

Наука — виробництву

УДК 622.248

DOI: 10.31471/1993-9973-2021-4(81)-61-70

КНБК З ДВОМА БУРОВИМИ ЯСАМИ ДЛЯ ЛІКВІДАЦІЇ ЗАКЛИНЮВАНЬ У ПРОЦЕСІ БУРІННЯ

В. М. Чарковський, В. Д. Середюк

ІФНТУНГ; 76019, м. Івано-Франківськ, вул. Карпатська, 15, тел. (0342) 72-71-37;
e-mail: 0526.nung@gmail.com, sereduk.nung@gmail.com

Застосовано методи факторного експерименту та регресійного аналізу з метою пошуку оптимальних поєднань технологічних параметрів ліквідації прихоплення з допомогою бурового яса. За основними факторами вибрано хід бойка ударного механізму, довжину ОБТ в аварійній компоновці та силу розрядки. Отримано функції відгуку за матрицею центрального ротатбельного композиційного плану для трьох основних факторів. Функції є залежностями між максимальною та мінімальною внутрішніми силами на верхній межі прихоплення та факторами. На базі залежностей отримано поверхню відгуку значень параметрів. Графічно проаналізовано вплив кожного фактора на відповідні параметри ліквідації прихоплення. Відзначено, що зміна сили розрядки має слабонелінійний вплив на параметри удару, а вплив двох інших факторів має чітко виражений екстремум. Сформульовано умови, внаслідок яких ударний режим ліквідації прихоплення переходить в імпульсно-хвильовий. Сформульовано рекомендації щодо вибору технологічних параметрів ліквідації прихоплення для філії бурового управління ДК «Нафтогаз України» у залежності від різних категорій та видів прихоплення. Відзначено випадки, за яких застосування ударних механізмів може бути ефективним. Сформульовано вимоги до конструкції бурового яса. Запропоновано заміну імпортованому буровому ясу типу Hydra-jar у вигляді двох окремих конструкцій з механічними замковими парами для створення селективних «вгору-вниз» ударів. Запропоновано конструкцію КНБК з двома буровими ясами для реалізації ефекту прискорення ударної хвилі.

Ключові слова: бурильний інструмент; прихоплення; ударний спосіб ліквідації; буровий яс; коливання бурильної колони; факторний експеримент; план експерименту.

Применены методы факторного эксперимента и регрессионного анализа с целью поиска оптимальных сочетаний технологических параметров ликвидации прихвата с помощью бурового яса. В качестве определяющих факторов выбраны ход бойка ударного механизма, длина ОБТ в аварийной компоновке и сила разрядки. Получены функции отклика по матрице центрального ротатбельного композиционного плана для трех основных факторов. Функции являются зависимостями между максимальной и минимальной внутренними силами на верхней границе прихвата и факторами. На базе зависимостей получена поверхность отклика значений параметров. Графически проанализировано влияние каждого фактора на соответствующие параметры ликвидации прихватов. Отмечено, что изменение силы разрядки имеет слабонелинейное влияние на параметры удара, а влияние двух других факторов имеет четко выраженный экстремум. Сформулированы условия, в результате которых ударный режим ликвидации прихвата переходит в импульсно-волновой. Сформулированы рекомендации по выбору технологических параметров ликвидации прихватов для ДК «Нефтегаз Украины» в зависимости от различных категорий и видов прихватов. Отмечены случаи, при которых применение ударных механизмов может быть эффективным. Сформулированы требования к конструкциям бурового яса. Предложена замена импортному буровому ясу типа Hydra-jar в виде двух отдельных конструкций с механическими замковыми парами для создания селективных «вверх-вниз» ударов. Предложена конструкция КНБК с двумя буровыми ясами для реализации эффекта ускорения ударной волны.

Ключевые слова: бурильный инструмент; прихват; ударный способ ликвидации; буровой яс; колебания бурильной колонны; факторный эксперимент, план эксперимента.

The methods of factorial experiment and regression analysis have been applied ad hoc to search the optimum combinations of technological parameters for the salvage operation with the help of a drilling jar. The factors chosen are the percussive mechanism striker travel, the length of drill collars in the drill assembly and the discharge force. The response functions on the matrix of the central rotatable composite design for three main factors have been obtained. The functions are the relationships between the maximum and minimum internal forces at the upper boundary of the grip and the factors. Based on the dependencies, the response surface of the parameter values has been obtained. The influence of each factor on the corresponding parameters of the salvage operation has been graphically analyzed. It has been noted that the change in the discharge force has a weakly nonlinear effect on the impact parameters, and the influence of the other two factors has a pronounced extremum. The conditions which lead to the salvage operation shock mode traversing to pulse-wave one have been formulated. Recommendations on a choice of the salvage operation technological parameters for Naftogaz of Ukraine subsidiaries depending on various categories and types of the sticking have been formulated. Cases of the effective use of a drilling jar have been reported. Requirements for the drilling jar design have been formulated. It is proposed to replace the imported Hydra-jar with the construction in the form of two separate structures with mechanical locking pairs to create selective "up-down" strikes. The BHA design with two drill jars to realize the effect of shock wave acceleration has been proposed.

Key words: drilling tool; sticking; abandoning by impact; drilling jar; drill string surge; factorial experiment, experimental design.

Вступ

При ліквідації заклинювань КНБК з допомогою бурового яса можуть виникати ситуації, коли доцільно застосовувати вибіркові ударні навантаження, спрямовані лише вгору, або тільки вниз. Як приклад можна навести гідравлічні ударні механізми (ГУМ) вибіркової «удар вгору – удар вниз» дії під маркою Hydra-jar. Застосовуються також інші аналогічні конструкції, що поєднують в одному корпусі гідравлічний та механічний типи УМ.

Також відомий і застосовується на практиці такий спосіб ліквідації прихоплень як імпульсно-хвильовий з використанням спеціальних конструкцій УМ, наприклад УЛП-190-1. Імпульсно-хвильовий спосіб ліквідації прихоплень універсальний тим, що можна ліквідувати прихоплення різного походження, у тому числі і такі, що вимагають створення динамічних навантажень, спрямованих як вгору, так і вниз.

Розвиток глибокого буріння та збільшення кількості свердловин, що споруджуються в ускладнених геологічних умовах, збільшує попит на УМ інших оригінальних конструкцій для забезпечення безперебійної проводки свердловини відповідними КНБК, а отже, у майбутньому виникне необхідність налагодження їхнього серійного виробництва. При цьому таке завдання може бути виконано у випадку здешевлення УМ з одночасним досягненням необхідної якості та надійності. Прийнято називати ті конструкції УМ, які можуть застосовуватися у складі КНБК при бурінні свердловин, буровими ясами. Всі інші конструкції УМ застосовують тільки в ловильному варіанті для нанесення ударів по прихопленому інструменту після спеціальних робіт зі з'єднання ловильної колоди труб із колоною, залишеною у свердловині.

Для аналізу впливу основних факторів ліквідації прихоплення ударними способами застосовують як методи математичного моделювання роботи УМ у складі КНБК, так і статистичні методи аналізу.

Аналіз сучасних досліджень і публікацій

Імпульсно-хвильовий спосіб ліквідації прихоплень найбільш повно описано в [1]. Цей спосіб, із застосуванням УМ типу УЛП-190-1, з успіхом використовували для ліквідації прихоплень у 1970-х – 1990-х роках у глибоких свердловинах нафтових і газових родовищ Північного Кавказу, Середньої Азії та Західного Сибіру. Дослідження, виконані свого часу у НВО «Буріння» (м. Краснодар) В.Н.Пановим та А.К.Самотоєм, показали, що імпульсно-хвильовий спосіб нанесення ударних навантажень по прихопленому інструменту дає успішні результати, якщо точно розрахувати місце розміщення УМ в аварійній колоні бурильних труб при дотриманні інших параметрів нанесення ударних імпульсів. При цьому місце розміщення УМ у бурильній колоні було далеко вище за верхню межу КНБК. Всі спроби застосування УЛП-190-1 у вмонтованому під час проводки свердловини варіанті закінчилися на той час невдачею, а тому цей тип УМ застосовувався тільки в ловильному варіанті.

Набагато успішніше завершилися зарубіжні розробки зі створення гідравлічних та механічних типів УМ, у т.ч. вмонтованих у КНБК при бурінні свердловини [2,3]. Гідравлічні бурові яси типу Hydra-jar, а також інші аналогічні конструкції, що об'єднують в одному корпусі дію гідравлічного та механічного УМ, починаючи з кінця 1970-х років з успіхом застосовуються в різних нафтогазовидобувних регіонах світу, а починаючи з 2000-х – також під час бу-

ріння глибоких нафтогазових свердловин на сході України. Часте застосування бурового яса у складі КНБК для попередження та ліквідації прихоплень призвело до того, що витрати на прокат цього типу аварійного інструменту стали закладатися у відповідні кошторисні розрахунки. При цьому оптимізації технологічних параметрів роботи УМ було приділено чи не найважливішу увагу як методами математичного моделювання [1,4], так і статистичними методами [5].

Регресійний аналіз є найбільш поширеним статистичним методом обробки експериментальних даних з метою отримання емпіричних залежностей. В основі обробки результатів дослідження за методом чорної скриньки покладено метод найменших квадратів, а сама регресійна модель може бути як лінійною, так і нелінійною. Для умов оптимізації, як правило, застосовують нелінійні рівняння регресії типу квадратичних, або ж поліномів вищого порядку. У цьому випадку бажаний результат найлегше отримати з використанням теорії планування експерименту [6,7].

Висвітлення невирішених раніше частин загальної проблеми

Незважаючи на досить широке застосування методів математичної статистики в бурінні, все ще залишаються невирішеними проблеми, пов'язані з оптимізацією деяких технологічних рішень, що мають місце під час ліквідації ускладнень та аварій з бурильним інструментом. Насамперед це стосується застосування ударних механізмів у складі КНБК, з точки зору оптимального поєднання різних факторів для досягнення максимальної сили удару. Відповідно, залишається актуальною та вимагає подальшого розвитку в нових умовах буріння на ДДЗ технологія застосування ударних механізмів різних конструкцій, у тому числі зарубіжного виробництва. Не до кінця визначеним залишається застосування УМ в імпульсно-хвильовому та ударному режимах роботи, тобто питання, якій з цих двох технологій надати перевагу на практиці. Оптимізаційні статистичні методи теорії планування експерименту для вибору основних технологічних параметрів ліквідації прихоплення з допомогою бурового яса раніше не застосовувалися.

Потрібно також відмітити, що навіть за умови дуже непоганих характеристик Hydra-jar, все ж потрібно напрацювати альтернативу даному буровому ясу, конструкцію якого можна було б виготовити на вітчизняних заводах.

Формулювання цілей статті

Цілями даної статті є пошук оптимальних значень технологічних параметрів ліквідації прихоплень бурильного інструменту за допомогою бурового яса на базі теорії планування експерименту та регресійного аналізу, а також розроблення альтернативної конструкції КНБК з буровим ясом подвійної дії для вертикальних та умовно вертикальних свердловин.

Висвітлення основного матеріалу дослідження

Під час проведення досліджень із застосуванням теорії планування факторного експерименту (ПФЕ) розрізняють активний і пасивний експерименти. Якщо експеримент зводиться до отримання результатів поведінки об'єкта при випадкових значеннях вхідних параметрів X , експеримент є пасивним. Якщо при проведенні експерименту всі параметри вимірюються за раніше складеним планом, то експеримент є активним. При плановому експерименті об'єкт дослідження повинен мати такі властивості:

1) результати експерименту повинні бути відновлюваними;

2) об'єкт повинен бути керованим.

Експеримент називається відновлюваним, якщо при фіксованих умовах дослідження в різний час ми отримуємо одне і те ж значення вихідної величини в межах відносно невеликої похибки. Для виявлення прийнятного результату цей експеримент повторюється кілька разів через нерівні проміжки часу. Розкид значень вихідної величини характеризують відновлюваність результатів дослідження. Якщо це значення не перевищує заданої величини, то об'єкт задовольняє властивостям відновлюваності.

Спочатку для групи методів теорії планування експерименту потрібно перейти від значень факторів у натуральних величинах до значень цих же факторів у кодованих величинах, що рівноцінно заміні системи координат. Для переходу від натуральних значень до кодованих використовують умови нормування факторів, задані формулами [6,7]:

$$x_i = \frac{X_{iH} - X_{i0H}}{I_{iH}},$$

$$X_{i0H} = \frac{X_{iHmax} + X_{iHmin}}{2},$$

$$I_{iH} = \frac{X_{iHmax} - X_{iHmin}}{2},$$

де X_{iH} - поточне значення i -го фактора в натуральних одиницях вимірювання;

X_{i0H} - середина інтервалу зміни i -го фактора натуральної шкали;

X_{imax} , X_{imin} - максимальне та мінімальне значення зміни і-го фактора;

I_{in} - величина інтервалу зміни і-го фактора.

Відтак складають план експерименту відповідно до прийнятого методу. Наприклад, для ротатабельного центрального композиційного плану умови побудови [6,7] наведено у табл. 1.

Таблиця 1 – Умови ротатабельності плану

План	2 ³	2 ⁴
Кількість дослідів у ядрі (2 ⁿ за ПФЕ)	8	16
Кількість зіркових точок (2n)	6	8
Кількість дослідів у центрі плану N ₀ або	6 1	7 1
Величина α у плані експерименту	1,682	2,000
Повна кількість дослідів N = 2 ⁿ + 2n + N ₀ або	20	31
N = 2 ⁿ + 2n + 1	15	25

Коефіцієнти квадратичного рівняння регресії при ротатабельному плануванні можна визначити за формулами [7]

$$b_0 = 0,1663 \sum_{u=1}^{20} y_u - 0,0568 \sum_{i=1}^3 \sum_{u=1}^{20} x_{i,u}^2 y_u ,$$

$$b_i = 0,0732 \sum_{u=1}^{20} x_{i,u} y_u ,$$

де $x_{i,u}$ - кодовані значення факторів у зіркових точках;

y_u - значення критерію в кожному дослідженні під час експерименту з 20 досліджень для плану 2³.

Як і для будь-якого іншого методу математичної статистики, виконується статистична перевірка отриманого результату на значущість та адекватність реальному процесу.

Перехід від кодованих факторів у отриманому рівнянні регресії до натуральних значень виконують за тими ж умовами нормування факторів, що і на початку при їх кодуванні.

З метою пошуку оптимальних значень технологічних параметрів ліквідації прихоплень з допомогою ударних механізмів, та забезпечення максимізації внутрішньої сили у тому чи іншому напрямку в післяударному періоді був складений ротатабельний центральний композиційний план виду 2³. Входи плану подані у вигляді технологічних параметрів ліквідації прихоплення, а саме: сили розрядки яса, довжини ОБТ над ясом і ходу бойка, які формують трифакторний експеримент. Для нормалізування факторів та задання області планування експерименту в табл. 2 неведено інтервали можливої у більшості випадків зміни факторів у відповідності до прийнятої технології ліквідації прихоплень.

Решта вхідних змінних з дотриманням адекватності моделі та для розширення можливості подальшого застосування результатів факторного експерименту відповідає таким значенням [1]: глибина верхньої межі прихоплення – від 2400 до 3000м; відстань від верхньої межі прихоплення до місця встановлення яса – 100м (ця вільна частина прихопленого інструменту в розрахунках представлена ОБТ-146); густина бурового розчину від 1250 до 1300кг/м³; коефіцієнт в'язкого опору – від 0,5 до 1,5с⁻¹ для умовно вертикальної свердловини; оснащення талевої системи 5×6 за діаметра талевого канату 32мм та відстані між блоками близько 35м. Аварійна колона представлена дворозмірною компоновкою, а саме – ОБТ-146 над ясом та сталевую колоною бурильних труб діаметром 127мм до устя свердловини. Модуль пружності 2,06×10¹¹ Па для всіх сталевих секцій колони.

Матриця центрального ротатабельного композиційного плану для трьох факторів включає три гіперсфери і відповідає табл. 3.

Таблиця 2 – Інтервали зміни факторів

Фактор	Значення фактора відповідно до технології		Варіювання факторів за рівнями					Інтервал варіювання
	min	max	-1,682	-1	0	+1	+1,682	
x1 - сила розрядки яса, F, кН	100	500	115	190	300	410	485	110
x2 - довжина ОБТ, L, м	0	120	6	28	60	92	114	32
x3 - хід бойка, l, м	0,1	1,2	0,1	0,3	0,6	0,9	1,1	0,3

Таблиця 3 – План експерименту

План	N	X0	X1	X2	X3	X1X2	X1X3	X2X3	X1 ²	X2 ²	X3 ²	Значення функції	
												y1, кН	y2, кН
ПФЕ 2 ³	1	+1	-1	-1	-1	+1	+1	+1	+1	+1	+1	239,5	-315,4
	2	+1	+1	-1	-1	-1	-1	+1	+1	+1	+1	1775	-473,2
	3	+1	-1	+1	-1	-1	+1	-1	+1	+1	+1	305,8	-542
	4	+1	+1	+1	-1	+1	-1	-1	+1	+1	+1	1841	-699,9
	5	+1	-1	-1	+1	+1	-1	-1	+1	+1	+1	-108,4	-4060
	6	+1	+1	-1	+1	-1	+1	-1	+1	+1	+1	1427	-4218
	7	+1	-1	+1	+1	-1	-1	+1	+1	+1	+1	-42,1	-4287
	8	+1	+1	+1	+1	+1	+1	+1	+1	+1	+1	1493	-4445
Зірковий план	9	+1	-α	0	0	0	0	0	α ²	0	0	720,9	-291,6
	10	+1	α	0	0	0	0	0	α ²	0	0	3117	-612,8
	11	+1	0	-α	0	0	0	0	0	α ²	0	945,8	-565,9
	12	+1	0	α	0	0	0	0	0	α ²	0	844,9	-1021
	13	+1	0	0	-α	0	0	0	0	0	α ²	882,4	-775,1
	14	+1	0	0	α	0	0	0	0	0	α ²	1127	-3950
Центр плану	15	+1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1370	-561,3
	16	+1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1370	-561,3
	17	+1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1370	-561,3
	18	+1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1370	-561,3
	19	+1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1370	-561,3
	20	+1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1370	-561,3
β для y1		1381	744,59	6,95	-71,76	-0,007	-0,002	0	110,22	-251,9	-213,2		
β для y2		-522,1	-85,79	-122,5	-1487	-0,001	-0,004	-0,009	-202,4	-323,1	-878,2		

Ядром плану є повний факторний експеримент виду 2³. Зірковий план включає три точки, які розміщуються на сфері радіусом, рівним зірковому плечу $\alpha = 1,682$. Центр плану відповідає нульовим координатам шести додаткових експериментів. План містить 20 точок при кількості оцінюваних коефіцієнтів 10. Коефіцієнти розраховано в нормованих факторах X1, X2, X3 та наведено у табл.3 для двох функцій відгуку: y1 – максимальне значення внутрішньої сили на верхній границі прихоплення в післяударному періоді, maxIFLn, кН; y2 – мінімальне значення внутрішньої сили на верхній границі прихоплення в післяударному періоді, minIFLn, кН. Значення отриманих коефіцієнтів показують, що вплив сукупності факторів X1X2, X1X3, X2X3 є дуже незначним, а, значить, поєднання цих факторів можна виключити з рівняння регресії.

Окремо слід зупинитися на критеріях успішності застосування бурового яса. Оскільки ці дані передбачають вимірювання внутрішньої сили у перерізах колони труб від створюваного буровим ясом удару, які на виробництві не виконували, то виходи Y тут представлено результатами розрахунків за математичною моделлю, наведеною в [1]. Вхідні дані для моделювання взято на основі результатів ліквідації

прихоплення на ряді свердловин, пробурених наприкінці 1990-х початку 2000-х років на таких свердловинах Шебелинського, Хрещищенського та Стрийського ВБР [1] 52 та 109-Яблунівська, 120-Новоукраїнська, 89, 102-Розпашнянська, 60-Юліївська, 60, 64 та 67 Матвіївська, 55-Личківська, 111, 131, 132-Березівська, 92, 99-Мелихівська, 800-Шебелинська.

Практично, рівняння в тому вигляді, у якому вони отримані за планом табл.3, у розрахунках не використовують. Застосовуючи умову нормованості факторів, було зроблено перерахунок функцій відгуку на фактичні вихідні величини. Остаточо отримали такі рівняння регресії

$$\begin{aligned} \max Y = & -1437,786 + 1,304F + 29,735L + \\ & + 2603,467l + 9,109 \cdot 10^{-3}F^2 - \\ & - 0,246L^2 - 2368,9l^2, \end{aligned} \quad (1)$$

$$\begin{aligned} \min Y = & -3238,21 + 9,255F + 34,035L + \\ & + 6752,04l - 1,672 \cdot 10^{-2}F^2 - \\ & - 0,316L^2 - 9757,256l^2, \end{aligned} \quad (2)$$

де maxY, minY – відповідно максимальна та мінімальна внутрішні сили (maxIFLn, minIFLn) на верхній границі прихоплення в післяударному періоді, кН. Інші позначення в рівняннях (1) та (2) відповідають наведеним у табл. 2.

Для встановлення оптимальних значень технологічних параметрів ліквідації прихоп-

лень з допомогою ударних механізмів з прийнятною для практичних цілей точністю достатньо побудувати графіки залежностей функцій відгуку від факторів у рівняннях. На рис. 1 наведено графіки зміни максимальних і мінімальних значень внутрішньої сили в проєкціях поверхні рівня на відповідні координатні площини.

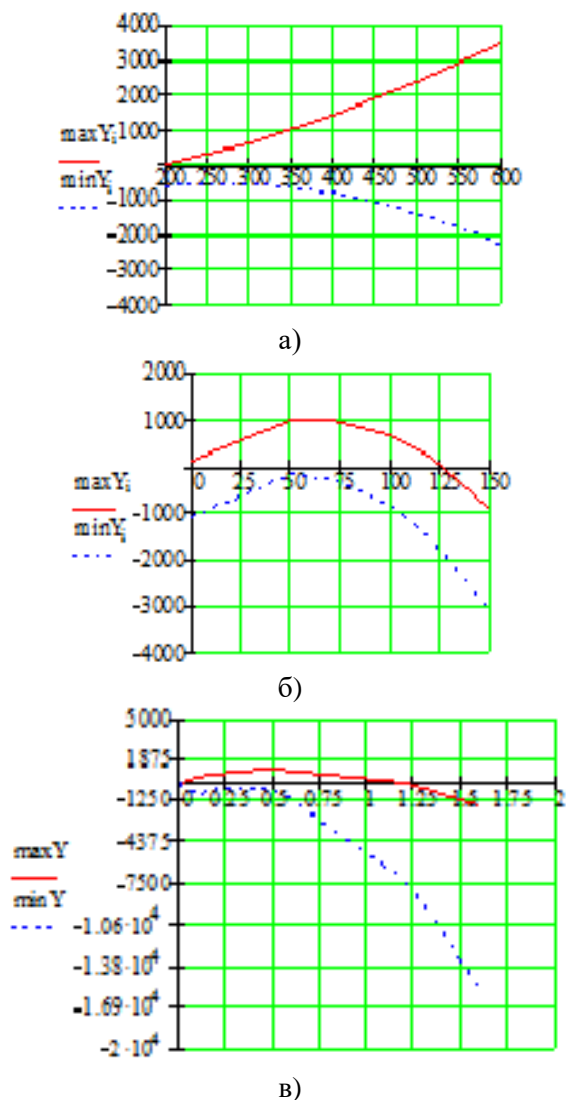


Рисунок 1 – Залежність максимальної та мінімальної внутрішньої сили від режимних параметрів ударного способу ліквідації прихоплення: а) сили розрядки яса; б) довжини ОБТ; в) ходу бойка

Із рис. 1а видно, що зміна сили розрядки яса виявляє слабонелінійний вплив на максимальне та мінімальне значення внутрішньої сили у зоні прихоплення в післяударному періоді. Якщо взяти до уваги чисто функціональну залежність між силою розрядки та внутрішньою силою удару, то ця залежність знаходиться у лінійній пропорції. Можливо, слабка нелінійність, отримана в результаті факторного експе-

рименту, пов'язана з видом квадратичної функції, застосованої у даному плані. Виходячи з графіка (рис. 1а), вплив сили розрядки яса на ефективність ліквідації прихоплення збільшується після досягнення значень 400-450кН, але на практиці дуже рідко застосовують такі значення сили натягу інструменту для створення ударів, що пов'язано з обмеженою міцністю труб, великими амплітудами коливань талевої системи під час нанесення ударів ясом і, як наслідок, погіршенням умов безпечного ведення аварійних робіт.

Вплив на внутрішню силу двох інших факторів, як це слідує з рис. 1б і в, має чітко виражений екстремум. Для довжини ОБТ над ясом цей екстремум відповідає значенню 50-70 м, а для ходу бойка яса – 0,3-0,6 м відповідно. Однак, прямо орієнтуватися на екстремальні значення з графіків можна тільки в тому випадку, якщо з допомогою технології ударної дії потрібно створити жорсткий удар, спрямований вгору. В інших випадках удар ясом по прихопленому інструменту буде менш жорстким, а якщо застосувати ОБТ довжиною більше 120м і ударний механізм із ходом бойка більше 1м, то можна перейти до імпульсно-хвильового, направленного вниз, режиму ліквідації прихоплення. При цьому результати розрахунків показують, що в імпульсно-хвильовому режимі ліквідації прихоплення більшої внутрішньої сили можна досягнути тільки завдяки великим робочим ходам УМ – від 1,5м та більше. Якщо брати до уваги конструктивні ходи бойка УМ, які найчастіше зустрічаються (від 0,16 до 0,35 м), то тут перевагу по створюваній внутрішній силі у післяударному періоді потрібно віддати саме ударному режиму роботи УМ.

З урахуванням вищенаведеного в табл. 4 подано рекомендації щодо вибору параметрів технології ліквідації прихоплення з допомогою ударних механізмів верхнього бою для різних категорій та видів прихоплення.

Взявши до уваги рекомендації, подані у табл. 4, розглянемо можливість застосування у складі КНБК двох окремих конструкцій бурового яса подвійної дії з механічними замковими пристроями.

Вартість виготовлення механічного замкового пристрою не повинна перевищувати вартості гідравлічної частини ГУМ, а виробничий процес виготовлення та ремонту цього вузла має забезпечувати ремонтна база бурового підприємства. З нашої точки зору, цій вимозі відповідає замковий вузол, що містить силову цапгу, закріплену в корпусі, та бурт, виконаний на штоку бурового яса. Експериментальні

Таблиця 4 – Рекомендації щодо вибору технологічних параметрів ліквідації прихоплення

Категорія і вид прихоплення	Параметри ударної дії		
	Сила розрядки яса, кН	Довжина ОБТ, м	Хід бойка, м
Прихоплення внаслідок перепаду тиску	> 200кН	Будь-яка, в т. ч. без ОБТ	≥ 0,16м
Розклинювання у звуженій частині при спуску	≥ 400кН	50-70м	0,3-0,6м
Розклинювання в жолобі при підйманні або у звуженій частині стовбура при підйманні	≤ 200кН	> 120м	> 1м
Розклинювання стороннім предметом	≤ 200кН або ≥ (400-450кН)	50-70м або >120м	0,3-0,6м або >1м

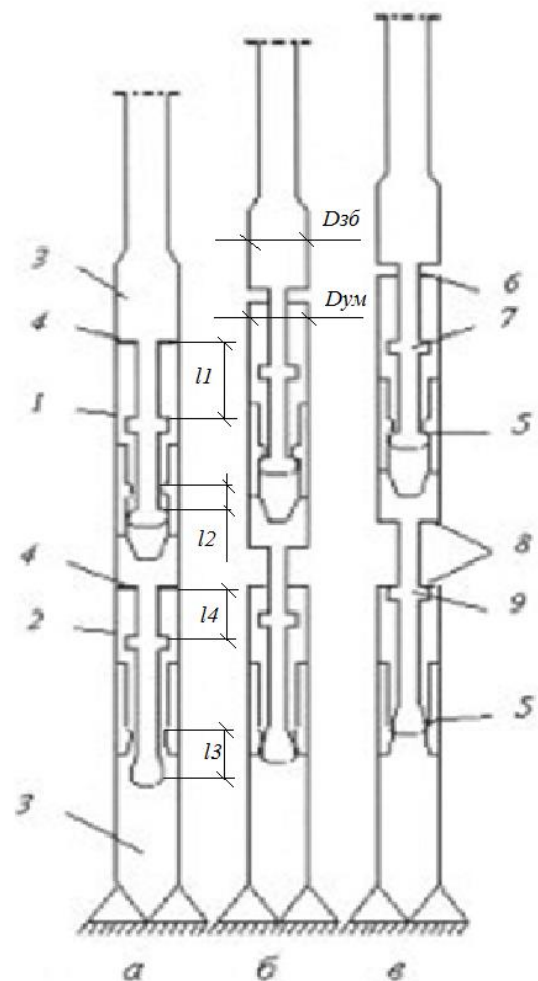
дослідження показали, що можна забезпечити стабільне спрацювання замкової пари цангового типу у межах 50..90кН на заряджання та 200..300кН на розряджання. Такі показники, особливо при розряджанні замкової пари, є гіршими за показники, що забезпечуються буровими ясами гідравлічного типу. Проте, на практиці відомі випадки, коли за швидкого введення в дію яса (коли сила прихоплення ще достатньо не сформована) добивалися звільнення прихопленого інструменту, наносячи серію ударів із силою розряджання яса до 300кН. Інші вимоги до конструкції бурового яса, а саме, застосування методів зміцнення робочих поверхонь штока та відповідної частини корпуса, яка взаємодіє зі штоком, залишаються в силі як для бурового яса гідравлічного типу, так і для бурового яса механічного типу.

Розглянемо спочатку можливість застосування зведеного бурового яса з ударом вгору, що наноситься верхнім ясом, та ударом вниз, що наноситься нижнім. Для нанесення ударних навантажень та зменшення ймовірності прихоплення КНБК необхідно витримати деякі геометричні співвідношення (рис. 2):

1) $l_1 - l_2 = l_{обв}$, де l_1 - відстань між бойком та ковадлом верхнього яса у зімкнутому положенні; l_2 - відстань між робочими поверхнями замкового вузла верхнього яса у зімкнутому положенні; $l_{обв}$ - хід бойка на удар верхнього яса;

2) $l_3 = l_4 = l_{обн}$, де l_3 - відстань між робочими поверхнями замкового вузла нижнього яса у зімкнутому положенні; l_4 - хід обмежувача бойка нижнього яса; $l_{обн}$ - хід бойка на удар нижнього яса;

3) $D_{ум} \leq D_{зб}$, де $D_{ум}$ - зовнішній діаметр яса; $D_{зб}$ - зовнішній діаметр замків бурильних труб, або ОБТ, розміщених над ясом.



1,2 – бурові яси; 3 – ОБТ; 4 – поверхні передачі навантаження на долото; 5 – замкові пари цангового типу; 6 – ковадло; 7 – бойок; 8 – ударні поверхні для ударів вниз; 9 – обмежувач ходу штока

Рисунок 2 – Розміщення рухомих частин УМ із механічними замковими парами на різних етапах роботи

Серед типових виробничих операцій, які виконуються під час застосування ударних механізмів у ловильному варіанті (таких як роз'єднання прихоплених труб у свердловині, піднімання вільної частини труб на поверхню, підбір ударного механізму разом з ударною компоновкою, спуск ударної компоновки і з'єднання із залишеним прихопленим інструментом, нанесення ударів у потрібному напрямку) запропоновано [1] технологію ліквідації прихоплень, яка передбачає також визначення дисипативних параметрів за рахунок вимірювання сил опору при переміщенні труб у свердловині та поєднання УМ разом зі встановленням ванн, а також застосування акселератора УМ. Даються також спеціальні вказівки щодо характерних ситуацій застосування ударного способу дії на місце прихоплення.

Досвід ліквідації прихоплень на площах ДДЗ [1] наглядно демонструє, що застосування нафтових ванн у комплексі з динамічною дією ударними механізмами забезпечує позитивний результат. Механізм вивільнення прихопленого інструменту під час нанесення періодичних ударних навантажень разом із встановленням нафтової ванни залежить від умов виникнення прихоплення, величини і природи утримуючої сили.

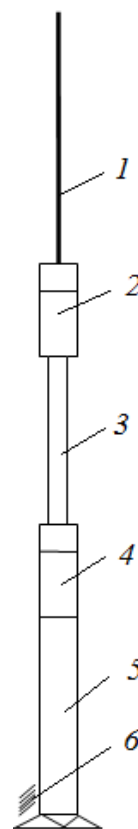
У доударному періоді на верхній границі прихоплення максимальні (або пікові) значення динамічної складової внутрішньої сили у вільній частині прихоплених труб є постійними до нанесення удару ясом і високочастотними, так як довжина неприхопленої частини цих труб дуже мала у порівнянні з довжиною аварійної колони.

Коливання силових хвиль в аварійній колоні у доударному періоді відбуваються з низькою частотою внаслідок великої довжини цієї колони та наявності ОБТ над ясом, і, відповідно, мають більшу амплітуду.

У момент удару бойка по ковадлу яса коливання у вільній частині прихоплених труб і коливання в аварійній колоні (неприхопленій частині) накладаються, породжуючи своєрідний «сплеск» або імпульс результуючої хвилі. Якщо природа утримуючої сили є такою, що позитивного результату можна досягнути, створюючи силові хвилі, направлені по чергово як вгору, так і вниз, (наприклад, при прихопленні від перепаду тиску), то за допомогою регулювання режимних параметрів ударного способу або інших, котрі є доступними при реалізації даної технології, досягають максимізації розмаху динамічної складової внутрішньої сили.

Якщо відповідно до природи утримуючої сили необхідно створити направлену або вгору, або вниз дію на прихоплений інструмент, наприклад при заклинюванні в жолобі або в звуженій частині стовбура, то, змінюючи технологічні та інші параметри, необхідно добитися максимізації (чи мінімізації в залежності від необхідності) однієї з внутрішніх сил. Ретельне вивчення випадків застосування ударних механізмів на площах ДДЗ, а також велика кількість виконаних розрахунків [1] дають підстави стверджувати, що фізичні процеси імпульсно-хвильового режиму присутні в коливальних системах також і в ударному режимі ліквідації прихоплення, якщо ударні механізми розташовані на деякій, навіть незначній, відстані від місця прихоплення.

Наведені вище висновки, зроблені на базі розрахунків [1], покладені в основу створення методу акселерації удару з двома УМ подвійної дії однакового напрямку «удар вгору» або «удар вниз». Як приклад, схематичне розміщення УМ верхнього бою в КНБК при цьому продемонстровано на рис. 3.



1 – колона бурових труб; 2, 4 – УМ верхнього бою; 3 – товстостінні бурові труби (ТБТ); 5 – КНБК; 6 – зона прихоплення

Рисунок 3 – Схема розміщення двох УМ подвійної дії однакового напрямку удару

Для практичної реалізації ефекту прискорення ударної хвилі необхідно реалізувати такі умови:

1) конструкції УМ 2 та 4 на рис.3 мають забезпечувати одну і ту ж саму величину сили розрядки замкової пари;

2) ходи бойка верхнього 2 та нижнього 4 УМ разом із довжиною колони ТБТ 3 мають бути узгоджені таким чином, щоб у після ударного періоді напрям розповсюдження ударної хвилі в колоні ТБТ 3 та в колоні БТ 1 співпадав (був направлений вгору) та пісиливав ударну хвилю за амплітудою.

За цих умов при натягу колони труб на величину сили розрядки УМ спочатку буде спрацьовувати замкова пара верхнього УМ, оскільки під цим УМ розміщено додаткову вагу колони ТБТ. Від удару верхнього яса у наступний момент повинна спрацьовувати замкова пара нижнього яса. Далше потрібно розрахувати і встановити ходи бойка обох УМ та довжину колони ТБТ таким чином, щоб забезпечити резонанс від коливальних процесів у аварійній колоні, колоні ТБТ та в колоні БТ. Не виключено, що для цього бурові яси мають бути з регульованими з поверхні ходами бойка, а сама аварійна колона – бути забезпеченою датчиком резонансу з показуючим пристроєм на пульті бурової установки.

Таким чином, забезпечення КНБК двома буровими ясами дасть можливість реалізувати параметри КНБК, які б одночасно сприяли покращенню показників механічного буріння, проводки похило-скерованих свердловин у заданому напрямку та енергетичних характеристик ліквідації заклинювань КНБК ударною та імпульсно-хвильовою діями. Застосування КНБК чи аварійної компоновки з двома окремими ясами надає більші можливості із пристосуванням до певних умов ліквідації прихоплення та вибору кращих параметрів динамічних навантажень на прихоплений інструмент.

Висновки

1. Застосування ударних механізмів для ліквідації прихоплення може бути ефективним тільки у випадках, якщо параметри режиму нанесення ударів (режиму технології) строго відповідають природі утримуючої сили та компоновці аварійного інструменту. У силу цього кращим варіантом застосування ударного механізму є ловильний варіант.

2. Якщо ударний механізм застосовується у вмонтованому в КНБК при бурінні варіанті, то через невизначеність місця та причини виникнення прихоплення, ефективних значень ди-

намічних параметрів дії на прихоплений інструмент на практиці реалізувати швидше за все не вдасться. У цьому випадку ліквідація прихоплення буде відбуватися за рахунок негайної ударної дії по ще не повністю сформованій утримуючій силі. Але й тут потрібні відомості про природу формування утримуючої сили, оскільки в іншому випадку існує ймовірність того, що прихоплення можна ускладнити. Аналіз виникнення та ліквідації прихоплення на окремих площах ДДЗ може допомогти у виборі місця розташування бурового яса в КНБК.

3. Кращими конструкціями бурового яса, окрім загальновідомих вимог щодо їхнього виготовлення з позицій міцності та зносостійкості, слід визнати такі, які реалізують чисто ударний режим роботи з двома замковими парами для нанесення вибіркового вгору-вниз ударів по прихопленому інструменту. З позицій цього запропоновано застосовувати дві окремі конструкції бурового яса з механічними замковими парами. Забезпечення КНБК двома буровими ясами різносторонньої та селективної «удар вгору – удар вниз» дії дасть можливість реалізувати параметри КНБК, які б одночасно сприяли покращенню показників механічного буріння, проводки похило-скерованих свердловин у заданому напрямку та енергетичних характеристик ліквідації заклинювань КНБК ударною дією.

4. З метою акселерації ударної хвилі запропоновано використовувати здвосні УМ подвійної дії однакового напрямку удару «тільки вгору» або «тільки вниз». Акселерація динамічних навантажень на прихоплений інструмент відбувається завдяки використанню подвійного жорсткого удару, підсиленого імпульсно-хвильовою дією труб, розташованих між УМ.

Література

1. Мислюк М.А., Рибчич І.Й., Яремійчук Р.С. Буріння свердловин: Довідник. Т. 5: Ускладнення. Аварії. Екологія. Київ: Інтерпрес ЛТД, 2004. 376с.
2. www.slb.com/resource-library/case-study/dr/integrated-premier-oil-indonesia-cs
3. Oliveira V.C., Martinez M.A., Zahrani B.S., Abouelnaai K.K. A Study of Drilling Jar Utilization and Effectiveness in the Kingdom of Saudi Arabia. *SPE Oil and Gas India Conference and Exhibition*. April 4-6, 2017. ISBN 978-1-61399-532-7.

4. Askew W.E. Computerized Drilling Jar Placement. *IADC/SPE Drilling Conference*. February 9-12, 1986. Dallas, Texas. ISBN 978-1-55563-621-0.

5. Selvik J.T., Aven T. An extended Bayesian updating approach to support product selection based on performance testing – A drilling jar case. *Reliability, Risk and Safety: Theory and Applications*. Taylor & Francis Group, London, 2010. ISBN 978-0-415-55509-8.

6. Мисак В.Ф. Методи ідентифікації статистичних характеристик об'єктів керування. Київ: вид-во КПІ, 2009. 62 с.

7. Тихомиров В.Б. Планирование и анализ эксперимента. Москва: Легкая индустрия. 1974. 262 с.

References

1. Mysluk M.A., Rybchych I.Y., Yaremiychuk R.S. Burinnya sverdlovin. Dovidnyk . T5: Uskladnennya. Avarii. Ekolohia. K.: Interpres LTD, 2004. 376 p. [in Ukrainian]

2. www.slb.com/resource-library/case-study/dr/integrated-premier-oil-indonesia-cs

3. Oliveira V.C., Martinez M.A., Zahrani B.S., Abouelnaai K.K. A Study of Drilling Jar Utilization and Effectiveness in the Kingdom of Saudi Arabia. *SPE Oil and Gas India Conference and Exhibition*. April 4-6, 2017. ISBN 978-1-61399-532-7.

4. Askew W.E. Computerized Drilling Jar Placement. *IADC/SPE Drilling Conference*. February 9-12, 1986. Dallas, Texas. ISBN 978-1-55563-621-0.

5. Selvik J.T., Aven T. An extended Bayesian updating approach to support product selection based on performance testing – A drilling jar case. *Reliability, Risk and Safety: Theory and Applications*. Taylor & Francis Group, London, 2010. ISBN 978-0-415-55509-8.

6. Mysak V.F. Metody identyfikatsii statystychnykh kharakterystyk obyektiv keruvannya. Kyiv: KPI, 2009. 62 p. [in Ukrainian]

7. Tikhomirov V.B. Planirovanie i analiz experimenta. Moskva. Lehkaya Industriya, 1974. 262 p. [in Russian]