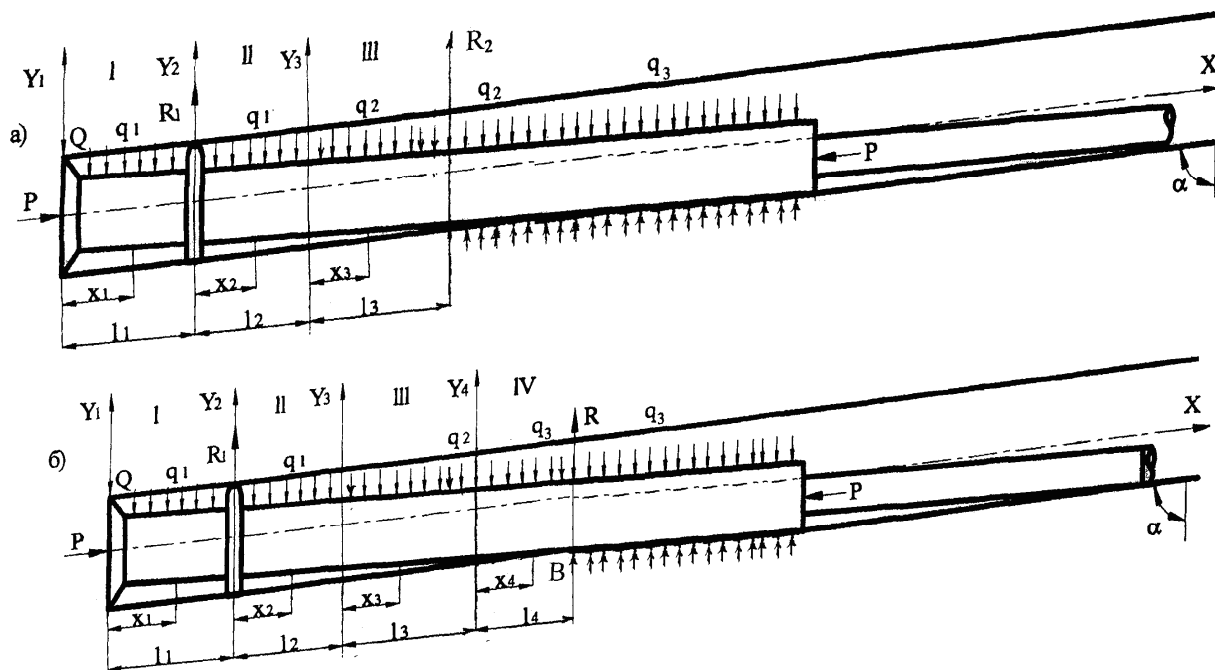


Рисунок 1 — Розрахункові схеми (до розв’язку задачі по визначенню поперечної реакції вибою)

**Аналіз досліджень і публікацій по даній проблемі.** На сьогодні існує велика кількість математичних моделей стабілізуючих компоновок для буріння без відбору керну. Основною проблемою є визначення поперечних зусиль для різних компоновок низу бурильної колони. Найбільш відповідною для вирішення нашої проблеми є модель, що описує буріння з використанням гідравлічних вибійних двигунів (ГВД) [1], але і вона недостатньо точно інтерпретує процеси, що відбуваються у ході відбору керну. Вирішення даного завдання був запропонований в [2], але тут недоліком всіх розрахункових схем було те, що в компоновку колони не було включено телеметричної системи, яка дає можливість спостерігати за стабілізацією зенітного кута свердловини. В даній роботі цей недолік було усунуто шляхом включення в компоновку колони (після ГВД) телеметричної системи.

**Мета статті (постановка задачі).** Метою статті є створення математичної моделі конструкції бурильної колони для відбору керну в похило-спрямованих і горизонтальних свердловинах. На основі цієї моделі слід розробити комп’ютерну програму, яка б дала можливість визначити реакції вибою для різних компоновок, і на основі одержаних результатів створити оптимальну конструкцію керноприймального пристрою.

**Основна частина.** Розглянемо випадки, коли буріння здійснюється з застосуванням гідравлічних вибійних двигунів (ГВД), керноприймальних пристроїв (ПКГ) і телеметричної системи. В таблиці 1 подано один з варіантів компоновки низу бурильної колони, що застосовуються в процесі відбору керна в похило-спрямованих та горизонтальних свердловинах.

Розглянемо випадок, коли колона лягає на стінку свердловини ГВД. Розрахункова схема для цього випадку зображена на рис. 1, а. Диференціальні рівняння пружної лінії колони на I, II, III ділянках мають вигляд:

$$EI_1 \frac{d^2 y_1}{dx_1^2} = -Py_1 - Qx_1 - \frac{1}{2} q_1 x_1^2; \quad (1)$$

$$EI_1 \frac{d^2 y_2}{dx_2^2} = -Py_2 - Q(l_1 + x_2) + R_1 x_2 - \frac{1}{2} q_1 (l_1 + x_2)^2; \quad (2)$$

$$EI_2 \frac{d^2 y_3}{dx_3^2} = -Py_3 - Q(l_1 + l_2 + x_3) - q_1 (l_1 + l_2) \times \left( \frac{l_1 + l_2}{2} + x_3 \right) + R_1 (l_2 + x_3) - \frac{1}{2} q_2 x_3^2. \quad (3)$$

Розв'язки цих рівнянь:

$$y_1 = A_1 \sin k_1 x_1 + A_2 \cos k_1 x_1 - \frac{Qx_1}{P} - \frac{q_1 x_1^2}{2P} + \frac{q_1}{k_1^2 P}; \quad (4)$$

$$y_2 = C_1 \sin k_1 x_2 + C_2 \cos k_1 x_2 - \frac{q_1 x_2^2}{2P} + \frac{1}{P}(R_1 - q_1 l_1 - Q)x_2 - \frac{Ql_1}{P} - \frac{q_1 l_1^2}{2P} + \frac{q_1}{k_1^2 P}; \quad (5)$$

$$y_3 = B_1 \sin k_2 x_3 + B_2 \cos k_2 x_3 - \frac{q_2 x_3^2}{2P} + \frac{R_1 - Q - q_1(l_1 + l_2)}{P} x_3 - \frac{Q(l_1 + l_2)}{P} + \frac{R_1 l_2}{P} - \frac{q_1(l_1 + l_2)^2}{2P} + \frac{q_2}{k_2^2 P}, \quad (6)$$

де:  $EI_1, EI_2$  – відповідно жорсткість ПКГ і ГВД;  $q_1, q_2$  – поперечні складові від ваги одиниці довжини ПКГ і ГВД;  $P$  – осьове навантаження на бурильну головку;  $Q$  – поперечна реакція вибою;  $R_1$  – реакція стінки свердловини в точці контакту з центратором;  $l_1$  – відстань від долота до центратора;  $l_2$  – відстань від центратора до ГВД;  $l_3$  – відстань від початку ГВД до точки дотику ГВД із стінкою свердловини.

$$k_1 = \sqrt{\frac{P}{EI_1}}; \quad k_2 = \sqrt{\frac{P}{EI_2}}. \quad (7)$$

Довільні сталі  $A_1, A_2, C_1, C_2, B_1, B_2$  – довжина  $l_3$  і реакції  $Q, R_1$  визначаються з граничних умов.

Граничні умови на кінцях і в точках спряження ділянок мають вигляд:

$$y_1 \Big|_{x_1=0} = 0; \quad \frac{d^2 y_1}{dx_1^2} \Big|_{x_1=0} = 0; \quad (8)$$

$$y_1 \Big|_{x_1=l_1} = -r_1; \quad y_2 \Big|_{x_2=0} = -r_1; \quad (9)$$

$$\frac{dy_1}{dx_1} \Big|_{x_1=l_1} = \frac{dy_2}{dx_2} \Big|_{x_2=0}; \quad (10)$$

$$y_2 \Big|_{x_2=l_2} = y_3 \Big|_{x_3=0}; \quad (11)$$

$$\frac{dy_2}{dx_2} \Big|_{x_2=l_2} = \frac{dy_3}{dx_3} \Big|_{x_3=0}; \quad (11)$$

$$\frac{dy_3}{dx_3} \Big|_{x_3=l_3} = 0; \quad \frac{d^2 y_3}{dx_3^2} \Big|_{x_3=l_3} = 0; \quad (12)$$

$$y_3 \Big|_{x_3=l_3} = -r_2, \quad (13)$$

де:  $r_1$  – радіальний проміжок між центратором і стінкою свердловини;  $r_2$  – радіальний проміжок між ГВД і стінкою свердловини.

Підставляючи (4), (5), (6) в (8-13), одержимо алгебраїчну систему рівнянь для визначення довільних сталих  $A_1, A_2, C_1, C_2, B_1, B_2$ , невідомих реакцій  $Q, R_1$  і довжини  $l_3$ . Одержана система є нелінійною системою 9-го порядку.

Детальний розв'язок такої системи за допомогою комп'ютера описаний в [2].

Так, за  $P=58,86$  кН у випадку горизонтальної свердловини ( $\alpha=90^\circ$ ) при  $l_1 \leq 3,83$  м колона лягає на свердловину ГВД. Якщо ж  $l_1 > 3,83$  м, то прогин кінця ГВД стає за модулем меншим від  $r_2$  і розрахункова схема (рис. 1, а) стає непридатною.

В цьому випадку компоновка торкається свердловини в точці В телеметричною системою ГУОБИТ-172, розташованою за ГВД. Розрахункова схема для цього випадку має 4 ділянки (рис. 1, б). Диференціальні рівняння і їх розв'язок для I, II, III ділянок залишається без змін. Для IV ділянки диференціальне рівняння пружної осі колони має вигляд:

$$EI_3 \frac{d^2 y_4}{dx_4^2} = -P y_4 - Q(l_1 + l_2 + l_3 + x_4) + R_1(l_2 + l_3 + x_4) - q_1(l_1 + l_2) \times \left( \frac{l_1 + l_2}{2} + l_3 + x_4 \right) - q_2 l_3 \left( \frac{l_3}{2} + x_4 \right) - \frac{q_3 x_4^2}{2}. \quad (14)$$

Розв'язок цього рівняння

$$y_4 = D_1 \sin k_3 x_4 + D_2 \cos k_3 x_4 - \frac{q_3 x_4^2}{2P} - \frac{Q(l_1 + l_2 + l_3)}{P} + \frac{R_1 - Q - q_1(l_1 + l_2)}{P} x_4 - \frac{q_1(l_1 + l_2)^2}{2P} - \frac{q_1 l_3(l_1 + l_2)}{P} + \frac{R_1(l_2 + l_3)}{P} - \frac{q_2 l_3^2}{2P} + \frac{q_3}{k_3^2 P}, \quad (15)$$

де:  $EI_3$  – жорсткість системи ГУОБИТ;  $q_3$  – поперечна складова від ваги одиниці довжини системи ГУОБИТ;  $l_3$  – довжина ГВД;  $l_4$  – відстань від початку системи ГУОБИТ до точки дотику її з свердловиною;

$$k_3 = \sqrt{\frac{P}{EI_3}}. \quad (16)$$

Інші позначення залишаються без змін. Довільні сталі  $A_1, A_2, C_1, C_2, B_1, B_2, D_1, D_2$ , реакції  $Q, R_1$  і довжина  $l_4$  визначаються з граничних умов. Граничні умови (8) – (11) залишаються без змін. Інші граничні умови мають вигляд:

$$y_3 \Big|_{x_3=l_3} = y_4 \Big|_{x_4=0}; \quad (17)$$

$$\frac{dy_3}{dx_3} \Big|_{x_3=l_3} = \frac{dy_4}{dx_4} \Big|_{x_4=0}; \quad (17)$$

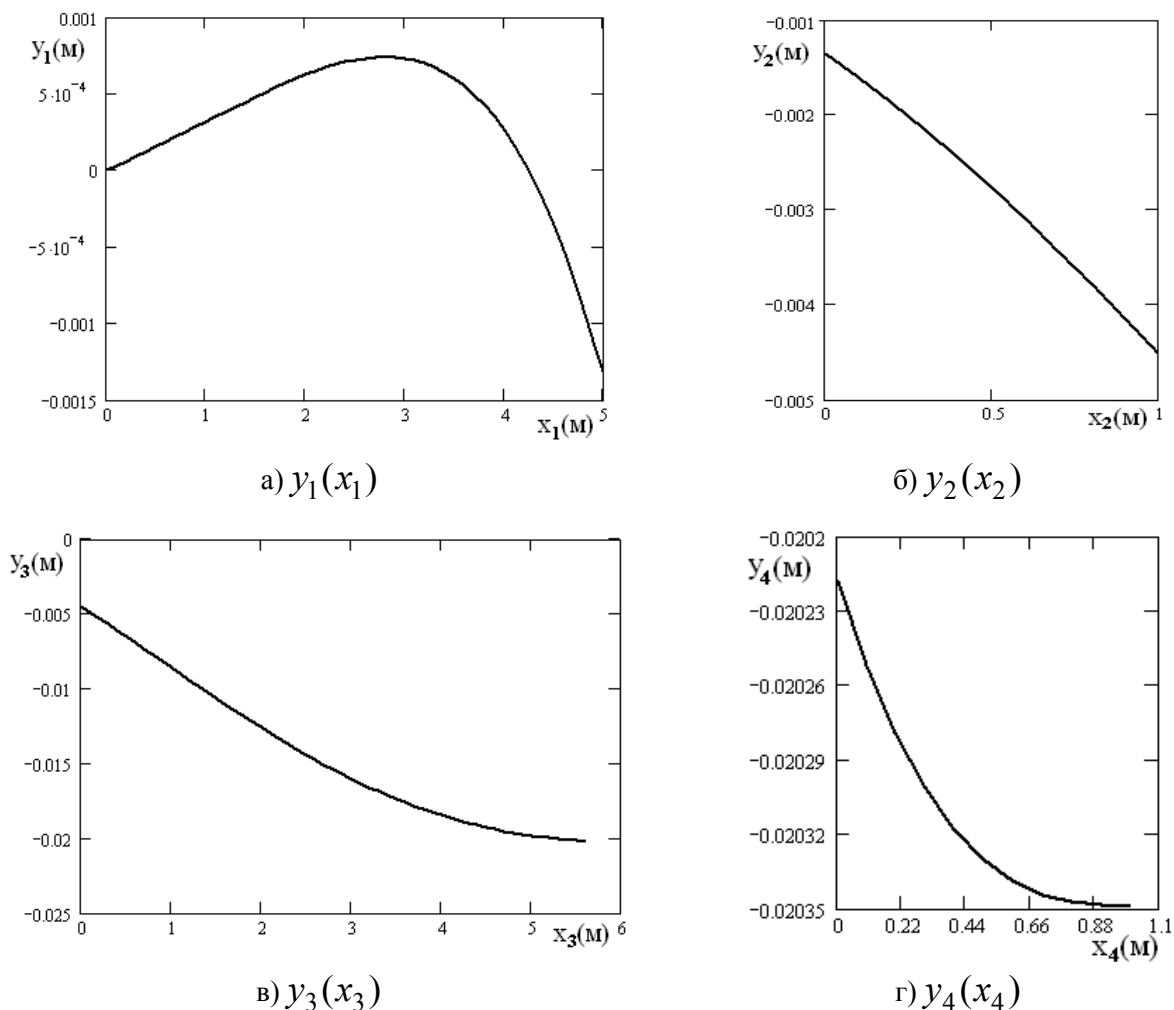


Рисунок 2 — Епюри пружної осі колони на ділянках 1-4

$$\frac{dy_4}{dx_4} \Big|_{x_4=l_4} = 0; \quad \frac{d^2y_4}{dx_4^2} \Big|_{x_4=l_4} = 0; \quad (18)$$

$$y_4(l_4) = -r_2. \quad (19)$$

Підставляючи (4), (5), (6), (15) в (8-11) і (17-19), одержимо алгебраїчну систему рівнянь для визначення довільних сталих  $A_1, A_2, C_1, C_2, B_1, B_2, D_1, D_2$ , невідомих реакцій  $Q, R_1$  і довжини  $l_4$ . Одержана система є нелінійною системою 11-го порядку. Задаючись величиною  $l_4$ , розв'язуємо лінійну систему 10-го порядку і підставляємо одержані результати в (19), яке тепер є перевірючим. Задаючись довжиною  $l_1$ , знаходимо після 2-3 спроб за допомогою комп'ютера відстань  $l_4$  і всі невідомі величини. Так, при  $P=58,86$  кН у випадку горизонтальної свердловини ( $\alpha=90^\circ$ ) для  $l_1=5$  м знаходимо, що  $l_4=1,033$  і, розв'язавши наведені системи рівнянь, знаходимо  $Q=-0,52$  кН, а також всі інші невідомі та будемо за рівняннями (4), (5), (6), (15) епюру пружної осі колони на всіх ділянках (рис. 2). З епюри видно, що колона не доторкається до стінки свердловини окрім вказаних вище точок, а, значить, розрахунок є правильним.

Розрахунки свідчать, що при  $P=58,86$  кН  $\alpha=90^\circ$  у випадку зміни  $l_1$  від 0,5 м до 5,5 м

реакція вибою  $Q$  змінюється від +13,75 кН до -0,94 кН і дорівнює 0 при  $l_1 = 4,42$  м (для цього варіанту без телеметричної системи відстань  $l_1 = 4,15$  м). Графік залежності  $Q$  від  $l_1$  зображений на рисунку 3.

Інші розрахунки свідчать, що при  $P=58,86$  кН,  $\alpha=75^\circ$   $Q=0$ , якщо  $l_1 = 4,47$  м; при  $\alpha=60^\circ$   $Q=0$  при  $l_1 = 4,59$  м; при  $\alpha=45^\circ$   $Q=0$ , при  $l_1 = 4,81$  м; при  $\alpha=30^\circ$   $Q=0$  при  $l_1 = 5,24$  м.

**Висновки з даного дослідження і перспективи подальшої роботи у даному напрямку.** Результати розрахунків підтвердили отриману в [2] залежність  $Q$  від  $l_1$ , зображену на рис. 3. Але важливим є визначення тієї відстані  $l_1$ , за якої  $Q=0$ . Розрахунки свідчать, що введення в компоновку колони ще одного пружного елемента – телеметричної системи – призводить в усіх варіантах до збільшення відстані  $l_1$ .

Крім того, на величину  $l_1$  суттєво впливає розташування осі колони відносно вертикалі. Так, у випадку зміни  $\alpha$  від  $90^\circ$  до  $30^\circ$  довжина  $l_1$  повинна змінюватись відповідно від 4,42 м до 5,24 м.

Наведене вище техніко-технологічне наукове рішення використовувалося для дослідження низки свердловин АТ "Татнафта" та ВАТ "Укрнафта". Так, на свердловині №1073<sup>Г</sup>

Чегодаївська було проведено експериментальні дослідження: в інтервалі залягання турнейських відкладів на глибині 1361-1461 м проводився суцільний відбір керн за зенітного кута 90-87° завдяки використанню керноприймального пристрою ПКГ-172/100, що містить на корпусі плаваючий центратор. Після проведення робіт з відбору керн в повному обсязі (100,0 м) було проведено геофізичні дослідження, які засвідчили: в інтервалі 1361-1430 м не спостерігалось падіння зенітного кута свердловини, а в інтервалі 1430-1461 м падіння кута склало 3°. Це пояснюється тим, що на останніх 30 метрах відбору керн зношування плаваючого центратора склало 5 мм, і тому останній повною мірою не виконував своєї функції.

Одержана методика розрахунку різних варіантів компоновок дає змогу скласти

алгоритм і оперативно розв'язувати нелінійні системи високого порядку, що уможлиблює визначення місця встановлення центратора на корпусі ПКГ, попередження виникнення поперечної складової реакції вибою, і звести до мінімуму падіння зенітного кута свердловини.

### Література

1 Султанов Б.З., Ишемгузин Н.Х., Сорочкин В.Н. Работа буровой колонны в скважине. – М.: Недра, 1973. – 216 с.

2 Лев О.М., Мрозек Р.С. Визначення місця встановлення центратора при бурінні горизонтальних свердловин з відбором керн // Науковий вісник Івано-Франківського національного технічного університету нафти і газу. – 2003. – № 1(5). – С.18-21.

УДК 539.375:539.376

## УДОСКОНАЛЕННЯ МЕТОДІВ ОЦІНКИ ТЕХНОЛОГІЧНОЇ БЕЗПЕКИ ЕКСПЛУАТУВАННЯ НАФТОГАЗОВОГО УСТАТКОВАННЯ

О.М.Карнаш, Н.Л.Тацакович

ІФНТУНГ, 76019, Івано-Франківськ, вул. Карпатська, 15, тел. (03422) 504708,  
e-mail: nasariy@nung.edu.ua

*Приведено описание основного подхода в определении остаточного ресурса металлоконструкций и главные задачи анализа технологической безопасности. Обосновано разработку комплексного метода анализа безопасности, который предусматривает кроме оценки фактического технического состояния еще и учет риска эксплуатации объекта.*

*The description of main approach in remaining life definition and main tasks of technological safety analysis are given. The development of complex method of safety analysis is grounded. This method takes into account except actual technical state evaluation also operational risk of the object.*

Стан безпеки виробничої діяльності у будь-якій сучасній державі є одним з найбільш достовірних показників рівня її економічного і соціального розвитку. Це пояснюється тим, що науково-технічний прогрес супроводжується не тільки підвищенням ефективності промислового виробництва, але й ускладненням умов гарантування безпечної виробничої діяльності. З іншої сторони, розвиток громадської свідомості відбувається у напрямку підвищення вимог до безпеки життєдіяльності. На вирішення цієї проблеми провідні держави спрямовують свій науково-технічний та інтелектуальний потенціал [1].

Особливе значення в сучасних умовах надається технологічній безпеці – захищеності життєво важливих інтересів особистості і суспільства від аварій на потенційно небезпечних виробничих об'єктах і їх наслідків. Основною метою управління промисловою безпекою є забезпечення такого її рівня на промислових об'єктах, щоб ризик виникнення аварій і випадків травматизму був б мінімальним і відповідав б сформованому на конкретному етапі

науково-технічного прогресу рівню розвитку техніки і технології [2].

Як це не прикро, але необхідно усвідомлювати той факт, що руйнування або відмови практично завжди завершують функціонування будь-якої технічної системи [3]. Особливу актуальність проблема технологічної безпеки має для підприємств нафтогазового комплексу, зокрема, гостро постає питання безпеки при експлуатації бурового устаткування, нормативний термін експлуатації якого перевищує 10 років. Більша частина устаткування, що перебуває в експлуатації, виготовлена ще до 90-х років і на даний момент відпрацювала свій розрахунково-нормативний термін експлуатації і потребує масштабної заміни. Виходом з цієї складної ситуації є проведення аналізу промислової безпеки – головним завданням якого є визначення умов продовження безпечної експлуатації устаткування в межах розрахункового залишкового ресурсу.

В Україні ситуація з наглядом за безпекою устаткування характеризується наявністю тільки документів наказового типу, які жорстко регламентують порядок проведення обстежень