

## ДОСЛІДЖЕННЯ УМОВ ЕФЕКТИВНОГО ЗАСТОСУВАННЯ БУРОВОГО ЯСА НА МАЛИХ ГЛИБИНАХ

*В.М. Чарковський*

*ІФНТУНГ; 76019, м. Івано-Франківськ, вул. Карпатська, 15, тел. (0342) 727144,  
e-mail: eko.n.p.id@nuing.edu.ua*

*Охарактеризовано різні способи вивільнення КНБК від втрати рухомості у свердловині з точки зору витрат ресурсів. Показано, що найменшими ресурсними витратами характеризується технологія ліквідації аварій за допомогою бурового яса. Запропоновано нелінійну математичну модель для визначення умов роботи бурового яса на малих глибинах. За цією моделлю можна розраховувати переміщення верхнього перерізу аварійної колони для рухомих з'єднань між вертлюгом та буровим гаком. Виконано основні дослідження на базі запропонованої моделі. За результатами досліджень сформульовано основні вимоги до режимних параметрів роботи бурового яса на малих глибинах. Доведено, що переміщення верхнього перерізу аварійної колони при роботі бурового яса можуть бути значними. Даються рекомендації щодо вибору ефективних умов нанесення ударних навантажень.*

*Ключові слова: математична модель, верхні граничні умови, буровий яс.*

*Дана характеристика різних способів освоєння КНБК від втрати подвижності в скважині з точки зору витрат ресурсів. Показано, що найменшими ресурсними витратами характеризується технологія ліквідації аварій з допомогою бурового яса. Предложена нелинейная математическая модель для определения условий работы бурового яса на малых глубинах. По этой модели можно рассчитывать перемещения верхнего сечения аварийной колонны для подвижных соединений между вертлюгом и буровым крюком. Выполнены основные исследования на базе предложенной модели. По результатам исследований сформулированы основные требования к режимным параметрам работы бурового яса на малых глубинах. Доказано, что перемещения верхнего сечения аварийной колонны при работе бурового яса могут быть значительными. Даются рекомендации по выбору эффективных условий нанесения ударных нагрузок.*

*Ключевые слова: математическая модель, верхние граничные условия, буровой яс.*

*The characteristic of different ways for releasing a stuck BHA in a well is provided from the point of view of resources utilization. It is shown that the least resources utilization characterizes methods for fishing operations with the help of a drilling jar. A nonlinear mathematical model to determine conditions of the drilling jar operation at shallow depths was developed. The mathematical model can calculate movement of the upper section of the emergency drillstring for movable joints between swivel and drilling hook. The main studies were conducted on the basis of the developed model. The major requirements for operational parameters of the drilling jar at shallow depths were formulated on the basis of the study results. It is proved that the movement of the upper section of the emergency drillstring can be significant when the drilling jar operates. The recommendations for choosing effective conditions for delivering shock loads are provided.*

*Key words: mathematical model, upper boundary conditions, drilling jar.*

### **Постановка проблеми дослідження**

Переважає більшість досліджень динаміки роботи бурового (або ловильного) яса, що виконувалися раніше, базувалася на вхідних даних, взятих із практики буріння глибоких свердловин на нафту й газ [1]. Сучасні умови господарювання у нафтовидобутку на Прикарпатті відзначаються залученням малих підприємств приватної та колективної форм власності для дорозробки старих родовищ, а також бурових робіт на малодобірних площах. Умови буріння при цьому у своїй переважній більшості характеризуються невеликою (до 1200м) глибиною свердловин та значним зносом бурового обладнання й інструменту. Поєднання цих умов призводить до того, що верхні нестійкі геологічні горизонти розбурюються досить тривалий період часу, інколи до декількох місяців. Як наслідок, тривала взаємодія системи «буровий розчин – бурильна колона – стінки свердловини» призводить до зменшення міцності гірських порід з подальшим виникненням таких ускладнень, як осипання порід, кавернуотво-

рення, жолобоутворення, які, у свою чергу, є першопричинами непередбачуваної втрати рухомості колони труб у свердловині.

### **Огляд останніх досліджень і публікацій**

Виконавці бурових робіт для попередження подібних геологічних ускладнень традиційно приділяють підвищену увагу до якості бурових розчинів, використовуючи сучасні полімерні добавки для зменшення водовіддачі та добавки-інгібітори для зміцнення стінок свердловини. Але за такого підходу виникає інша проблема – проблема економії коштів на витратах, що характерно для малих підприємств приватної та колективної форм власності. Якими би не були досконаліми розрахунки на предмет знаходження збалансованості між витратами на буріння і непередбачуваними явищами у свердловині, спричиненими геологічними умовами, вони не можуть повністю виключити імовірність виникнення аварійної ситуації [2]. А тому як невеликі бурові підприємства, так і великі бурові підприємства повинні мати в своєму запасі

Таблиця 1 – Порівняння способів ліквідації аварій, що застосовуються найчастіше

Спосіб	Залучені додаткові ресурси			
	Витрати часу бурової бригади	Послуги інших підрозділів та організацій	Обладнання: цементувальні агрегати, геофізичне обладнання	Інші механізми та матеріали
1. Встановлення ванни	+	-	+	+
2. Торпедування	+	+	+	+
3. Застосування пакера (зниження рівня)	+	-	-	+
4. Застосування бурового яса	+	-	-	+
5. Оббурювання	+	+	-	+

традиційні способи і відповідні методи ліквідації аварій з колоною бурильних труб при бурінні в тому числі неглибоких свердловин.

У табл. 1 наведено порівняльний аналіз способів ліквідації аварій, що застосовуються найчастіше і пов'язані з втратою рухомості колони бурильних труб, з точки зору додаткових на ліквідацію аварії витрат.

Застосування пакера та зниження рівня бурового розчину з метою звільнення бурильного інструменту від перепаду тиску є небезпечним з точки зору виникнення іншого геологічного ускладнення – флюїдопроявів, а тому рекомендується тільки за певних безпечних умов виконання аварійних робіт та геологічних умов, за яких труби втратили рухомість.

Оббурювання інструменту, що тимчасово втратив рухомість у свердловині, є гарантованим, але водночас – найвитратнішим способом ліквідації аварії через значні витрати часу та матеріалів при роботі бурової установки та бурової бригади. Технологія виконання цих робіт передбачає також значні витрати часу та засобів на виготовлення оббурювальних фрезерів із обсадних труб та інших матеріалів. Фрезери характеризуються індивідуальною конструкцією, яка розробляється з урахуванням геометрії залишеного у свердловині інструменту. Якщо залишений інструмент великої довжини, то час оббурювання може перевищувати час буріння свердловини в аналогічному інтервалі. Після оббурювання певної частини залишеного у свердловині інструменту оббурювальний фрезер піднімають і опускають бурильний інструмент, щоб відкрити частину вже звільненого інструменту та підняти його на поверхню. У деяких випадках відкрити залишений інструмент аварійною колоною, складеною бурильними трубами із правою різьбою, не вдається. У цих випадках на бурову завозять бурильні труби з лівою різьбою і заново складають аварійну колоною із цих бурильних труб, що вимагає ще більше часу та коштів на ліквідацію аварії.

Серед наведених способів (табл.1) найприближчим з точки зору додаткових витрат є застосування бурового яса або ударного механізму (УМ), що узгоджується із класифікацією способів, поданою в роботі [1]. Щодо загальноприйнятої термінології, то термін «ударний ме-

ханізм» частіше вживають для бурового яса із гідравлічним замковим пристроєм, який прийнято застосовувати на великих глибинах та з великими зусиллями створення ударів. Напевно, саме у зв'язку із цими умовами застосування прийнято вважати, що гідравлічні ударні механізми мають кращі енергетичні параметри при нанесенні ударних навантажень, ніж їх простіші за конструкцією механічні аналоги. Термін «механічний яс» стосується ударного механізму із замковим пристроєм механічного типу. Якщо дати об'єктивну оцінку двом типам УМ, то гідравлічний яс переважатиме механічний з точки зору зносостійкості замкового пристрою. Це є суттєвою перевагою у ресурсі роботи УМ гідравлічного типу, хоча з точки зору економії на витратах тут також не все однозначно, тому що гідравлічні УМ, як правило, дорожчі за механічні.

Також існують обмеження на температурні умови у свердловині при застосуванні гідравлічних УМ. Справа в тому, що гідравлічний тип замкового пристрою може спрацьовувати на розрядку тільки за наявності в'язкого мастила всередині корпусу УМ. При високих температурах в'язкість масла зменшується, а значить зменшується зусилля, яке дає можливість створити необхідної величини пружну деформацію аварійної колони для забезпечення достатньої сили удару. Така ситуація призводить до того, що або гідравлічний УМ потрібно заправляти спеціальними рідинами, або взагалі замінювати їх механічними ясами. Як правило, існуючі конструкції УМ гідравлічного типу призначені для застосування у свердловинах з температурним режимом до 100°C. Інша проблема при застосуванні гідравлічних УМ пов'язана із високими перепадами тисків всередині корпусу та у свердловині, що призводить до заміни мастила буровим розчином та, як наслідок, втрати енергетичних характеристик. Але ця проблема у сучасних конструкціях УМ гідравлічного типу вирішена завдяки застосуванню спеціальних термобарокомпенсаторів. На теперішній час УМ як гідравлічного, так і механічного типів досить поширені завдяки відносно нескладній та недорогій технології свого застосування.

Що стосується термінів «буровий яс» та «ловильний яс», то вони походять від того, як

сама застосовують УМ. Якщо УМ застосовують у складі КНБК постійно при бурінні свердловини, то вживають термін «буровий яс». Якщо УМ спеціально спускають у свердловину для виконання аварійних робіт, то кажуть, що буровий яс використовують у ловильних роботах або вживають термін «ловильний яс». У вітчизняній практиці саме останній варіант застосування УМ (ловильний варіант) є найбільш поширеним.

Технологія виконання ловильних робіт також нескладна. Спочатку вибирають місце роз'єднання колони. При цьому враховують не тільки природу та місце виникнення утримуючої сили, але і наявність каверн поблизу та склад колони у місці роз'єднання. Для роз'єднання у вибраному місці колону натягують із силою, розрахованою таким чином [1], щоб різьбове з'єднання, яке має відкручуватися не знаходилося під навантаженням. Якщо відкрити різьбу все ж таки не вдається або вдається набагато вище від визначеного місця, то до виконання робіт залучають геофізичну партію і в колону бурильних труб спускають торпеду, вибухова хвиля якої послаблює різьбу. Після роз'єднання та підйому на поверхню бурильних труб, збирають та спускають аварійну колону у складі «безпечний перевідник – УМ – ОБТ – бурильні труби». Безпечний перевідник тут потрібен для наступного гарантованого роз'єднання у випадку необхідності підняти УМ. Після того, коли аварійну колону спустили майже до «голови» залишеного інструменту, то обов'язково запускають бурові насоси і фіксують тиск промивання. Потім дуже обережно з прокручуванням допускають колону до попередньо визначеного місця, слідкуючи за тиском. Ріст тиску свідчить про те, що різьба ніпеля безпечного перевідника зайшла в різьбу муфти залишеного інструменту. Після цього насоси відключають, різьбу закручують під невеликим розвантаженням колони і приступають до створення ударних навантажень з допомогою УМ.

#### Невирішені частини проблеми дослідження

Окрім врахування необхідної величини пружної деформації аварійної колони, єдине спірне питання, яке може вирішити застосовувати чи не застосовувати бурові яси на невеликих глибинах – це вплив вібрації та коливальних процесів на стан наземного бурового обладнання, в першу чергу – на стан та стійкість талевої системи бурової установки. Якщо перший фактор детально враховується в інструкціях із застосування УМ гідравлічного типу, то для відповіді на друге питання потрібно скласти та досліджувати математичні моделі.

**Мета даної статті** – оцінити умови та ефективність застосування бурового яса при провдці відносно неглибоких свердловин.

#### Виклад основного матеріалу

Для цього у даній статті використано математичну модель [3], побудовану на вільних

поздовжніх коливаннях зосереджених мас на невагомих пружних елементах. Бурильна колона представлена 20-ма зосередженими масами. Для врахування коливань талевої системи бурової установки в системі диференціальних рівнянь додатково сформовано диференціальне рівняння, що описує коливання гакоблока на талевому канаті. Це дозволило змоделювати верхню граничну умову, яка має місце в реальній механічній системі. Разом з тим, система лінійних диференціальних рівнянь [3] перетворилася на нелінійну математичну модель, яку вдалося розв'язати за допомогою програмних засобів у математичному пакеті *Mathcad*, змінюючи початкові умови розв'язку рівнянь на певному етапі коливального процесу. При цьому враховувалося, що на певному етапі коливального процесу переміщення верхнього перерізу колони вниз здійснюються масами вертлюга, гака та талевого блока разом, а переміщення вгору – це переміщення тільки вертлюга.

Таким чином, основною математичної моделі стала система диференціальних рівнянь

$$M_0 x_0'' + c_0 x_0 - c_1 (x_1 - x_0) = 0, \quad (1)$$

$$m_0 x_0'' + c_1 (x_1 - x_0) = 0, \quad (2)$$

$$m_i x_i'' + h_i x_i' + c_i (x_i - x_{i-1}) = 0, \quad (3)$$

що розв'язується за початковими умовами

$$x_i(t=0) = \frac{-F_{ii}}{c_i}, \quad (4)$$

$$x_i'(t=0) = 0, \quad (5)$$

де індекс  $i$  стосується відповідної маси  $m_i$  коливальної системи;

$M_0$  та  $m_0$  – маси гакоблока з вертлюгом та вертлюга на різних етапах коливального процесу;

$x_i$  – переміщення відповідної маси;

$F_{ii}$  – сила натягу аварійної колони, необхідна для розрядки бурового яса;

$c_i$  – жорсткість  $i$ -го пружного елемента;

$h_i$  – коефіцієнт в'язкого опору у свердловині на ділянці коливання  $i$ -ої маси.

У системі (1), (2) та (3) на певному етапі коливань необхідно вибрати між рівняннями (1) та (2), які доповнюватимуть решту системи (3). При цьому бралось до уваги, що жорсткості талевого канату та колони бурильних труб є різними, а зчеплення між вертлюгом та гакоблоком працює тільки на розтяг. Якщо переміщення  $x_1$  вертлюга стане більшим за переміщення  $x_0$  гакоблока, то рівняння (1) в системі потрібно замінити на рівняння (2) і навпаки, рівняння (2) потрібно виключити із системи рівнянь у випадку, якщо вся коливальна система працює тільки на розтяг.

За нелінійною математичною моделлю із 20-ма степенями вільності, виконані розрахунки для оцінки можливих переміщень маси вертлюга при роботі бурового яса, а також коливальних процесів системи «аварійна колона – буровий яс – заклинений інструмент» у післяударному періоді. Результати розрахунків представлено у табл.2 – табл.5.

**Таблиця 2 – Результати дослідження коливальних процесів у післяударному періоді при ході бойка УМ 50мм**

Довжина колони, м	Сила розрядки бурового яса, кН					
	50	100	150	200	250	300
Максимальні переміщення, мм: у чисельнику – сумарні переміщення додатного півперіоду коливальних, у знаменнику – сумарні переміщення всієї коливальної системи у початковому півперіоді коливальних						
200	-	-	-	33/-76	63/-104	85/-140
300	-	-	37/-97	55/-148	81/-196	112/-238
400	-	22/-82	45/-149	64/-220	90/-290	124/-343
500	-	30/-120	54/-204	78/-290	104/370	134/-450
600	2/-13	35/-150	62/-260	98/-360	134/-455	167/-556
800	4/-88	47/-243	77/-360	116/-500	152/-630	200/-770
1000	7/-120	53/-297	90/-467	144/-636	180/-810	218/-978
1200	9/-159	59/-365	105/-566	170/-780	230/-980	271/-1181
Максимальний розмах швидкостей, м/с						
200	-	-	-	60,9/-45,8	82,4/-60,5	98,6/-74,2
300	-	-	66,9/-57	90,6/-76,7	115,9/-97,4	140/-117,3
400	-	58,9/-52,1	88,3/-76,5	119,1/-104,8	147,4/-128,6	173,4/-152,2
500	-	71,4/-64	110,2/-99	145,4/-127,5	180/-161,8	218,3/-194,4
600	10,7/-9,7	87,7/-78,9	134/-120,3	173,3/-154,7	219,3/-196,8	260,3/-235
800	56/-51,9	115,6/-104,8	177,1/-159,1	238,8/-210,2	286,1/-264,2	348,5/-322,7
1000	71,9/-66	144/-135,6	222,8/-202,1	300/-265,4	363,9/-333,9	419,2/-401,9
1200	91/-84,8	178,9/-165,2	255,3/-247,2	356,4/-330,6	462,7/-434,6	544,4/-488,3

**Таблиця 3 – Результати дослідження коливальних процесів у післяударному періоді при ході бойка УМ 100мм**

Довжина колони, м	Сила розрядки бурового яса, кН					
	50	100	150	200	250	300
Максимальні переміщення, мм: у чисельнику – сумарні переміщення додатного півперіоду коливальних, у знаменнику – сумарні переміщення всієї коливальної системи у початковому півперіоді коливальних						
200	-	-	-	-	-	39/-44
300	-	-	-	19/-37	56/-138	73/-190
400	-	-	8/-30	44/-160	75/-230	100/-300
500	-	-	22/-150	61/-240	99/-320	130/-410
600	-	3/-19	45/-209	72/-310	110/-418	140/-510
800	-	6/-180	50/-315	85/-460	120/-596	150/-720
1000	-	15/-250	64/-423	105/-601	155/-762	217/-930
1200	-	17/-320	67/-530	118/-731	178/-935	226/-1130
Максимальний розмах швидкостей, м/с						
200	-	-	-	-	-	74,5/-57,9
300	-	-	-	50,3/-39,8	108,7/-92,3	135,7/-114,6
400	-	-	35,1/-30	117,9/-104,1	145,4/-127,3	177,7/-153,7
500	-	-	108,2/-96,7	143/-127,9	182/-163,8	217,5/-194,8
600	-	13,9/-12,1	128,8/-117,5	172,9/-156,3	218,4/-195,9	256,7/-236,4
800	-	113,8/-104,5	175,7/-159,4	236,4/-215,5	296,3/-269,2	353,1/-319,2
1000	-	147,9/-137,2	218,3/-207,9	288/-272,4	353/-331,9	445,4/-401,6
1200	-	176,8/-167,1	279,8/-252,8	369,8/-327,3	457,8/-436,5	554,6/-499,5

Таблиця 4 – Результати дослідження коливальних процесів у післяударному періоді при ході бойка УМ 200мм

Довжина колони, м	Сила розрядки бурового яса, кН					
	50	100	150	200	250	300
Максимальні переміщення, мм: у чисельнику – сумарні переміщення додатного півперіоду коливань, у знаменнику – сумарні переміщення всієї коливальної системи у початковому півперіоді коливань						
200	-	-	-	-	-	-
300	-	-	-	-	-	-
400	-	-	-	-	-	15/-83
500	-	-	-	-	8,2/-152	41/-305
600	-	-	-	6/-34	30/-298	79/-417
800	-	-	11/-12	18/-340	59/-493	120/-630
1000	-	-	13/-309	38/-460	77/-669	110/-840
1200	-	-	14/-425	50/-640	90/-850	124/-1057
Максимальний розмах швидкостей, м/с						
200	-	-	-	-	-	-
300	-	-	-	-	-	-
400	-	-	-	-	-	86,6/-72,8
500	-	-	-	-	125/-112,9	216,3/-190,9
600	-	-	-	24,2/-24,2	213,6/-188,7	262,8/-234,3
800	-	-	22,1/-23,3	233,8/-211,4	284,8/-263,8	342,8/-313,5
1000	-	-	209,2/-195,9	277/-249,3	370/-345	437,2/-416,8
1200	-	-	274,6/-260,5	367,9/-339,9	455,3/-429,3	540,7/-530,1

Таблиця 5 – Величини пружних деформацій колони (мм) для попередніх розрахунків

Довжина колони, м	Сила розрядки бурового яса, кН					
	50	100	150	200	250	300
200	-	-	-	0,071	0,088	0,106
300	-	-	0,08	0,106	0,133	0,159
400	-	0,071	0,106	0,141	0,177	0,212
500	-	0,088	0,133	0,177	0,221	0,265
600	0,053	0,106	0,159	0,212	0,265	0,318
800	0,071	0,141	0,212	0,283	0,353	0,424
1000	0,088	0,177	0,265	0,353	0,442	0,53
1200	0,106	0,212	0,318	0,424	0,53	0,636

Наявність прочерків у таблицях – це факт того, що удару або не створюється взагалі, або він такої незначної сили, за якої можливий ефект відскоку бойка від ковадла. Це пов'язано з ходом бойка УМ і характерно для тих випадків, коли хід бойка менше-рівний за величину пружної деформації аварійної колони (табл.5). При цьому розрахунки виконувалися для таких вхідних даних: бурильні труби  $\text{Ø}89 \times 11$  мм; коефіцієнт в'язкого опору у свердловині  $h_1 = 3\text{с}^{-1}$ ; відстань від кронблока до талевого блока 12м; оснастка талевої системи 3×4; діаметр талевого каната 25мм; маса вертлюга 1226кг; маса гака 930кг; маса талевого блока 2515кг; в аварійній колоні ОБТ над УМ відсутні; заклинений інструмент, що може деформуватися в межах пружних деформацій представлений трубою  $\text{Ø}89 \times 11$  мм, довжина якої 10м.

З наведених у табл.2 – табл.5 результатів розрахунків слідує, що окрім традиційно прийнятих [1] факторів ефективності роботи УМ на великих глибинах, таких як довжини робочого ходу бойка УМ та сили розрядки його замкового пристрою, жорсткості інструменту, що розміщується в аварійній колоні вище та нижче УМ, наявності та довжини ОБТ в ударній компоновці, сили опору у свердловині, на невеликих глибинах потрібно додатково враховувати величину пружної деформації та переміщення верхнього перерізу аварійної колони.

Інший очевидний висновок, який слідує із результатів розрахунків, наведених у табл.2 – табл.5 – це необхідність застосовувати УМ з невеликими робочими ходами бойка, а ще краще застосовувати спеціальні конструкції УМ з регульованими ходами. Така необхідність обу-

мовлена обмеженнями на максимальні переміщення верхнього перерізу аварійної колони у процесі створення ударів з одного боку та максимізацією сили удару з іншого. А тому перевагу тут потрібно надавати буровим ясам з механічним типом замкового пристрою, так як гідравлічні УМ мають подовжений хід бойка, якщо враховувати додаткове переміщення поршня гідравлічного УМ у камері високого тиску.

Збільшення сили розрядки бурового яса з одного боку бажане для отримання необхідної величини пружної деформації аварійної колони, але з іншого – небажане, так як це збільшує коливання верхнього перерізу аварійної колони і таким чином негативно впливає на стійкість наземного обладнання бурової установки. Зменшення довжини аварійної колони або зменшення глибини виникнення ускладнення призводить до необхідності збільшувати силу розрядки, тому що тільки таким чином на невеликих глибинах можна створити потрібної величини пружну деформацію аварійної колони, необхідної у свою чергу для створення ударів. Вирішити ці дилеми можна тільки за допомогою програмних засобів розрахунку у тих чи інших конкретних умовах ліквідації аварії з допомогою бурового яса з потрібним підбором режимних параметрів нанесення ударних навантажень. До режимних параметрів роботи бурового яса відносять: силу роз'єднання замкового пристрою яса, хід бойка на удар та масу ОБТ вище яса, або, ще кажуть, масу молота в складі аварійної колони. За дослідженнями [1,4] коливальні процеси в молоті можуть суттєво впливати на силу удару, а значить – впливати на переміщення верхнього перерізу аварійної колони.

Зупинимося на деяких більш конкретних рекомендаціях із застосування бурового яса на невеликих глибинах, що слідує із результатів табл.2 – табл.5. Так, якщо задатися питанням, чи можна застосовувати типову конструкцію механічного бурового яса, виготовленого з ОБТ з конусною замковою парою та ходом бойка 200мм, то ствердно відповідь можна дати тільки за умови максимальних режимних параметрів його застосування. Тобто (табл.4), цей тип УМ у даних умовах потребуватиме відносно великої сили розрядки, що протипоказано як самій конструкції [1], так і є небезпечним з точки зору недопустимих переміщень елементів талевої системи. Якщо призначити більш характерну для даної конструкції бурового яса силу розрядки до 200-250кН, то може виявитися, що в певних умовах сила удару буде недостатньою для звільнення бурильного інструменту від утримуючих зв'язків.

Якщо бурове підприємство у своїх механічних майстернях може самостійно виготовляти найпростіші конструкції бурового яса з конусною замковою парою і з різними ходами бойка, то тут потрібно мати на увазі наступне. Оптимальні умови для застосування бурового яса будуть тоді, коли забезпечити максимальне сумарне переміщення коливальної системи або максимальний розмах швидкостей у післяудар-

ному періоді при найменшому переміщенні верхнього перерізу аварійної колони. За критерій максимального переміщення верхнього перерізу у першому наближенні приймемо хід підпружиненого гака відносно талевого блока. Мінімальна величина цього ходу становить 145мм. Орієнтуючись на цю величину, відберемо з табл.2 – табл.4 ті режимні параметри, які задовольняють оптимальним і занесемо їх для порівняння у табл.6.

Як видно із результатів порівняння (табл.6), чітко прослідковується певне співвідношення між пружною деформацією аварійної колони та максимальною величиною переміщення коливальної системи у післяударному періоді. Це співвідношення є постійним для всіх параметрів розрахунку і рівне близько 0,6. Таким чином, напрошується висновок, що чим менша величина пружної деформації аварійної колони буде створена при розрядці бурового яса, тим менша сила удару буде нанесена і менша відповідно імовірність звільнення закляненого інструменту. А отже, із зменшення довжини аварійної колони ефективність роботи навіть УМ з механічним замковим пристроєм буде зменшуватися, тому що збільшення сили розрядки УМ не завжди можливе з огляду на обмеження переміщень верхнього перерізу колони. Між переміщеннями верхнього перерізу аварійної колони та силою розрядки бурового яса є прямий зв'язок.

Наведені результати розрахунків та відповідні висновки отримані за умови відсутності ОБТ в аварійній колоні у якості молота. Результати додатково виконаних розрахунків з урахуванням ОБТ в якості молота бурового яса свідчать, що переміщення верхнього перерізу аварійної колони збільшуються. Для виходу із даної ситуації можна рекомендувати застосування бурового яса з молотом та роз'єднувальним перевідником. Схема роз'єднувального перевідника та його розміщення в аварійній колоні показані на рис.1.

Суть конструкції роз'єднувального перевідника зводиться до утворення рухомого в осьовому напрямку зв'язку між молотом та аварійною колоною бурильних труб. А тому конструкція повинна містити дві рухомі групи деталей, які телескопічно взаємодіють одна з одною та з'єднуються вверху з бурильними трубами, а внизу – з ОБТ, що використовуються в якості молота. Осьові переміщення цих деталей мають бути обмежені деяким ходом, точне значення якого має встановлюватися із результатів розрахунків коливальних процесів у цьому перерізі аварійної колони. Призначення роз'єднувального перевідника – гасити вплив коливальних процесів у молоті на коливальні процеси в аварійній колоні. Таким чином, переміщення верхнього перерізу аварійної колони будуть однозначно визначатися тільки хвильовими процесами в колоні, а сила удару – режимними параметрами роботи яса та хвильовими процесами в молоті.

Американські бурові компанії замість роз'єднувального перевідника застосовують ак-

Таблиця 6 – Порівняння оптимальних режимних параметрів ударних навантажень

Параметри	Довжина аварійної колони, м				
	1200	1000	800	600	500
Хід бойка 50мм					
Сила роз'єднання замка, кН	150	150	200	250	300
Переміщення, мм (табл.2)	105/-566	90/-467	116/-500	134/-455	134/-450
Пружна деформація колони, мм	318	318	283	265	265
Співвідношення пружної деформації та ходу бойка	6,36	6,36	5,66	5,3	5,3
Співвідношення пружної деформації та максимального переміщення	0,56	0,68	0,57	0,58	0,59
Хід бойка 100мм					
Сила роз'єднання замка, кН	200	200	250	300	300
Переміщення, мм (табл.3)	118/-731	105/-601	120/-596	140/-510	130/-410
Пружна деформація колони, мм	424	353	353	318	265
Співвідношення пружної деформації та ходу бойка	4,24	3,53	3,53	3,18	2,65
Співвідношення пружної деформації та максимального переміщення	0,58	0,59	0,59	0,62	0,65
Хід бойка 200мм					
Сила роз'єднання замка, кН	300	300	300	-	-
Переміщення, мм (табл.4)	124/-1057	110/-840	120/-630	-	-
Пружна деформація колони, мм	636	530	424	-	-
Співвідношення пружної деформації та ходу бойка	3,18	2,65	2,12	-	-
Відношення пружної деформації до максимального переміщення	0,60	0,63	0,67	-	-

селератор удару яса [1,5]. Беручи до уваги відомі з перекладних літературних джерел випадки успішного застосування акселератора на великих глибинах, можливо, можна буде пристосувати його конструкцію і для застосування на малих глибинах. Для цього потрібно виконати дослідження, попередньо вдосконаливши існуючі [1,3,4] математичні моделі на предмет їх доповнення додатковими граничними умовами між ОБТ-молотом та рештою бурильних труб аварійної колони.

Прийнятий у даній статті критерій переміщення верхнього перерізу аварійної колони, а саме хід бурового гака, може виявитися на малих глибинах недопустимим. У зв'язку із різними законами руху у різні моменти часу, а значить різними переміщеннями мас, які складають талеву систему бурової установки між елементами зчеплення вертлюга, гака та талевого блока при роботі бурового яса можуть виникати динамічні навантаження, які негативно впливатимуть на стан наземного бурового обладнання, а також не сприятимуть безпечним умовам праці бурової бригади. Навіть за порівняно незначних переміщень верхнього перерізу аварійної колони великі маси елементів талевої системи можуть призвести до значної сили ударів між ними.

За результатами досліджень можна сформулювати наступні загальні висновки та рекомендації, що стосуються роботи бурового яса на малих глибинах.

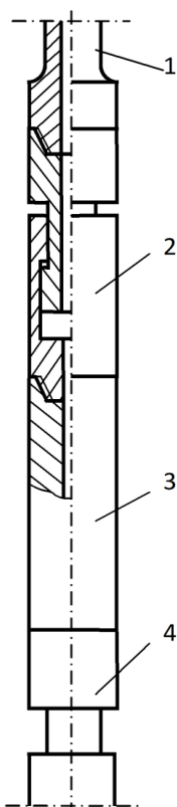
1. Переміщення верхнього перерізу аварійної колони при роботі бурового яса на малих глибинах можуть виявитися недопустимими з точки зору їх негативного впливу на наземне обладнання та умови праці, а тому рекомендується нанесення ударів починати з невеликих зусиль розрядки бурового яса і доводити їх до максимальних, слідкуючи за коливаннями вертлюга та бурового гака. Найменша сила розрядки бурового яса вибирається з умови забезпечення такої пружної деформації аварійної колони, яка на 10-20% більша за хід бойка.

2. Серед відомих конструкцій УМ перевагу слід надавати механічним ясам з невеликими (50-200мм) ходами бойка, або з регульованими ходами.

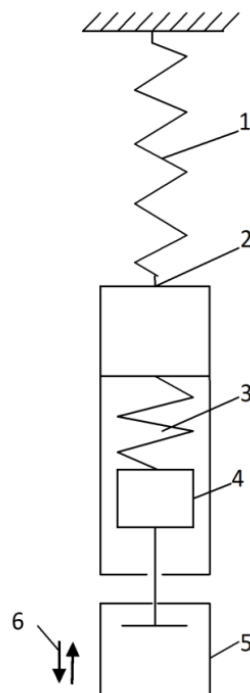
3. Застосовуючи ОБТ у якості молота, в аварійну компоновку над молотом необхідно включати роз'єднувальний перевідник.

4. Врахування додаткової умови при роботі бурового яса у вигляді обмеження на переміщення верхнього перерізу аварійної колони може призвести до зниження ефективності ударних навантажень і, як наслідок, зменшення ймовірності ліквідації аварії, а тому буровий яс тут потрібно застосовувати в комплексі з іншими способами.

**З метою подальших досліджень** динамічних навантажень в елементах талевої системи пропонується виконувати розрахунки за схемою, наведеною на рис.2. За аналогією з реальною механічною системою, у розрахункову



1 – бурильні труби; 2 – роз'єднувальний перевідник; 3 – ОБТ; 4 – яс  
**Рисунок 1 – Схема розміщення роз'єднувального перевідника**



1 – талевий канат; 2 – талевий блок;  
 3 – пружина гака; 4 – гак; 5 – вертлюг;  
 6 – переміщення вертлюга  
**Рисунок 2 – Розрахункова схема**

схему включено три маси, тобто масу талевого блока, масу бурового гака та масу вертлюга, які взаємодіють одна з одною через відповідні зв'язки нелінійного характеру. Ці зв'язки можуть бути представлені як невагомими пружними елементами, так і стержневими системами з розподіленими параметрами [6]. Такий підхід дозволить додатково врахувати розподілену масу талевого каната. Математична модель за своєю схемою буде подібна до розповсюджених задач визначення ударних навантажень у стержні при падінні вантажу з деякої висоти.

### Література

1 Буріння свердловин. Довідник. Т.5: Ускладнення. Аварії, Екологія / Мислюк М.А., Рибчич І.Й., Яремійчук Р.С. – К.: Інтерпрес ЛТД, 2004. – 376 с.  
 2 Планування рішень в ускладнених умовах буріння свердловин на нафту й газ / О.В.Аніськовцев, В.М.Чарковський, А.С.Непомнящий, І.Д.Щербатюк та ін. // Розвідка та розробка нафтових і газових родовищ. – 2008. – № 3 – С. 5-10.  
 3 Чарковський В.М. Щодо технології ліквідації прихоплень колон труб ударними механізмами / В.М. Чарковський // Науковий вісник Ів.-Фр. нац. техн. ун-ту нафти і газу. – 2007. – №2(16). – С.31-37.

4 Чарковський В.М. Про можливість застосування технології дискретно-розподілених ударних навантажень в КНБК для попередження заклинювань під час буріння свердловин / В.М. Чарковський // Розвідка та розробка нафтових і газових родовищ. – Івано-Франківськ, 2014. – №2(51). – С. 37-44.  
 5 Ясов В.Г. Осложнения и аварии при бурении нефтяных и газовых скважин: учебное пособие / В.Г. Ясов. – Івано-Франковск: Факел, 2004 – 207с.  
 6 Справочник по сопротивлению материалов / Писаренко Г.С., Яковлев А.П., Матвеев В.В. – Киев: Наук. думка, 1988. – 736 с.

Стаття надійшла до редакційної колегії  
 03.02.15  
 Рекомендована до друку  
 професором **Коцкуlichem Я.С.**  
 (ІФНТУНГ, м. Івано-Франківськ)  
 канд. техн. наук **Тершаком Б.А.**  
 (Прикарпатське УБР, м. Івано-Франківськ)