

11. Ilnatov, A.A. (2015). Analiticheskoe issledovanie mehanizma deystviya ustroystva ochildki stvola skvazhini [Analytical research action mechanism device for cleaning of barrel of bore hole]. *Rock Destruction and Metal-Working Tools – Techniques and Technology of the Tool Production and Applications*, 18, 74–81 [in Russian].

УДК 550.822:622.648.2

DOI: 10.33839/2708-731X-23-1-103-114

Є.А. Коровяка, А.О. Ігнатов, кандидати технічних наук

*Національний технічний університет «Дніпровська політехніка»,
пр. Дмитра Яворницького, 19, 49027, м. Дніпро, Україна, E-mail: koroviaka.ye.a@ntu.one*

ОСОБЛИВОСТІ ГІДРОТРАНСПОРТУ ЗНІМНИХ КЕРНОПРИЙМАЧІВ

Конструктивний вибір та обґрунтування ефективної технічної та технологічної схем забійної циркуляційної ланки бурильної колони та знімного керноприймача, що забезпечують сталість процесу поглиблення свердловини з високою мірою продуктивності і економічності.

Лабораторними і аналітичними прийомами досліджено особливості динаміки циліндричних контейнерів в потоці очисного агента за умов створення зворотної схеми циркуляції та визначено швидкості відносного руху при переміщенні керноприймачів змінних довжини та діаметру в циркуляційному каналі свердловини.

На підставі ґрунтового аналізу методики визначення швидкості відносного руху циліндричних контейнерів у внутрішньому каналі бурильної колони визначено відповідну математичну модель, яка повністю характеризується вихідним фактором – середньою швидкістю потоку промивальної рідини в трубі. З урахуванням обмежувальних умов при гідравлічних розрахунках циркуляційної системи свердловини встановлено, що швидкість керноприймача-контейнера по висхідній магістралі можна визначити, вирішивши систему рівнянь, що регламентує перепади тисків, необхідних для утримання його в зваженому стані. Вивчено вплив геометричних розмірів транспортної магістралі, діаметру і довжини керноприймачів-контейнерів на швидкість їх відносного руху. Безперерійність процесу транспортування знімних керноприймачів-контейнерів забезпечується цілком визначеними інтервалами раціональних співвідношень геометричних розмірів транспортної магістралі та самих контейнерів.

Отримані результати досліджень є базовими для проектування раціональної гідравлічної програми очищення свердловин при застосуванні схеми транспортування знімних керноприймачів-контейнерів потоком рідини. Отримані математичні залежності, що характеризують процес руху контейнерів, можуть бути покладені в основу конструювання та експлуатації комплексів технічних засобів для буріння із застосуванням знімних керноприймачів.

Ключові слова: *колона бурильних труб, гідравлічні опори, відносна швидкість, перепад тиску, динаміка, свердловина, гірська порода, керноприймач.*

Постановка проблеми

Розвідувальні бурові роботи – один з ефективних способів пошуків і розвідки родовищ корисних копалин; вони мають кардинальне значення для розвитку продуктивних сил країни, забезпечення галузей народного господарства необхідними мінерально-сировинними ресурсами, для раціонального розміщення промислових підприємств [1]. Геологорозвідувальні роботи проводяться з моменту отримання перших відомостей про прояв корисних копалин і закінчуються з повною його виїмкою. Процес дослідження і освоєння родовища ставить перед геологічною розвідкою ряд задач, які і визначають характер окремих видів розвідувальних робіт. До них відносяться пошуки і розвідка корисної копалини. Пошукові роботи включають відшукування родовища, визначення його промислового значення, з'ясування технічних і економічних умов майбутніх розвідувальних робіт, вибір методу

розвідки. Межею між пошуками і розвідкою прийнято вважати момент виявлення корисних копалин в конкретних геологічних умовах. Задачами розвідки є: визначення форми і меж промислової частини і встановлення елементів залягання корисних копалин, якісна і кількісна характеристика родовища, характеристика супутніх порід [2].

При пошуках і розвідці корисних копалин буровими свердловинами одним з головних завдань є отримання керна – основного фактичного матеріалу для виявлення, вивчення і оцінки промислового потенціалу родовища. При цьому достовірність оцінки родовища тим вище, чим більше отримано керна і чим повніше він відбиває основні властивості і речовий склад пробурених порід і руд. Керн дозволяє найточніше скласти геологічний розріз, визначити умови залягання і запаси корисної копалини. Звідси видно, яку цінність для геологів і бурильників представляє керновий матеріал і геолого-технічні умови його відбору.

Аналіз останніх досліджень і публікацій

Роботи в області розвідувального буріння спрямовані в основному на забезпечення збереження керна, витягнутого з великої глибини, а основним засобом пошуків і розвідки корисних копалин і інженерно-геологічних досліджень, що дають можливість витягати із земних надр зразки гірських порід у вигляді кернів, є колонкове буріння [3].

Колонкове буріння – обертальне буріння, при якому руйнування породи здійснюється не за усією площею забою, а по кільцю із збереженням внутрішньої частини породи у вигляді керна.

Значну долю витрат часу в загальному балансі при колонковому бурінні займають спуско-підіймальні операції (СПО). Завдання їх прискорення постійно знаходиться в центрі уваги проектних і дослідницьких організацій [4].

Є декілька різних підходів до вирішення проблеми скорочення часу на допоміжні операції, серед яких можна виділити ряд важливих технологій, наприклад, застосування знімних керноприймачів, які періодично, у міру їх наповнення керном, витягаються через колону труб на канаті, що дозволяє істотно збільшити час, який витрачається власне на буріння. При використанні бурильних труб з більш пружних і гнучких матеріалів можливим є підйом колони шляхом намотування її на барабан великого діаметру або перегину колони по кривій певного радіусу для переведення в горизонтальне положення і відокремлення на секції великої довжини [5].

З упевненістю можна сказати, що зазначені технології є найбільш перспективними напрямками вдосконалення бурового устаткування, що динамічно розвиваються у світі. Абсолютно очевидно, що подальший розвиток і використання таких методів призведе до корінних змін в практиці будівництва свердловин [6].

Виділення невирішених раніше частин загальної проблеми

Характерною особливістю технічного прогресу в бурінні геологорозвідувальних свердловин є широке впровадження технологій, що дозволяють скоротити час допоміжних операцій – буріння зі знімними керноприймачами (СЗК), що дозволяє витягання керна на поверхню без підйому бурильної колони, і метод буріння з безперервним винесенням на поверхню вибуреної породи (КГК) [7].

У разі застосування СЗК керн, що поступив в знімний керноприймач, витягається на поверхню спеціальною лебідкою через колону бурильних труб, а тривалість рейсу визначається ресурсом алмазної коронки. В результаті різко прискорюється процес витягання керна, скорочується кількість непродуктивних операцій з бурильними трубами і збільшується час чистого буріння [1].

В основі технології КГК лежить метод безперервного видалення із забою вибуреного керна і транспортування його на поверхню потоком очисного агента, що забезпечується при

використанні подвійної бурильної колони, спеціальних забійних снарядів і конструкцій породоруйнівного інструменту.

Абсолютно очевидно, що вказані технології можуть бути конструктивно і технологічно об'єднані в метод буріння з транспортуванням знімного керноприймача потоком очисного агента по бурильній колоні, щоб дозволити комплексно використовувати переваги кожного з перерахованих способів буріння.

Мета статті полягає у виборі й обґрунтуванні ефективних технічної та технологічної схем забійної циркуляційної ланки бурильної колони та знімного керноприймача, що забезпечують сталість процесу поглиблення забою свердловини з високою мірою продуктивності і економічності.

Обґрунтування вживання і опис вибраної автором методики

Дослідження особливостей реалізації гідравлічної програми створення замкнутої системи циркуляції з метою транспортування знімних керноприймачів виконано із застосуванням сучасних методів аналітичного аналізу й експериментальних досліджень, зокрема шляхом використання методів математичного й фізичного моделювання, методик моделювання та обробки результатів досліджень у середовищі SolidWorks, MATHCAD, контрольно-вимірвальних приладів і матеріалів.

Протікання циркуляційних процесів моделювалось на спеціальному лабораторному стенді, обладнаному контрольно-вимірвальним блоком (витратомір, манометр).

Виклад основного матеріалу дослідження

При бурінні свердловин за схемами КГК або СЗК як очисний агент, за відповідних характеристик геологічного розрізу та техніко-технологічних умов експлуатації окремих вузлів засобів СЗК, використовують воду [1, 7]. Як відомо, вода відноситься до ньютонівських рідин, тобто рідин, що підкоряються закону в'язкості Ньютона [8]. Для таких рідин розрізняють два режими течії: ламінарний і турбулентний. При першому режимі течії окремі струмені рідини рухаються паралельно один одному, не перемішуючись. Епюра швидкостей при ламінарному режимі руху є параболою. У центрі труби швидкість максимальна, у стінок дорівнює нулю. Другий режим руху протікає з активним змішуванням струменів потоку.

Математична модель руху керна (керноприймача-контейнера) по внутрішньому каналу бурильної колони повністю характеризується швидкістю керна (керноприймача-контейнера) V_k , яка пов'язана з середньою швидкістю потоку рідини в трубі ω_0 співвідношенням [6]:

$$V_k = \omega_0 - u_k, \quad (1)$$

де u_k – відносна швидкість керна або керноприймача-контейнера (відносно рідини), що може бути визначена за наступним рівнянням [7]:

$$u_k = \sqrt{\frac{\rho_k - \rho}{\rho} - 2gl_k \frac{(1-F)^2}{F^2 + 0,5(F)^2 + C_x K_1^2 \left(\frac{1-F}{1-\tau F}\right)^2 + \frac{\lambda_k l_k}{d_2}}, \quad (2)$$

де ρ_k – щільність керна, кг/м^3 ; ρ – густина промивальної рідини, кг/м^3 ; g – прискорення вільного падіння, м/с^2 ; l_k – довжина керна, м; F – відношення площі перерізу потоку в трубі F_0 до міделевої площі керна F_M (позначимо його як площинно-швидкісний коефіцієнт F); C_x – коефіцієнт лобового опору тіла, залежний від форми тіла і параметра Рейнольдса; K_1 – коефіцієнт нерівномірності швидкості потоку по його перерізу, залежний від параметра Рейнольдса; τ – поправочний коефіцієнт, що враховує вплив форми тіла і обмеженість поперечного перерізу труби; λ_k – безрозмірний коефіцієнт опору по довжині керна; d_2 – гідравлічний діаметр каналу, м.

Таким чином, розрахунок руху ядра (ядроприймача-контейнера) зводиться до вирішення рівняння (1).

Щодо аналізу фізичної і математичної моделей руху ядра та циліндричних контейнерів зазначимо наступне: у рівняння (2) входить складова $\frac{\lambda_k \cdot l_k}{d_2}$, що визначає величину гідравлічних опорів в кільцевому проміжку «ядро (циліндричний контейнер) – труба».

Безрозмірний коефіцієнт гідравлічного опору λ_k при промиванні ньютонівською рідиною можна розрахувати за формулою Блазіуса [9]:

$$\lambda_k = \frac{0,3164}{\sqrt[4]{Re_{кп}}}, \quad (3)$$

де $Re_{кп}$ – безрозмірний параметр Рейнольдса, який визначає режим течії ньютонівської рідини в кільцевому просторі:

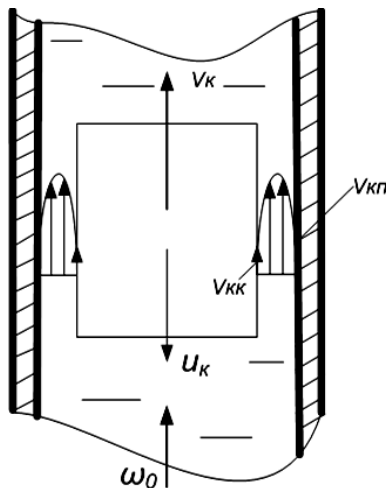


Рис. 1. Схема розподілу швидкостей під час руху ядра (циліндричного контейнера) у висхідному потоці промивальної рідини

$$Re_{кп} = \frac{V_{кк}(D_6 - d_k)}{\nu} \quad (4)$$

де $V_{кк}$ – швидкість потоку рідини відносно ядра (циліндричного контейнера) в кільцевому проміжку, утвореному ядром (циліндричним контейнером) та внутрішньою стінкою бурових труб, м/с; D_6 – внутрішній діаметр бурових труб (транспортного каналу), м; ν – кінематичний коефіцієнт в'язкості промивальної рідини, м²/с.

Формула (3) дає задовільні значення λ_k для чисел Рейнольдса, що лежать в діапазоні $1 < Re_{кп} < 10^5$.

Рис. 1 дає наочне уявлення про розподіл складових, визначених вище, під час руху в транспортному каналі ядра та циліндричних контейнерів.

Для більшої наочності і можливості адекватної оцінки циркуляційних характеристик потоку в табл. 1 наведені гідравлічні параметри руху ньютонівської рідини і зразків ядра (циліндричних контейнерів).

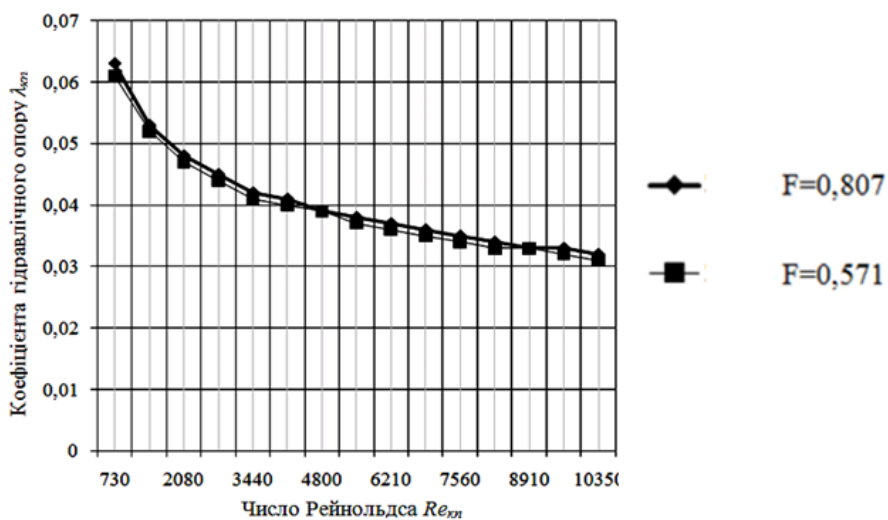


Рис. 2. Залежність $\lambda_{кп} = f(Re_{кп})$ при $F = 0,807; 0,571$, циркуляційний агент – вода (ньютонівська рідина)

контейнера) $V_{кк}$.

Розрахунки виконані в широкому діапазоні значень відносної швидкості ядра (циліндричного контейнера) u_k , швидкостей потоку в кільцевому каналі відносно труби $V_{кп}$ і швидкостей потоку в кільцевому каналі відносно ядра (циліндричного

На рис. 2 представлена узагальнена залежність коефіцієнта гідравлічного опору λ_k від числа Рейнольдса Re_{kp} за граничних значень відношення площі перерізу потоку в трубі до міделевої площі керна, що дорівнює значенню площинно-швидкісного коефіцієнту $F = 0,807$; $0,571$.

Таблиця 1. Циркуляційні характеристики руху ньютонівської рідини і зразків керна (циліндричних контейнерів) за відношення площі перерізу потоку в трубі до міделевої площі керна (контейнера), що дорівнює значенню площинно-швидкісного коефіцієнту $F = 0,807$

Відносна швидкість керна (циліндричних контейнерів) u_k , м/с	Швидкість потоку в кільцевому каналі відносно труби V_{kp} , м/с	Швидкість потоку в кільцевому каналі відносно керна (циліндричного контейнера) V_{kk} , м/с	Число Рейнольдса Re_{kp}	Коефіцієнт гідравлічного опору в кільцевому каналі відносно керна (циліндричного контейнера) λ_k
2,18	2,18	0	0	—
2,15	2,31	0,16	640	0,063
2,12	2,43	0,31	1240	0,053
2,09	2,56	0,47	1880	0,048
2,06	2,68	0,62	2480	0,045
2,03	2,81	0,78	3120	0,042
2,0	2,93	0,93	3720	0,041
1,97	3,06	1,09	4360	0,039
1,94	3,18	1,24	4960	0,038
1,91	3,31	1,4	5600	0,037
1,88	3,43	1,55	6200	0,036
1,85	3,56	1,71	6840	0,035
1,82	3,69	1,87	7480	0,034
1,79	3,81	2,02	8080	0,033
1,76	3,94	2,18	8720	0,033
1,73	4,06	2,33	9320	0,032

Як видно з розрахункових даних (табл. 1) та графіка (рис. 2), значення і зміни величини коефіцієнта гідравлічного опору кільцевого простору «кern (циліндричний контейнер) – труба» за зміни площинно-швидкісного коефіцієнту F незначні, і при великих числах Рейнольдса величина F стає практично постійною.

У табл. 2 приведені результати розрахунку відносної швидкості керна u_k з урахуванням різних параметрів. Розрахунки виконані за умови, що $\rho_k = 2500 \text{ кг/м}^3$ (така щільність характерна для більшості зразків, що складають товщі осадових і метаморфічних порід, та в цілому коректна для умов транспортування циліндричних контейнерів) [7].

Аналізуючи наведені дані, можна зробити висновок, що істотний вплив на відносну швидкість керна чинять тільки сили лобового опору і гідравлічного опору на виході потоку з кільцевого проміжку «кern (циліндричний контейнер) – труба».

Отже, рівняння (2) можна представити у вигляді:

$$u_k = \sqrt{\frac{\rho_k - \rho}{\rho} - 2gl_k \frac{(1-F)^2}{C_x K_1^2 \left(\frac{1-F}{1-\tau F}\right)^2 + F^2}} \quad (5)$$

Таблиця 2. Відносні швидкості ядра (циліндричних контейнерів) u_k з урахуванням різних параметрів, що визначають перепад тиску на транспортування зразків породи (циліндричних контейнерів)

Величина площинно-швидкісного коефіцієнту F	Параметр, що враховується, в рівнянні визначення відносної швидкості ядра (циліндричних контейнерів)			
	P_L	$P_L + P_K$	$P_L + P_K + P_B$	$P_L + P_K + P_B + P_{BX}$
0,807	0,22	0,20	0,20	0,19
0,764	0,31	0,28	0,28	0,27
0,729	0,38	0,35	0,34	0,33
0,686	0,47	0,44	0,43	0,41
0,65	0,55	0,54	0,49	0,47
0,607	0,64	0,59	0,57	0,56
0,571	0,71	0,66	0,64	0,62

Формула (5) справедлива, коли довжина ядра не перевищує 0,2 м, що забезпечується конструкцією ядеролома [6]; в той же час, довжина ядероприймачів-контейнерів значно перевищує вказане значення довжини, що потребує деякого уточнення формули (5).

Для з'ясування механізму впливу довжини ядероприймачів-контейнерів на параметр u_k були проведені експериментально-теоретичні дослідження, результати яких наведено в табл. 3 та на рис. 3–4.

Таблиця 3. Відносна швидкість ядероприймачів-контейнерів u_k за умов їх змінної довжини

Площинно-швидкісний коефіцієнт F	Довжина ядероприймачів-контейнерів l_k , м										
	0,2	0,3	0,4	0,5	0,6	0,7	0,8	0,9	1,0	1,1	1,2
0,807	0,20	0,25	0,28	0,32	0,35	0,38	0,40	0,43	0,45	0,47	0,49
	0,20	0,24	0,27	0,30	0,33	0,35	0,38	0,40	0,41	0,43	0,45
0,764	0,28	0,35	0,40	0,45	0,49	0,53	0,57	0,60	0,64	0,67	0,70
	0,28	0,34	0,38	0,42	0,46	0,49	0,52	0,55	0,57	0,59	0,61
0,729	0,35	0,43	0,50	0,55	0,61	0,66	0,70	0,74	0,78	0,82	0,86
	0,34	0,41	0,47	0,52	0,56	0,60	0,64	0,67	0,70	0,72	0,75
0,686	0,44	0,54	0,62	0,69	0,76	0,82	0,88	0,93	0,98	1,03	1,07
	0,43	0,51	0,59	0,65	0,70	0,75	0,80	0,83	0,86	0,89	0,92
0,65	0,51	0,62	0,71	0,80	0,88	0,95	1,01	1,07	1,13	1,19	1,24
	0,49	0,59	0,68	0,74	0,81	0,86	0,91	0,95	0,99	1,03	1,06
0,607	0,59	0,73	0,84	0,94	1,03	1,11	1,18	1,26	1,32	1,39	1,45
	0,57	0,69	0,79	0,87	0,94	1,0	1,06	1,11	1,15	1,19	1,23
0,571	0,66	0,81	0,94	1,05	1,15	1,24	1,33	1,41	1,48	1,56	1,62
	0,64	0,78	0,88	0,97	1,05	1,12	1,18	1,24	1,29	1,33	1,38

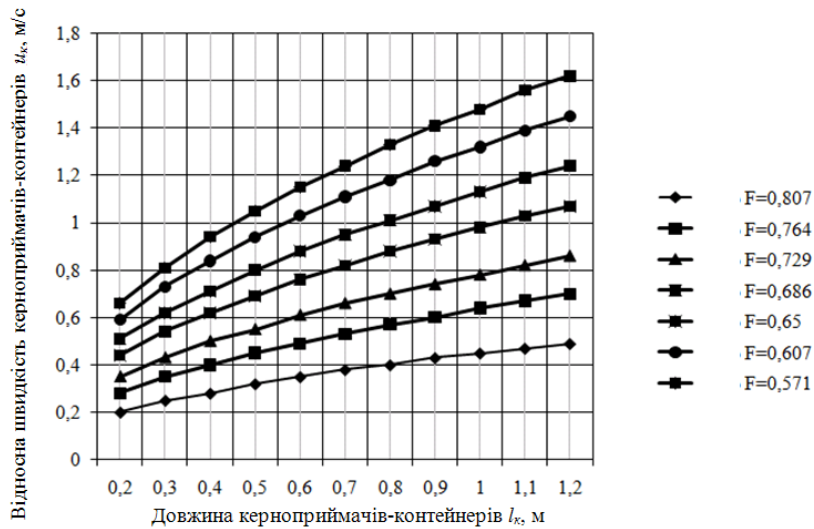


Рис. 3. Залежність $u_k=f(l_k)$ за умов $F = 0,807 \div 0,571$, з урахуванням P_L та P_K , циркуляційний агент – вода (ньютонівська рідина)

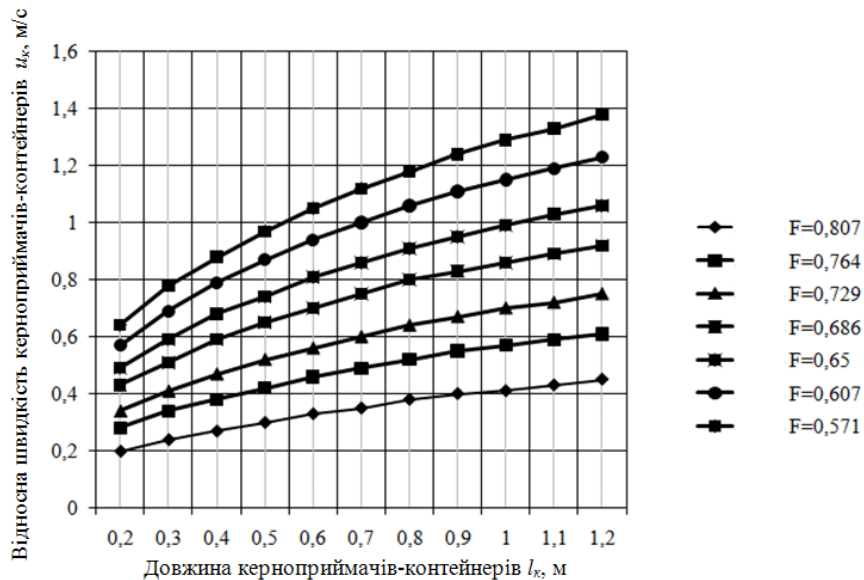


Рис. 4. Залежність $u_k=f(l_k)$ за умов $F = 0,807 \div 0,571$, з урахуванням P_L , P_K , та P_V , циркуляційний агент – вода (ньютонівська рідина)

За результатами проведених досліджень можна зробити висновок, що головним чинником, який визначає параметр u_k – відносну швидкість керноприймачів-контейнерів, є P_K – сила гідравлічного опору в кільцевому проміжку між керноприймачем-контейнером і трубою. Крім того, відносна швидкість керноприймачів-контейнерів менш інтенсивно зростає із збільшенням площинно-швидкісного коефіцієнту F , і більш – із збільшенням довжини керноприймачів-контейнерів при постійному площинно-швидкісному коефіцієнту F .

Таким чином, рівняння (5) для умов транспортування керноприймачів-контейнерів можна представити наступним чином:

$$u_k = m \cdot \sqrt{\frac{\rho_K - \rho}{\rho} - 2gl_k \frac{(1-F)^2}{C_x K_1^2 \left(\frac{1-F}{1-\tau \cdot F} \right)^2 + F^2}}, \quad (6)$$

де m – поправочний коефіцієнт, залежний від довжини керноприймачів-контейнерів, що транспортуються, значення якого наведені в табл. 4.

Таблиця 4. Значення поправочного коефіцієнту m

Довжина керноприймачів-контейнерів l_k , м					
0,2 – 0,4	0,4 – 0,7	0,7 – 0,9	0,9 – 1,0	1,0 – 1,1	1,1 – 1,2
0,96	0,92	0,9	0,88	0,87	0,86

Коефіцієнт m фізично характеризує вклад сили P_K у відносну швидкість керноприймачів-контейнерів u_k (табл. 5).

Таблиця 5. Процентний вклад сили P_K у відносну швидкість керна u_k

Площинно-швидкісний коефіцієнт F	Довжина керноприймачів-контейнерів l_k , м											
	0,2	0,3	0,4	0,5	0,6	0,7	0,8	0,9	1,0	1,1	1,2	
0,807	0	4	4	6	6	8	5	7	9	9	8	
0,764	0	3	5	7	6	8	9	8	11	12	13	
0,729	3	5	6	6	8	9	9	10	10	12	13	
0,686	2	6	5	6	8	9	9	11	12	14	14	
0,65	4	5	4	8	8	10	10	11	12	13	15	
0,607	3	6	6	7	9	10	10	12	13	14	15	
0,571	3	4	6	8	9	10	11	12	13	15	15	

Розглянута методика врахування довжини транспортованих матеріалів прийнятна не тільки у разі переміщення керноприймачів-контейнерів, але також і за умов транспортування керну, оскільки на практиці лінійний вихід керна, наприклад, при бурінні по глинах і алеволітах, збільшується в 5–6 разів [7].

Характер руху неньютонівських (в'язкопластичних) рідин має ряд специфічних особливостей. Завдяки наявності структури рух таких рідин починається тільки тоді, коли величина прикладеного зовнішнього тиску стає більше деякого певного значення [10].

При критичному значенні параметра $Re_{кп}^*$ ламінарний режим переходить в турбулентний, за якого профіль швидкостей характеризується швидшим наростанням швидкостей у границі струменя, а потім і більш рівномірним їх розподілом.

Режим руху в'язкопластичних рідин в кільцевому просторі «керн – труба» характеризується приблизно за допомогою узагальненого параметра Рейнольдса:

$$Re_{кп}^* = \frac{V_{кк} \cdot (D_B - d_k)}{\eta + \tau_0} \cdot \frac{D_B - d_k}{6V_{кк}} \quad (7)$$

де η – структурна або пластична в'язкість, Па·с; τ_0 – гранична динамічна напруга зсуву, Па.

У табл. 6 наведені результати розрахунку відносної швидкості керна u_k з урахуванням різних параметрів при циркуляції в'язкопластичної рідини (оскільки при застосуванні технологій СЗК здебільшого застосовуються ньютонівські рідини, в даному випадку розглянемо тільки умови транспортування керну, але, загалом, пропонується методика розрахунків прийнятна і для транспортування циліндричних контейнерів). Як і у попередньому випадку, розрахунки виконані за умови, що $\rho_k = 2500 \text{ кг/м}^3$.

Таблиця 6. Відносні швидкості керна u_k з урахуванням різних параметрів, що визначають перепад тиску на транспортування зразків породи

Величина площинно-швидкісного коефіцієнту F	Параметр, що враховується, в рівнянні визначення відносної швидкості керна			
	P_L	$P_L + P_K$	$P_L + P_K + P_B$	$P_L + P_K + P_B + P_{BX}$
0,807	0,13	0,13	0,13	0,12
0,764	0,19	0,18	0,18	0,17
0,729	0,23	0,22	0,22	0,21
0,686	0,28	0,27	0,27	0,26
0,65	0,33	0,32	0,31	0,31
0,607	0,38	0,37	0,36	0,36
0,571	0,42	0,41	0,40	0,40

Дані, наведені в табл. 6, свідчать про те, що визначальним чинником величини відносної швидкості керна є сила лобового опору.

У зв'язку із сказаним, рівняння (2) для умов застосування в'язкопластичної рідини можна записати в наступному виді:

$$u_k = \sqrt{\frac{2gl_k(\rho_k - \rho)(1 - \tau \cdot F)^2}{\rho C_x K_1^2}} \quad (8)$$

Наведена формула справедлива, коли довжина керна не перевищує 0,2 м.

Характер впливу щільності керна на його відносну швидкість показаний в табл. 7. Діапазон щільності зразків гірських порід включає усі практично можливі варіанти ρ_k для геологічних умов застосування комплексів КГК [6].

Таблиця 7. Відносна швидкість керна u_k за умов їх змінної щільності, циркуляційний агент – глинистий розчин (неньютонівська рідина)

Площинно-швидкісний коефіцієнт F	Щільність керна ρ_k , кг/м ³								
	1700	1900	2100	2300	2500	2700	2900	3100	3300
0,807	0,09	0,1	0,11	0,12	0,13	0,14	0,15	0,16	0,16
0,764	0,12	0,14	0,16	0,17	0,19	0,20	0,21	0,22	0,23
0,729	0,15	0,17	0,19	0,21	0,23	0,25	0,26	0,27	0,29
0,686	0,19	0,22	0,24	0,26	0,28	0,30	0,32	0,34	0,36
0,65	0,22	0,25	0,28	0,30	0,33	0,35	0,37	0,39	0,41
0,607	0,25	0,29	0,32	0,35	0,38	0,41	0,43	0,45	0,48
0,571	0,28	0,32	0,36	0,39	0,42	0,45	0,48	0,51	0,53

Розглядаючи дані табл. 7, можна зробити висновок, що відносна швидкість керна зростає як із збільшенням щільності керна при постійному F , так і при постійній щільності із збільшенням проміжку "кern – труба", причому інтенсивніше швидкість керна росте із збільшенням проміжку між керном і внутрішньою трубою (що характерно і для в'язкої рідини).

Таким чином, можна зробити наступний висновок: використання запропонованої послідовної методики проектування гідравлічної програми транспортування знімних керноприймачів й очищення свердловини за схемою КГК дозволить забезпечити сталість процесу транспортування, а для кернового матеріалу застерегти від його повторного переподрібнення; сприятиме зниженню гідростатичного і гідродинамічного тиску на забої

свердловини. Для умов КГК буде спостерігатися зменшення числа підклинювань керна і шламу в забійному снаряді, а також полегшення ліквідації підклинювань без підйому інструменту на поверхню; підвищиться достовірність випробування, створяться умови ефективного для реалізації технології буріння в ускладнених умовах.

Висновки

1. Проаналізовано особливості і умови конструювання та експлуатації комплексів технічних засобів для буріння із застосуванням подвійної бурильної колони і знімних керноприймачів.

2. З урахуванням сформульованих обмежувальних умов при гідравлічних розрахунках циркуляційної системи свердловини встановлено, що швидкість руху керна або керноприймача-контейнера по висхідній магістралі можна визначити, вирішивши систему рівнянь, що регламентує перепади тисків в кільцевому перерізі, утвореному керном або керноприймачем-контейнером і внутрішнім каналом підйомної магістралі, а також на торці керна або керноприймача-контейнера, необхідних для утримання його в зваженому стані.

3. Порівняльним аналізом доведено, що визначальними параметрами у величині відносної швидкості керна (керноприймача-контейнера) u_k , за умов циркуляції ньютонівської рідини, є сили лобового опору і гідравлічного опору на виході потоку з кільцевого проміжку «керн (циліндричний контейнер) – труба»; у випадку циркуляції неньютонівської рідини таким визначальним параметром у величині відносної швидкості керна є сила лобового опору.

4. Експериментально-теоретичні дослідження особливостей циркуляційних процесів при використанні методів КГК та СЗК повинні продовжуватися у напрямках створення алгоритмів розробки ефективної гідравлічної програми промивання свердловин із раціональними показниками енерговитрат у відповідності до гірничо-геологічних і техніко-технологічних особливостей родовищ.

Е.А. Koroviaka, А.О. Ihnatov

National Technical University «Dniprovska Politechnika»

FEATURES OF HYDRAULIC CONVEYING REMOVABLE CORE RECEIVER

Constructive choice and justification of effective technical and technological schemes of coalface circulation link of drilling column and removable core receiver, which provide stability of process of deepening bore hole with the high degree of the productivity and profitability.

The features of the dynamics of cylindrical containers in the flow of the cleaning agent under the conditions of creating a reverse circulation scheme have been investigated by laboratory and analytical methods and the relative motion velocities while moving core receivers of variable length and diameter in the circulation channel of the well have been determined.

Based on an in-depth analysis of the method for determining the speed of the relative movement of cylindrical containers in the inner bore of the drill string, an appropriate mathematical model was determined, fully characterized by the initial factor – the average flow rate of the drilling fluid in the pipe. Taking into account the limiting conditions in the hydraulic calculations of the circulation system of the well, it was found that the speed of the core receiver-container along the ascending line can be determined by solving the system of equations regulating the pressure drops required to maintain it in suspension. The influence of the geometrical dimensions of the transport line, the diameter and length of the core-receiving containers on the speed of their relative movement have been studied. The uninterrupted process of transportation of removable core-receiving containers is ensured by well-defined intervals of rational ratios of the geometric dimensions of the transport line and the containers themselves.

The obtained research results are basic for the design of a rational hydraulic program for cleaning wells when using the transportation scheme for removable coring containers-containers with a fluid flow. The

obtained mathematical dependencies characterizing the process of container movement can be used as the basis for the design and operation of complexes of technical means for drilling using removable core receivers.

Key words: *drill string, hydraulic resistance, relative speed, pressure drop, dynamics, well, rock, core receiver.*

Е.А. Коровяка, А.А. Игнатов

Национальный технический университет «Днепроовская политехника»

ОСОБЕННОСТИ ГИДРОТРАНСПОРТА СЪЕМНЫХ КЕРНОПРИЕМНИКОВ

Конструктивный выбор и обоснование эффективной технической и технологической схем забойного циркуляционного звена бурильной колонны и съемного керноприемника, которые обеспечивают устойчивость процесса углубки скважины с высокой степенью производительности и экономичности.

Лабораторными и аналитическими приемами исследованы особенности динамики цилиндрических контейнеров в потоке очистного агента в условиях создания обратной схемы циркуляции и определены скорости относительного движения при перемещении керноприемников переменных длины и диаметра в циркуляционном канале скважины.

На основании глубокого анализа методики определения скорости относительного движения цилиндрических контейнеров во внутреннем канале бурильной колонны определена соответствующая математическая модель, полностью характеризующаяся исходным фактором – средней скоростью потока промывочной жидкости в трубе. С учетом ограничительных условий при гидравлических расчетах циркуляционной системы скважины установлено, что скорость керноприемника-контейнера по восходящей магистрали можно определить, решив систему уравнений, регламентирующих перепады давлений, необходимых для поддержания его во взвешенном состоянии. Изучено влияние геометрических размеров транспортной магистрали, диаметра и длины керноприемников-контейнеров на скорость их относительного движения. Бесперебойность процесса транспортировки съемных керноприемников-контейнеров обеспечивается вполне определенными интервалами рациональных соотношений геометрических размеров транспортной магистрали и самих контейнеров.

Полученные результаты исследований являются базовыми для проектирования рациональной гидравлической программы очистки скважин при применении схемы транспортировки съемных керноприемников-контейнеров потоком жидкости. Полученные математические зависимости, характеризующие процесс движения контейнеров, могут быть положены в основу конструирования и эксплуатации комплексов технических средств для бурения с применением съемных керноприемников.

Ключевые слова: *колонна бурильных труб, гидравлические сопротивления, относительная скорость, перепад давления, динамика, скважина, горная порода, керноприемник.*

Література

1. Войтенко В., Вітрик В. Технологія і техніка буріння. – К.: Центр Європи, 2012. – 708 с.
2. Калинин А. Г., Ошкордин О.В, Питерский В.М. Разведочное бурение. – М.: ООО «Недра-Бизнесцентр», 2000. – 748 с.
3. Вирвінський П.П., Кузін Ю.Л., Хоменко В.Л. Геологорозвідувальна справа і техніка безпеки. – Д.: Нац. гірн. ун-т, 2010. – 368 с.
4. Юшков А.С., Пилипец В.И. Геологоразведочное бурение. – Донецк: Норд-Пресс, 2004. – 464 с.
5. Игнатов А.О. Перспективи застосування гнучкої колони бурильних труб для буріння свердловин // Породоразрушающий и металлообрабатывающий инструмент – техника и технология его изготовления и применения. Вып. 21. – К.: Изд-во ИСМ им. В.Н. Бакуля НАН Украины, 2018. – С. 132–139.
6. Давиденко А.Н., Игнатов А.А., Полищук П.П. Транспортировка продуктов разрушения при бурении скважин. – Д.: Держ. вищ. навч. закл. «Нац. гірн. ун-т», 2016. – 116 с.

7. Давиденко А.Н., Игнатов А.А. Прямая и обратная схемы очистки при бурении скважин. – Д.: Держ. вищ. навч. закл. «Нац. гірн. ун-т», 2012. – 101 с.
8. Гукасов Н.А., Кочиев А.М. Гидравлика в разведочном бурении. – М.: Недра, 1991. – 237 с.
9. Чугаев Р.Р. Гидравлика. – Л.: Энергоиздат, 1982. – 672 с.
10. Штеренлихт Д.В. Гидравлика. – М.: Энергоатомиздат, 1984. – 640 с.

Надійшла 09.07.20

References

1. Voitenko, V., & Vitryk, V. (2012). *Tekhnolohiia i tekhnika burinnia [Technology and technique of the drilling]*. Kyiv: Tsentr Yevropy [in Ukrainian].
2. Kalinin, A.G, Oshkordin, O.V, Piterskiy, V.M. (2000). *Razvedochnoe burenie [Prospecting drilling]*. Moscow: ООО «Nedra-Biznestsentr» [in Russian].
3. Vyrvynskiy, P.P., Kuzin, Yu.L., & Khomenko V.L. (2010). *Heolohorozviduvalna sprava i tekhnika bezpeky [Geological prospecting business and safety engineering]*. Dnipropetrovsk: Derzh. vyshch. navch. zakl. «Nats. hirn. un-t» [in Ukrainian].
4. Yushkov, A.S., & Pilipets, V.I. (2004). *Geologorazvedochnoe burenie [Prospecting drilling]*. Donetsk: Nord-Press [in Russian].
5. Ihnatov, A.O. (2018). Perspektivy zastosuvannya hnuchkoi kolony burylnykh trub dlia burinnia sverdlovyn [Perspectives application of coiled tubing in bore holes]. *Porodorazrushaiushchii i metalloobrabatyvaiushchii instrument – tekhnika i tekhnologiiia ego izgotovleniia i primeneniia – Rock Destruction and Metal-Working Tools – Techniques and Technology of the Tool Production and Applications, 21*, 132–139 [in Ukrainian].
6. Davydenko, A.N., Ihnatov A.A., & Polyshchuk, P.P. (2016). *Transportirovka produktov razrusheniya pri burenii skvazhin [Transporting of rock destruction at well drilling]*. Dnipropetrovsk: Derzh. vyshch. navch. zakl. «Nats. hirn. un-t» [in Russian].
7. Davydenko, A.N., & Ihnatov, A.A. (2012). *Pryamaya i obratnaya shemyi ochistki pri burenii skvazhin [Direct and reverse cleaning schemes at well drilling]*. – Dnipropetrovsk: Derzh. vyshch. navch. zakl. «Nats. hirn. un-t» [in Russian].
8. Gukasov, N.A., & Kochiev, A.M. (1991). *Gidravlika v razvedochnom burenii [A hydraulics in the prospecting drilling]*. – Moscow: Nedra [in Russian].
9. Chugaev, R.R. (1982). *Gidravlika [Hydraulics]*. – Leningrad: Energoizdat [in Russian].
10. Shterenliht, D.V. (1984). *Gidravlika [Hydraulics]*. – Moscow: Energoatomizdat [in Russian].