

Удосконалення конструкції та розширення області застосування гідравлічного ударного механізму

І.І. Чудик, М.І. Оринчак, О.С. Бейзик, О.І. Кирчій

ІФНТУНГ; 76019, м. Івано-Франківськ, вул. Карпатська, 15, тел. (0342) 727137,
e-mail: drill@nuing.edu.ua

Процес спорудження нафтових і газових свердловин, особливо глибоких (понад 3000 м), супроводжується складними гірничо-геологічними умовами, що спричиняють виникнення ускладнень, серед яких прихоплення бурильної колони є основною причиною серйозних простоїв та аварій з бурильним або геофізичним інструментом. Для ліквідації прихоплень застосовують різні ударні механізми, найбільш розповсюдженим серед яких є гідравлічний ударний механізм (ГУМ), що мають просту конструкцію, надійні у роботі. Для підвищення ефективності ліквідації прихоплень до застосування пропонуються багатокамерний гідравлічний ударний механізм (ГУМ-Б), вібраційний гідравлічний ударний механізм (ГУМ-В) та гідравлічний ударний механізм, вмонтований у бурильну колону (ГУМ-БК). З метою удосконалення роботи ГУМ на значних глибинах в умовах високих вибієних температур розроблено рецептур високов'язкого мастила для ударних механізмів, до складу якого входять мазут та водний розчин поліакриламід (ПАА). Застосування даних компонентів підвищує термостійкість мастила до 140°C та забезпечує надійну роботу ударних механізмів на глибинах до 5000-6000 м.

Ключові слова: прихоплення, ударні механізми, мастила, мазут, поліакриламід (ПАА), сульфенол.

Процесс сооружения нефтяных и газовых скважин, особенно глубоких (свыше 3000 м), сопровождается сложными горно-геологическими условиями, приводящими к возникновению осложнений, среди которых прихваты бурильных колонн являются основной причиной серьезных простоев и аварий с бурильным и геофизическим инструментом. Для ликвидации прихватов применяют различные ударные механизмы, наиболее распространенными среди которых являются гидравлические ударные механизмы (ГУМ), отличающиеся простотой конструкции и надежностью. Для повышения эффективности ликвидации прихватов предлагаются к использованию многокамерный гидравлический ударный механизм (ГУМ-Б), вибрационный гидравлический ударный механизм (ГУМ-В) и гидравлический ударный механизм, вмонтированный в бурильную колонну (ГУМ-БК). С целью повышения надежности работы ГУМ на больших глубинах в условиях высоких забойных температур разработана термостойкая высоковязкая смазка для ударных механизмов, состоящая из мазута и водного раствора полиакриламида (ПАА). Применение данных компонентов повышает термостойкость смазки до 140°C и обеспечивает надежную работу ударных механизмов на глубинах до 5000-6000 м.

Ключевые слова: прихват, ударные механизмы, смазки, мазут, полиакриламид (ПАА), сульфенол.

In practice of construction of oil and gas wells, especially deep ones (over 3000 m), the process of drilling is accompanied by difficult geological conditions that give rise to complications. Among them sticking is considered to be the most frequent cause of significant downtimes and failures of drilling and geophysical tools. To release sticking, various percussion mechanisms, among which the most common are the hydraulic percussion mechanism (HPM) that are reliable and have a simple structure, are utilized. To improve operational reliability and efficiency of the percussion mechanism and expand the sphere of its application, multichamber hydraulic percussion mechanism (HPM-M), vibration hydraulic percussion mechanism (HPM-V), and hydraulic percussion mechanism, built into the drill string (HPM-DS), are used. Heat-resistant high viscosity lubricant composition was developed for percussion mechanisms to improve the HPM operation at great depths at high bottomhole temperatures. This composition includes oil fuel and aqueous polyacrylamide solution (APS), which increases the lubricant thermal stability by 20-30oC (approximately up to 140oC) and provides the possibility to use the mechanisms at depths of up to 5,000-6,000 m. These developments ensure effective releasing of sticking due the mechanisms operational efficiency and reliability.

Key words: sticking, percussion mechanisms, lubricants, oil fuel, polyacrylamide (PAA), sulfonol

Вступ. Прихоплення колони труб у свердловині є одним з найбільш розповсюджених ускладнень, виникнення якого часто призводить до серйозних аварій та простоїв під час буріння свердловини. Зі збільшенням глибини свердловин частота і складність прихоплень бурильної колони зростають. Витрати часу і економічні затрати на ліквідацію прихоплень зростають інколи в десятки разів [1].

Аналіз сучасних заходів та вітчизняних досліджень. У практиці буріння свердловин для ліквідації прихоплень дуже широко застосовують ударні механізми різного принципу дії: гідравлічний ударний механізм (ГУМ), збудник пружних коливань (ВУК), пристрої для ліквідації прихоплень (УЛП), гідравлічні та механічні яси тощо [1].

Механічний яс пристрій механічної дії складається з конусної пари, корпусу і вала. Недоліком цього пристрою є систематичний вихід з ладу через заклинювання конусної пари, яка працює в середовищі бурового розчину.

Збудник пружних коливань ВУК – застосовують для ліквідації прихоплень всіх груп. Основним його елементом є гелікоїдна різьба, яка під дією пружних сил розщеплюється, і бойок, розташований на штоку, що наносить удари по ковадлу. ВУК працює в режимі створення імпульсно-динамічного впливу як угору, так і вниз. Основним недоліком ВУК є недостатня кількість ударів для вивільнення колони.

УЛП призначений для ліквідації диференційних прихоплень. Недоліком цього пристрою є застосування пакера, що може інколи заклинювати, та необхідність визначення мінімальної глибини спуску пристрою і мінімально необхідної ваги бурильної колони.

Гідравлічний ударний механізм (ГУМ) складається з рухомого шпинделя, на якому закріплений поршень, та нерухомого циліндра з двома камерами різного поперечного перерізу, недоліком якого є зниження ефективності ліквідації прихоплень зі збільшенням глибини свердловини.

Найбільш розповсюдженим пристроєм для ліквідації прихоплень під час буріння свердловин на різних родовищах нашої країни і за рубежом є ГУМ [1], що пояснюється простотою конструкції, надійністю роботи при застосуванні мастила для деталей тертя.

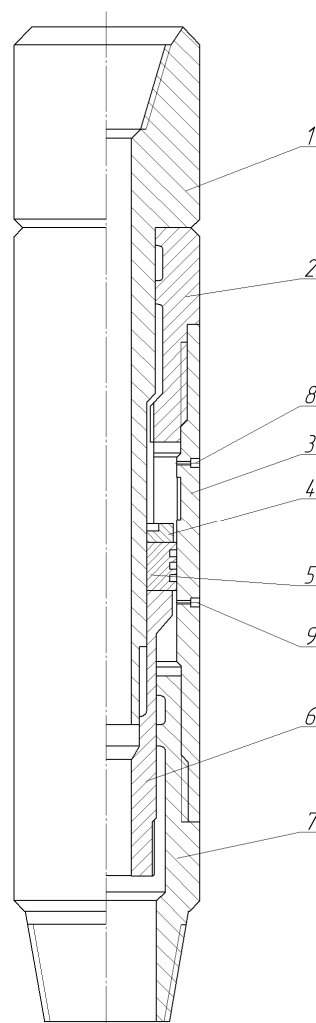
Мета роботи полягає в удосконаленні конструкції ГУМ та розширенні області його застосування, що досягається зміною конструкції ГУМ та розроблянням нових рецептур мастил.

Виклад основних матеріалів. Для досягнення поставленої мети внесено конструктивні зміни у будову відомого пристрою [1]. Розглянемо спочатку конструкцію та принцип роботи ГУМ (див. рис. 1).

Пристрій застосовують для ліквідації прихоплень, які виникли під дією перепаду тиску або у результаті заклинювання колони у свердловині. Основним елементом цього пристрою є заповнений мастилом і герметизований ступінчастий циліндр. У нижньому циліндрі (меншого діаметра) розміщений поршень, з'єднаний з неприхопленою бурильною колоною. Під дією сили пружності поршень повільно переміщується угору, а після досягнення рівня верхнього циліндра (більшого діаметра) його швидкість різко зростає, і він наносить удар по прихопленій бурильній колоні.

ГУМ складається зі шпинделя 1, перехідників 2 і 7, циліндра 9, що має дві камери різного діаметра, бойка 4, поршня 5 і штока 6. Уся система ГУМ герметизована і заповнена мастилом.

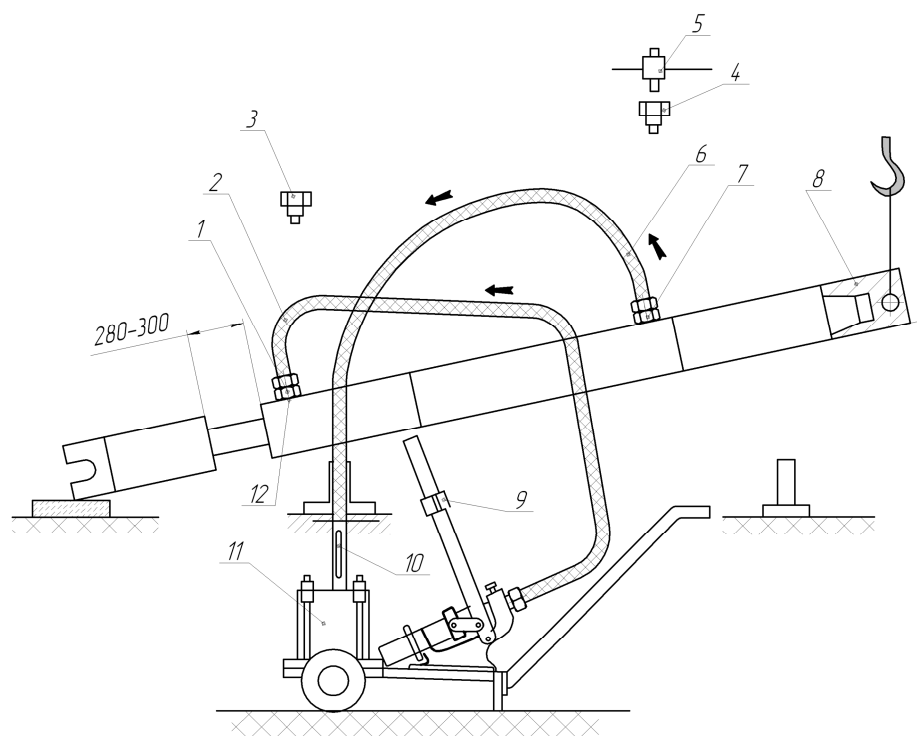
Для заповнення мастилом пристрій встановлюють під кутом 45° до горизонту (див. рис. 2). Шланги 2 і 6 з'єднують з отворами 12 ГУМа і насосом 11 наповнюють мастилом циліндр 3. У момент, коли мастило витікатиме через шланг 6 і прозору трубку 10, насос вимикають, від'єднують шланги, а отвори пристрою герметизують.



1 – шпиндель; 2 – верхній перевідник; 3 – циліндр; 4 – бойок; 5 – поршень; 6 – шток; 7 – нижній перевідник; 8, 9 – отвори для заливання мастила

Рисунок 1 – Гідравлічний ударний механізм (ГУМ)

Для роботи з ГУМом від'єднують неприхоплену частину бурильної колони і підіймають її. Підготовлений пристрій опускають у свердловину і приєднують до прихопленої частини бурильної колони. Відтак бурильну колону намагаються із зусиллям, що перевищує її вагу на 200-800 кН. Початкова швидкість шпинделя з поршнем буде низькою через те, що він рухається угору за рахунок перетікання мастила з верхньої порожнини (великого діаметра) у нижню (малого діаметра) через три послідовні отвори. Пройшовши відрізок довжиною 213 мм, поршень потрапляє у циліндр 3 із поздовжніми пазами. При цьому площа для перетікання мастила із більшої порожнини у меншу збільшується приблизно у 200 разів. Мастило вільно, майже без тиску, перетікає вниз, а шпиндель 1, що з'єднаний з неприхопленими бурильними трубами, миттєво переміщується угору, і бойком 4 наносить удари по нижньому торцю шліцевого перевідника 2, що виконує функції ковадла.



1, 7 – ніпель; 2, 6 – шланг; 3, 4 – пробки; 5 – ключ; 8 – заглушка;
9 – тримачі; 10 – прозора трубка; 11 – насос; 12 – наливний отвір

Рисунок 2 – Схема заповнення ГУМ мастилом

Цей удар передається прихопленій бурильній колоні через корпус циліндра 3 і перевідника 7. Для повторного нанесення ударів бурильну колону розвантажують на 10-20 кН, мастило перетікає з нижньої (малого діаметра) порожнини циліндра у верхню. Після перетікання мастила ГУМ готовий до повторного удару.

Для здійснення ударів, спрямованих вниз, ГУМ розбирають, повернувши циліндр 3 разом з поршнем 5 на 180° , і знову збирають.

Для створення ударів колону розвантажують на величину ваги ОБТ, відбувається повільне перетікання мастила з нижньої порожнини циліндра 3 у верхню. Після входу поршня в більшу порожнину тиск мастила різко знижується, ОБТ падає вниз до упору, поки торець перевідника шпинделя не вдарить по торцю шлицевого перевідника 2. Цей удар передається прихопленій частини бурильної колони. За потреби удари повторюють. Число ударів для різних випадків коливається від 1 до 100.

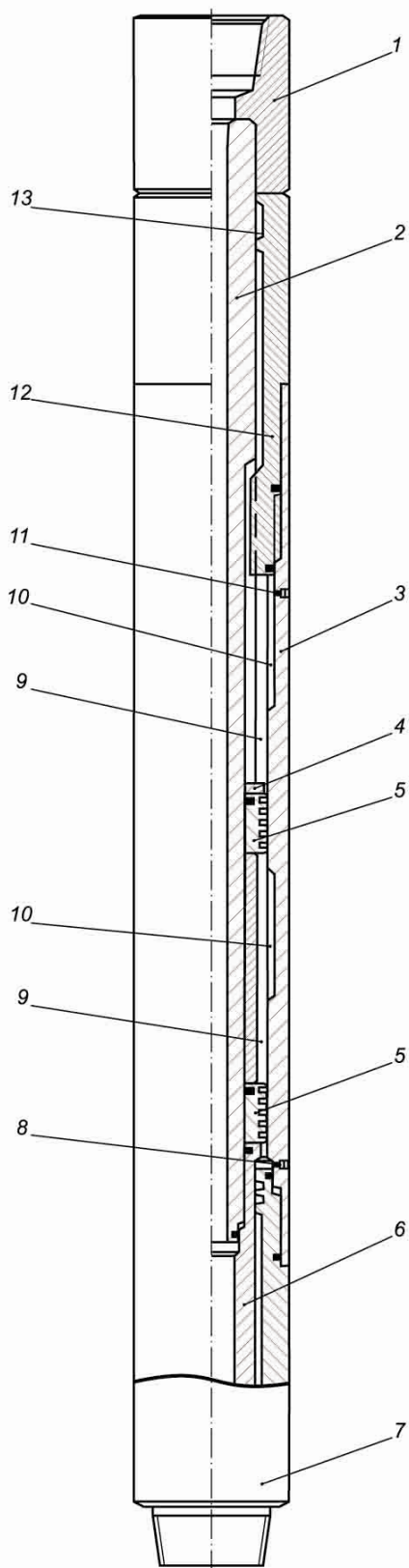
Вагомий недолік ГУМу полягає у тому, що за вибіної температури понад 100°C застосування його недоцільне через значне зниження в'язкості мастила, що призводить до зниження сили удару у пристрої.

Для збільшення сили удару пропонується пристрій, у якому на поздовжньому шпинделі послідовно розміщено два і більше поршнів, а на поздовжньому циліндрі – дві і більше камери високого тиску з переходом у камери низького тиску [2].

Для виконання поставленої задачі нами пропонується багатокамерний гідравлічний ударний механізм (ГУМ-Б), схема якого зображена на рис. 3.

Для спрощення схеми конструкції на рис. 3 відображено лише два поршні та дві камери високого тиску з переходом у камери низького тиску. Пристрій ГУМ-Б складається з поздовжнього рухомого шпинделя 2, на якому закріплено два поршні 5, та поздовжнього нерухомого циліндра 3 з двома камерами високого тиску 9 і двома камерами низького тиску 10. У нижній частині шпиндель закінчується штоком 6, а у верхній – перевідником для з'єднання з не прихопленою бурильною колоною. Корпус циліндра 3 у верхній частині з'єднаний зі шлицевим перевідником 12, нижній торець якого виконує функції ковадла, а у нижній частині – з перевідником 7 для з'єднання з прихопленою бурильною колоною. На верхньому поршні закріплені бойок 4. Внутрішня система пристрою герметизована і заповнена мастилом через отвори 8 і 11. Пристрій працює так. Від'єднують не прихоплену частину бурильної колони і підіймають її зі свердловини. ГУМ-Б спускають у свердловину і присдують до прихопленої бурильної колони шлицевим з'єднанням 13. Для створення удару бурильну колону натягують із зусиллям, що перевищує її вагу на 200-1000 кН, але меншим допустимого зусилля на розрив. Шпиндель з поршнем спочатку рухається угору за рахунок перетікання мастила з верхніх камер у нижні через три поздовжні отвори, тому його швидкість буде низькою.

Пройшовши відрізок довжиною 213 мм, обидва поршні потрапляють у камери великого діаметра. При цьому площа для перетікання мастила із більшої порожнини у меншу збільшується приблизно у 400 разів. Мастило вільно, майже без тиску, перетікає вниз, шпиндель



1, 7 – перевідник, 2 – шпindelь, 3 – циліндр,
4 – бойок, 5 – поршень, 6 – шток,
8, 11 – отвори для заповнювання мастила,
9 – камера високого тиску, 10 – камера низького тиску, 12 – перевідник, 13 – шлицеве з'єднання

Рисунок 3 – Багатокамерний гідравлічний ударний механізм

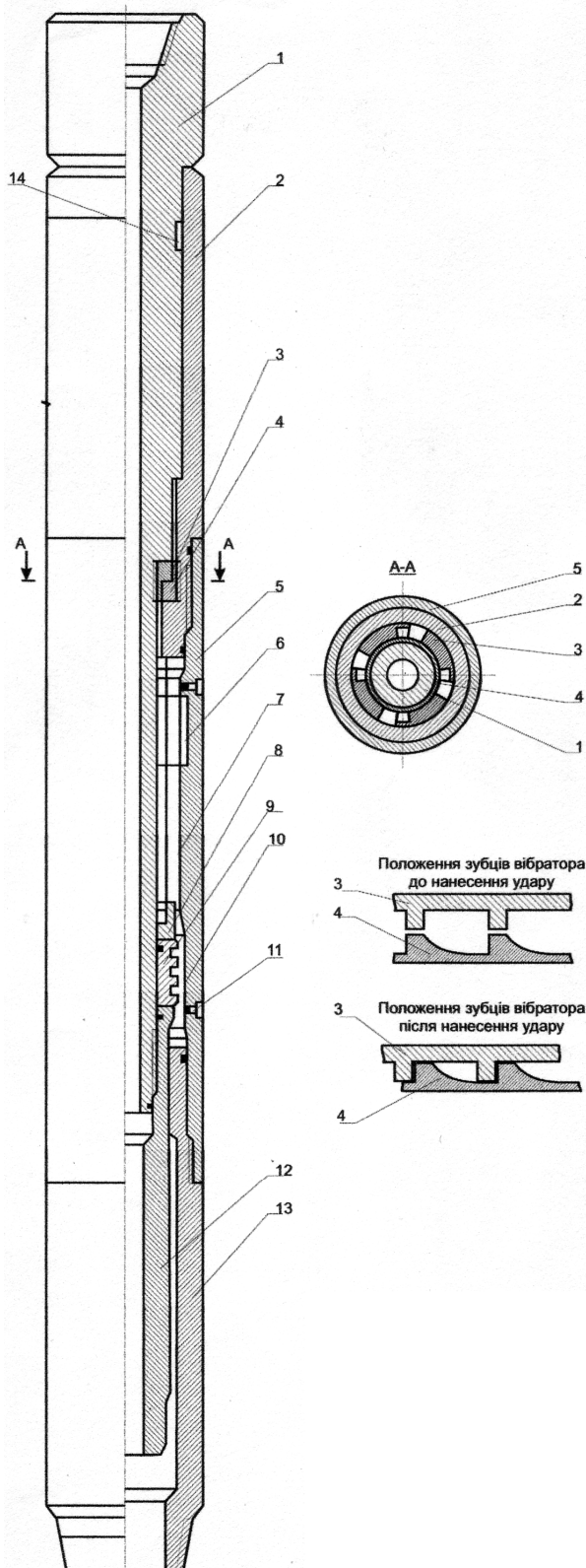
миттєво переміщується угору і бойок 4 наносить удари по нижньому торцю шлицевого перевідника 12, що виконує функції ковадла. Цей удар передається прихопленій бурильній колоні через корпус пристрою. Для повторного нанесення ударів бурильну колону розвантажують на 20-40 кН. Після перетікання мастила з нижніх камер у верхні пристрій готовий до повторного удару.

За способом, описаним вище, створюють удари, що спрямовані знизу-вверх. Для здійснення ударів зверху-вниз пристрій розбирають, циліндр з поршнями повертають на 180°, повторно збирають і ГУМ-Б придатний для нанесення ударів зверху-вниз.

Одним із відомих способів підвищення ефективності гідравлічних ударних механізмів є створення додаткових вібраційних коливань на прихоплену бурильну колону перед нанесенням кожного удару. Для цього рекомендується застосовувати вібраційний гідравлічний ударний механізм (ГУМ-В), схема якого наведена на рис. 4.

Основним вузлом пристрою є вібратор, що складається з верхнього та нижнього коліс. Верхнє колесо з призматичними зубами 3 встановлено на подовженому шпindelі 1, а нижнє колесо 4 з плавними переходами між призматичними зубами – у верхньому нерухомому перехіднику 2. У нижній частині шпindelя розміщені поршень 9 з бойком 8 та штоком 12. У корпусній частині пристрою нижче перехідника розташований циліндр 5 з камерами високого 7 і низького 6 тиску, циліндра збільшеного діаметра 10 та нижнього перехідника 13. Внутрішня система пристрою заповнена мастилом, яке наповнюють через отвори 11.

Принцип роботи пристрою полягає у наступному. Не прихоплену частину бурильної колони від'єднують від прихопленої, а ГУМ-В опускають у свердловину і за допомогою шлицевого з'єднання 14 під'єднують до прихопленої частини бурильної колони. Відтак створюють навантаження на ГУМ-В біля 30-100 кН. Поршень переміщується у циліндр збільшеного діаметра 10 включають ротор на пониженій передачі. Верхнє колесо 3 повертається вправо разом зі шпindelем, по чергово піднімаючись угору, а потім ударяє по нижньому колесу 4, створюючи вібрацію, яка передається на прихоплену колону (переріз А-А, рис. 4). Під час вібрації поршень 9 не зношується, тому що він обертається в циліндрі збільшеного діаметра 10. Сила удару під час вібрації регулюється висотою призматичних зубів та навантаженням на пристрій. Частоту вібрації змінюють швидкістю обертання ротора і кількістю призматичних зубів на нижньому колесі вібратора. Напруження, яке виникає між зубами вібратора під час удару зменшують, збільшивши площу поперечного перерізу зубів та їх кількості на верхньому колесі. Виключивши ротор, припиняють вібрацію. Бурильну колону натягують із зусиллям, яке перевищує вагу колони на 200-1000 кН. Поршень 9 з бойком 8, пройшовши камеру високого тиску 7, потрапляє до камери



1 – шпindelь, 2 – верхній перевідник, 3 – верхнє колесо з призматичними зубами, 4 – нижнє колесо з призматичними зубами, 5 – циліндр, 6 – камера низького тиску, 7 – камера високого тиску, 8 – бойок, 9 – поршень, 10 – циліндр збільшеного діаметра, 11 – отвори для заповнення мастилом, 12 – шток, 13 – нижній перевідник, 14 – шлицеве з'єднання

Рисунок 4 – Вібраційний гідравлічний ударний механізм

низького тиску 6, шпindelь миттєво переміщується угору, і бойок 8 ударяє в нижній торець верхнього перехідника 2, який виконує роль наковальні.

Для повторення вібрації бурильну колону знову розвантажують на 30-100 кН. Після перетікання мастила поршень переміщується у нижнє положення і пристрій готовий до роботи.

Досвід застосування ГУМа у різних умовах свідчить, що за вибійної температури понад 80-100°C виникають проблеми у роботі пристрою через зниження в'язкості мастила під впливом високих температур. Внаслідок цього суттєво зменшується сила удару по прихопленій бурильній колоні.

Для покращення роботи ГУМ у свердловині необхідно розробити мастила, реологічні властивості якого б суттєво не знижувались в умовах високих вибійних температур.

Зазвичай для заповнення робочої камери ГУМу застосовують автомобільні трансмісійні мастила або дизельні мінеральні мастила ДП-8, ДП-11, ДП-14 та інші. У перелічених мастилах зі збільшенням температури знижується в'язкість. Наприклад, умовна в'язкість мастила ДП-11 за температури $t=20^{\circ}\text{C}$ становить 100 с і знижується до 15 с зі підвищенням температури до 80-100°C. Присадки до трансмісійних або дизельних мастил дефіцитні і низькоефективні.

На рис. 5 наведено графічні залежності в'язкості мастила ДП-11 від температури.

Для збільшення в'язкості мастила спочатку проводили лабораторні дослідження з мазутом.

Мазут – в'язка рідина темно-коричневого кольору, що складається із суміші вуглеводнів, нафтових смол, асфальтенів, карбонів, карбідів та органічних металомістких сполук (V, Ni, Fe, Mg тощо), розчинний у дизельному пальному. Фізико-хімічні властивості мазуту залежать від хімічного складу сирової нафти та ступеня відгону фракцій дистилатів.

Густина мазуту коливається в межах від 890 до 1000 $\text{кг}/\text{м}^3$ за температури 20°C, теплота згорання 9100-10000 ккал/кг.

У народному господарстві мазут застосовують як паливо для парових котлів, промислових котелень різного призначення, парових газових турбін. За нормальної температури умовна в'язкість мазуту дуже висока і її числове значення виміряти не можливо.

Домішка мазуту до мастила ДП-11 сприяє збільшенню його реологічних властивостей.

Вплив температури на реологічні параметри мастила за різної концентрації мазуту досліджували нагріванням його у печі, максимальна температура якої сягає 200°C, та польового віскозиметра ВП-5. Для економії часу та мастила вимірювання умовної в'язкості проводимо експрес-методом. Температуру мастила фіксували пірометром. Для отримання достовірних даних кожен дослід повторювали тричі і за кінцевий результат приймали середнє значення. Концентрацію мазуту у мастилі змінювали від 0 до 50%. Мазут вводили до мастила, ретельно перемішували, потім суміш нагрівали до заданої температури і вимірювали умовну в'язкість попередньо нагрітим віскозиметром ВП-5.

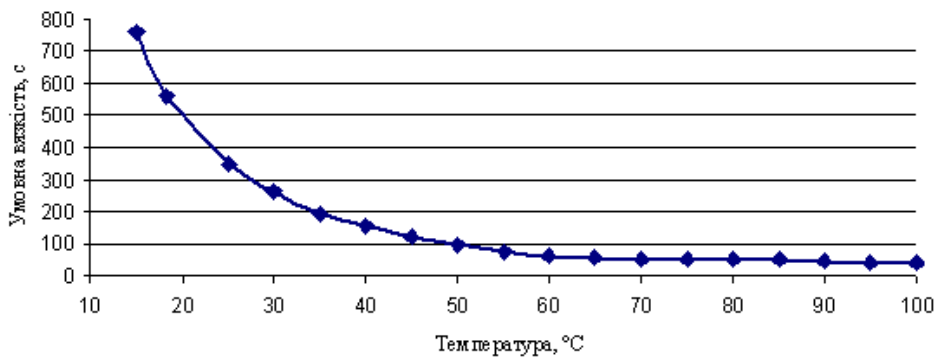
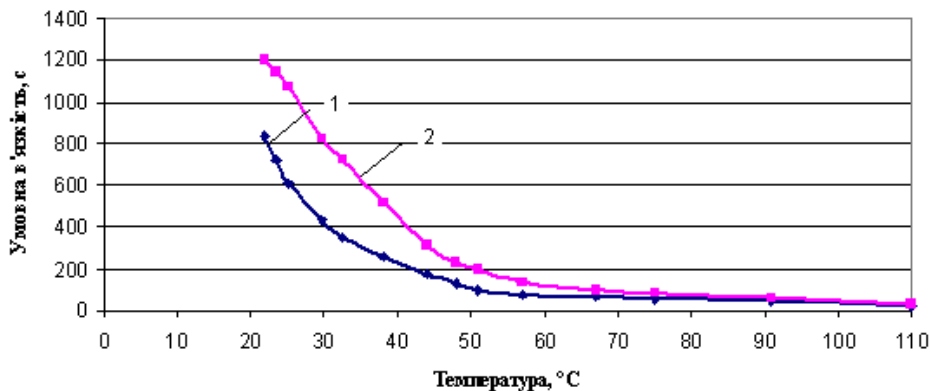


Рисунок 5 – Залежність в'язкості мастила ДП-11 від температури



1 – суміш мастила з вмістом мазуту 25%; 2 – суміш мастила з вмістом мазуту 50%

Рисунок 6 – Залежність умовної в'язкості суміші мастила з мазутом від температури

За результатами досліджень побудовано графічні залежності умовної в'язкості мастила від температури, які наведено на рис. 6. Графічні залежності, наведені на рис. 6, свідчать про зростання умовної в'язкості суміші. Проте, з підвищенням температури, різниця між умовною в'язкістю мастила та суміші мастила з мазутом суттєво зменшується. Наприклад, за температури 110 °С умовна в'язкість мастила становить 15 с, а умовна в'язкість суміші мастила з вмістом мазуту 25% і 50% відповідно становить 24 с і 30 с.

Отже, домішка органічних сполук на основі нафтопродуктів слабо підвищує термостійкість мінеральних мастил.

Значно ефективнішою домішкою до мінеральних мастил, на нашу думку, є водний розчин поліакриламід (ПАА), що володіє високими реологічними властивостями, а термостійкість сягає до 200°C. Для проведення досліджень використовували водні розчини ПАА 0,5%, 1,0% та 2,0% концентрації. Для рівномірного диспергування водного розчину ПАА у мастило вводили поверхнево-активну речовину – сульфенол.

За результатами лабораторних досліджень встановлено:

- суміш зберігає агрегативну стійкість за концентрації сульфенолу у водному розчині ПАА понад 1%;
- реологічні параметри суміші зростають при концентрації ПАА у водному розчині;
- термостійкість суміші сягає 120-140°C.

З практичного досвіду буріння свердловин відомо, що найменше часу на ліквідацію прихоплення витрачається, коли усунення ускладнення приступають зразу після його виникнення.

Для цього пропонується застосовувати гідравлічний ударний механізм, вмонтований у бурильну колону (ГУМ-БК), схема якого наведена на рис. 7.

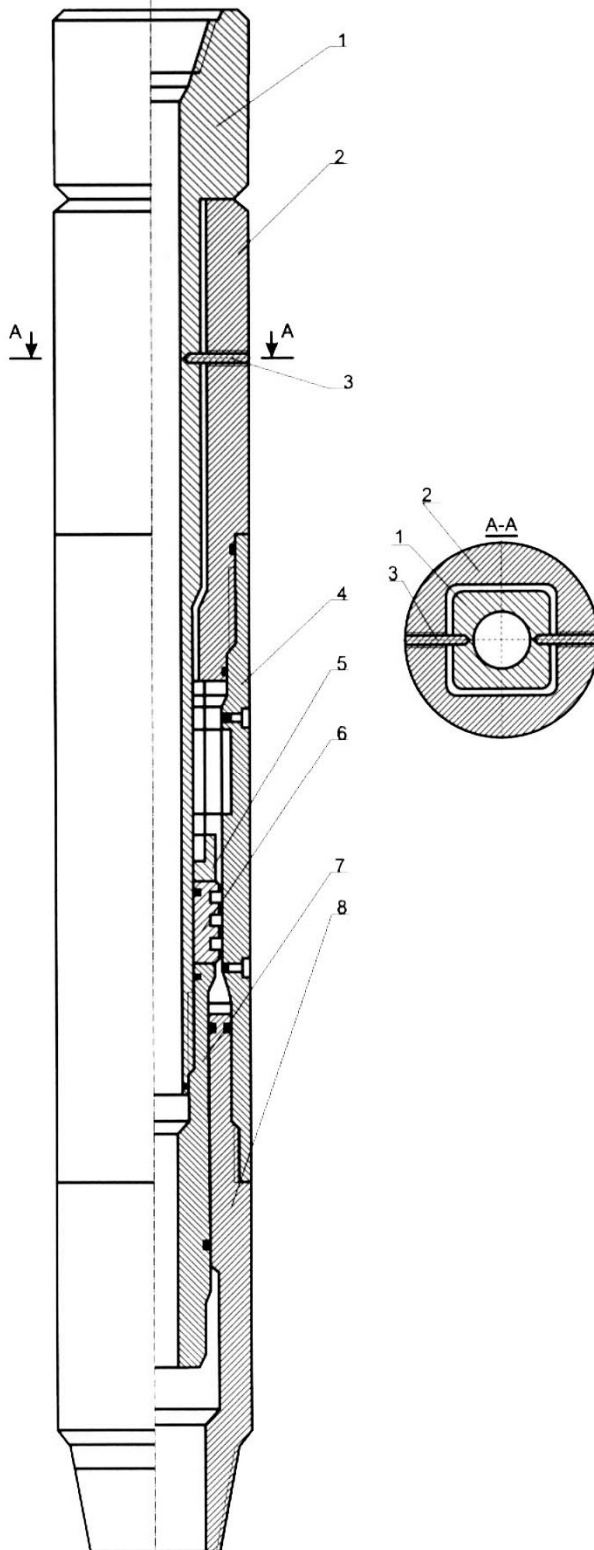
Основною особливістю цього ударного механізму є шпindel та верхній перевідник у верхній частині пристрою, що мають квадратний переріз із запобіжним заходом.

ГУМ-БК складається із деталей, що переміщуються з не прихопленою бурильною колоною: шпинделя 1 з квадратним перерізом, бойка 5, поршня 6 та штока 7, а також деталей, що зв'язані з прихопленою бурильною колоною: верхній перехідник 2 з штопором 3, циліндра 4 з двома камерами різного діаметра і нижнього перехідника 8. Зібраний пристрій зазвичай встановлюють над ОБТ. Крутий момент через квадратний переріз передається на корпус пристрою (рис. 7 переріз А-А).

Циркуляція бурового розчину здійснюється через пустотілий шпindel 1, і процес буріння свердловини здійснюється за нормальних умов.

В момент виникнення прихоплення створюють розтягуюче зусилля, яке приблизно на 20-30% перевищує навантаження на долото. Внаслідок цього зрізаються штопори 3, шпindel 1 витягується з корпусу, а мастило через щілини поршня 6 перетікає вниз. Внаслідок цього бурильна колона натягується і здійсню-

ється удар. Для створення наступного удару бурильну колону розвантажують на 10-20 кН, при цьому шток 7 переміщується вниз, мастило перебігає угору і ГУМ-БК готовий до повторного удару.



1 – шпindelь; 2 – верхній перехідник;
3 – шток; 4 – циліндр; 5 – бойок;
6 – поршень; 7 – шток; 8 – нижній перехідник
Рисунок 7 – Гідралічний ударний механізм,
вмонтований у бурильну колону

Висновки

Розроблено три модифікації гідралічних ударних механізмів, що підвищують ефективність їх роботи. У багатокамерному гідралічному ударному механізмі ефективність роботи підвищується за рахунок збільшення кількості камер високого і низького тисків, що сприяє збільшенню сили ударів для вивільнення бурильної колони. У вібраційному гідралічному ударному механізмі сила удару під час вібрації регулюється висотою призматичних зубів та навантаженням на пристрій а частота вібрації змінюється швидкістю обертання ротора та кількістю призматичних зубів на нижньому колесі вібратора, що створює додаткові вібраційні коливання на бурильну колону перед нанесенням кожного удару. Гідралічний ударний механізм, вмонтований у бурильну колону, основною особливістю конструкції якого є шпindelь та верхній перевідник у верхній частині пристрою, що мають квадратний переріз із запобіжним заходом. Такі модифікації конструкції дають змогу включати ГУМ безпосередньо у компоновку бурильної колони, миттєво застосування пристрою під час виникнення прихоплення та зменшення витрат часу на ліквідацію ускладнення.

Розроблено рецептуру високов'язкого мастила для заповнення камер гідралічних ударних механізмів, термостійкість якого сягає 140°C. Завдяки цьому розширюються можливості застосування ГУМ.

Література

- 1 Пустовойтенко И.П. Предупреждение и ликвидация аварий в бурении – 3-е издание, перераб. и доп. / И.П. Пустовойтенко. – М.: Недра, 1988. – 279 с.
- 2 Пат. 61696 Україна МПК⁵¹ E21B 33/138. Багатокамерний гідралічний ударний механізм / М.І. Оринчак, І.І. Оринчак М.М. Бейзик, О.І. Кирчей: Заявл.22.01.13. – Опубл. 10.05.13., Бюл. №3 – 4 с.
- 3 Пат. 91955 Україна МПК⁵¹ E21B 33/138. Вібраційний гідралічний ударний механізм / М.І. Оринчак, І.І. Чудик О.І. Кирчей, О.С. Бейзик, О.С. Архіпов: Заявл.10.02.14. – Опубл. 25.07.14., Бюл. №14 – 4 с.

Стаття надійшла до редакційної колегії
04.02.15

Рекомендована до друку
професором Коцкуlichem Я.С.
(ІФНТУНГ, м. Івано-Франківськ)
професором Мельником А.П.
(Національний технічний університет
«Харківський політехнічний інститут»,
м. Харків)