

НАФТОГАЗОВА СПРАВА

Буріння свердловин

УДК 622.245

DOI: 10.31471/2304-7399-2020-1(59)-98-110

ДОСЛІДЖЕННЯ ПАРАМЕТРІВ ГІДРОМОНІТОРНОГО СТРУМЕНЮ ДОЛОТА

**В. М. Мойсишин, Я. С. Білецький, М. В. Сенюшкович,
І. І. Витвицький**

*Івано-Франківський національний технічний університет нафти і газу;
76019, м. Івано-Франківськ, вул. Карпатська, 15;
тел. +380(342)71-72-31; e-mail: math@nung.edu.ua*

У роботі досліджено рух бурового розчину через гідромоніторні насадки. На основі теорії руйнування гірських порід струменем рідини знайдено необхідні величини тиску на гідромоніторних насадках бурової головки для конкретних значень механічних властивостей розбурюваної породи. Результати виконаних аналітичних досліджень використано для моделювання процесів руху потоку промивальної рідини через гідромоніторні насадки долота з використанням пакету Flow Simulation CAD/CAM системи Solid Works. Під час імітаційного моделювання досліджувались такі параметри: розташування насадок на різній віддалі від осі долота та від вибою свердловини, розподіл тиску на вибої свердловини при виході промивальної рідини з кожної насадки та швидкість струменю, зміна швидкості потоку промивальної рідини у процесі її виходу у простір між долотом та стінкою свердловини, завихреності струменів на вибої та стінках свердловини. За результатами досліджень удосконалено конструкцію гідромоніторного вузла бурової головки та проведено нові випробування у промислових умовах

Ключові слова: *долото, гірська порода, властивості порід, промивання свердловини, струміль рідини, гідромоніторні насадки, механічна швидкість, вибій, буріння.*

Вступ

Аналіз техніко-економічних показників буріння глибоких свердловин свідчить, що їх рівень залежать від забезпечення умов, за яких буде досягнута висока ефективність руйнування гірських порід за рахунок максимальної витрати підведеної енергії на цей процес. Проведений огляд теоретичних та практичних робіт, присвячених застосуванню шарошкових та лопатевих доліт, що виготовляються вітчизняними виробниками та провідними світовими фірмами, дозволяє зробити висновки, що підведення до породоруйнівного інструменту необхідної потужності не завжди забезпечує досягнення максимальних швидкостей буріння, особливо у випадку, коли не ефективно використовується енергія струменя промивальної рідини. Унаслідок цього не тільки уповільнюються темпи спорудження свердловин, але й змінюється геометрія стінок стовбура та можуть виникати різного роду ускладнення, що призводять до проблем у процесі їх кріплення та експлуатації [1]. Така негативна тенденція посилюється у випадку, коли не вдається підібрати один тип породоруйнівного інструменту та однакові режими буріння для розрізів свердловин, складених перемежованими гірськими породами з різними механічними властивостями [2].

У [3] подано результати промислових випробувань розробленої конструкції лопатевої бурової головки з комбінованою схемою розташування ріжучих елементів [4], на основі яких було зроблено висновки про недостатню ефективність роботи гідромоніторного вузла, не досягнення потрібної швидкості витікання промивальної рідини з насадок та очищення вибою свердловини від шламу, і, як наслідок, нетривалу роботу двох головок і низькі техніко-економічні показники буріння.

Метою роботи є узагальнення основних відомостей з теорії руйнування гірських порід струменем рідини, встановлення величини тиску на гідромоніторних насадках бурової головки для руйнування порід з конкретними значеннями механічних властивостей, удосконалення конструкції її гідромоніторного вузла та проведення нових випробувань під час буріння свердловин.

Постановка проблеми

За чинними методиками [5-8] обчислюють швидкість витікання промивальної рідини з насадок долота для забезпечення гідромоніторного ефекту на вибої свердловини, яка має бути не меншою ніж 80 м/с не залежно від типу породи, її тріщинуватості, міцності та решти механічних властивостей. Автором [9] зазначено, що всі гірські породи мають певну мережу тріщин різної протяжності та ширини розкриття, які суттєво впливають на її схильність до руйнування. Зважаючи на це, зазначена вище методика вибору швидкості не може вважатись енергетично обґрунтованою, оскільки в одних випадках (порода слабкоміцна, тріщинувата, складена окремими частинами різного розміру) для її руйнування достатньо швидкості витікання промивальної рідини з на-

садок долота меншої за 80 м/с. У той же час, для високоміцних монолітних порід зазначена швидкість має бути максимальною. Тому у першому випадку має місце нераціональне витрачання енергії на досягнення великих швидкостей витікання промивальної рідини, тоді як у другому випадку це має бути забезпечено. Відомо також, що одна і та ж сама порода може мати різну міцність залежно від глибини її розташування у розрізі свердловини (з глибиною скелет породи ущільнюється під дією гірського тиску). Із зазначеного вище можна зробити висновок, що швидкість витікання промивальної рідини з насадок долота, а відповідно і енергетичні витрати на її забезпечення, мають обґрунтовуватись залежно від міцнісних характеристик гірської породи, і можуть змінюватись так, як змінюються ці характеристики по розрізу інтервалу свердловини, що буриться конкретним долотом.

Можливість використання гідромоніторного ефекту під час буріння будь-якого інтервалу свердловини оцінюють за величиною втрат тиску в долоті P_d . Для цього визначають швидкість витікання промивальної рідини в гідромоніторних насадках за формулою:

$$g = \mu_0 \cdot \sqrt{\frac{2 \cdot P_d}{\rho_p}}, \quad (1)$$

де μ_0 – коефіцієнт форми насадки, ρ_p – густина рідини, що витікає з насадки.

Резерв тиску, який можна реалізувати в долоті, визначають як різницю між тиском, що розвиває насос і сумою втрат тиску в елементах циркуляційної системи:

$$P_0 = \epsilon_p \cdot P_H - \sum P_i, \quad (2)$$

де $\epsilon_p = 0,75 - 0,8$ – коефіцієнт резерву, який враховує той факт, що робочий тиск, створюваний насосом під час промивання свердловини, має бути меншим за зазначений у технічній характеристиці на 20-25% [8]; P_H – максимальний тиск, який може створити насос; $\sum P_i$ – сумарні втрати тиску в усіх елементах циркуляції промивальної рідини під час буріння, які обчислюють за відомими методиками [5-7].

У [10] зазначено, що основним споживачем гідравлічної потужності у процесі промивання свердловини є гідромоніторне долото, особливо на великих глибинах.

Основна частина. Оскільки сучасні бурові долота, залежно від конструкції, мають декілька промивних гідромоніторних насадок (здебільшого 3-7 шт.), то у процесі обертання долота на вибої між струменями, що витікають з різних насадок, виникає взаємодія. Витікаючи з насадки струмінь змінює свої параметри, і ці зміни стають вагомішими за більшої віддаленості насадки від вибою свердловини. Крім того, всі

струмені витікають у суцільне середовище суміші, що утворюється з промивальної рідини, зруйнованих частинок гірської породи, а у окремих випадках ще і пластового флюїду. Ця суміш перебуває під зовнішнім тиском та дією значних температур. У таких випадках виникають так звані поверхні тангенціального розриву [11], на яких, через їх несталість, утворюються завихрення, що без будь-якого порядку рухаються уздовж та поперек потоку зазначеного вище середовища. Результатом такого явища є обмін масами між струменями, тобто поперечний перенос кількості руху, тепла та складників суміші. Як наслідок, на межі двох струменів формується зона кінцевої товщини з неперервним розподілом швидкості, температури та концентрації, яку називають турбулентним приграничним шаром. Найпростіший випадок струминного приграничного шару трапляється тоді, коли рідина витікає з рівномірним початковим полем швидкості ($\mathcal{G} = \text{const}$) у середовище, що рухається з постійною швидкістю, оскільки при цьому у початковому перерізі струменю товщина приграничного шару дорівнює нулю. Потовщення струминного приграничного шару призводить, з одного боку, до збільшення товщини поперечного січення струменю, а з іншого – до поступового зменшення потенційного ядра струменю – області, що міститься між межами приграничного шару. Однією з основних властивостей такого струменю є сталість статичного тиску в усій області течії, унаслідок чого швидкість в потенційному ядрі струменю є постійною. Розширення струменю за межами початкової ділянки призводить не тільки до його потовщення (струмінь набуває конусоподібної форми), але й до зміни швидкості руху вздовж його осі і тому у подальшому розглядається середня швидкість течії струменю.

Якщо \mathcal{G}_{cp} середня швидкість струменю, а l – середня віддаль між амплітудами хвиль струменю, то середня частота пульсації тиску на вибої дорівнює:

$$v_{cp} = 2 \cdot \pi \cdot \omega = \frac{\mathcal{G}_{cp}}{l}. \quad (3)$$

Змінна витрата промивальної рідини внаслідок неоднорідності струменя є причиною нестабільності ефективної швидкості на будь-якій перепоні (масив гірських порід на вибої). Миттєве значення осьової складової \mathcal{G}_m швидкості на вибої у певній точці перерізу струменя є функцією низки чинників:

$$\mathcal{G}_m = f(p, d_n, y, x, \omega, t), \quad (4)$$

де \mathcal{G}_m – миттєва швидкість у напрямку осі струменя в момент часу t у точці, що визначена координатами y та x ; p – тиск промивальної рідини перед насадкою; d_n – діаметр насадки; y – віддаль від насадки; x – віддаль від осі струменя; ω – середня кругова частота, що відображає пульсуючий характер миттєвої швидкості струменя.

Миттєву швидкість у напрямку осі струменя можна подати сумою:

$$\mathcal{G}_m = \mathcal{G}_{cp} + u, \quad (5)$$

де \mathcal{G}_{cp} – середня швидкість у напрямку осі струменя у точці, що визначена координатами y та x , яка виміряна на площадці ΔS , протягом часу $\Delta \tau$,

тобто

$$\mathcal{G}_{cp} = \lim_{\substack{\Delta S \rightarrow 0 \\ \Delta \tau \rightarrow \infty}} \frac{1}{\Delta S \cdot \Delta \tau} \int \int_{\Delta S \cdot \Delta \tau} \mathcal{G}_m \cdot ds \cdot dt. \quad (6)$$

У формулі [6] u – миттєве відхилення від середньої швидкості, що визначають залежністю

$$u = u_0 \cdot \sin(\omega t + \varphi), \quad (7)$$

де u_0 – амплітуда; φ – фазовий кут.

Середня кругова частота – статистична величина, величина якої залежить від p, d_n, y, x . Тиск перед насадкою та швидкість витікання струменя промивальної рідини перебувають у залежності:

$$p = \frac{\rho_p}{2} \cdot \mathcal{G}_{ef}^2, \quad (8)$$

де \mathcal{G}_{ef} – ефективне значення швидкості. Отже,

$$\mathcal{G}_{ef}^2 = \frac{1}{T} \int (\mathcal{G}_{cp} + u)^2 dt = \mathcal{G}^2 + \frac{1}{T} \int u^2 dt, \quad (9)$$

що логічно витікає з визначення середньої швидкості (у певній точці).

З підвищенням тиску струменя (швидкості витікання) відбувається його часткове розпадання (втрата суцільності) внаслідок чого дія струменю на масив гірських порід набуває імпульсного характеру. На збільшення імпульсу впливає підвищення частоти коливань швидкості струменю та зменшення значення відношення мінімальної швидкості \mathcal{G}_{min} до \mathcal{G}_{max} (збільшення амплітуди коливань швидкості). У цьому випадку необхідно розрізняти дві області: імпульсного розподілу швидкості ($\frac{\mathcal{G}_{cp}}{\mathcal{G}_{max}} \geq \frac{1}{2}$), а при переході до великих швидкостей – високоімпульсну ($\frac{1}{2} \geq \frac{\mathcal{G}_{cp}}{\mathcal{G}_{max}} \geq 0$). Друга область відрізняється від першої тим, що

виникають відрізки часу, протягом яких $\mathcal{G}_{min} = 0$.

Величина \mathcal{G}_{ef}^2 може бути обчислена за формулою:

$$\mathcal{G}_{ef}^2 = \frac{1}{\psi} [\mathcal{G}_{max}^2 - 2 \cdot k \cdot \mathcal{G}_{max} + k(1 + \psi) \mathcal{G}_{cp}^2] \quad (10)$$

де ψ – коефіцієнт форми зміни швидкості. Якщо $\psi = 1$, то закон зміни швидкості має прямолінійну форму; якщо $\psi = 2$ – форма синусоїди; k – коефіцієнт імпульсивності

$$k = \frac{\mathcal{G}_{\max} + \mathcal{G}_{\min}}{2 \cdot \mathcal{G}_{cp}} . \quad (11)$$

У імпульсному режимі $\frac{1}{2} \leq k \leq 1$, а високоімпульсному $-1 \leq k \leq \frac{T}{2 \cdot \Delta T}$, де T – середній період коливань, а ΔT – середня тривалість сплеску швидкості.

Для розгляду прийнято наступну модель процесу руйнування гірських порід 1-го та 2-го типів під дією струменя промивальної рідини змінної швидкості. У суцільному масиві гірської породи утворена мережа тріщин унаслідок дії навантаження, що передається через озброєння долота. Такі тріщини також можуть бути утворені під час формування масиву порід або під дією подальших процесів у земній корі, про що наголошено вище. Нехай довжина тріщини a , ширина b , глибина c . Залежно від параметрів гідродинамічного струменю (у першу чергу фіксованої віддалі від вибою свердловини) можливі два випадки співвідношення діаметра струменю у точці його контакту з вибоєм свердловини та розмірами частинок породи розділених тріщинами. У випадку коли тріщинуватість крупна, то діаметр струменю не перевищує розміру однієї частинки масиву породи, і, навпаки, якщо структура дрібнотріщинна, то в діаметр струменю може вписуватись декілька частинок. Знаючи параметри гірських порід і закономірності розширення струменю, завжди можна підібрати ефективний режим їх руйнування для кожного випадку зазначених вище співвідношень, шляхом підбору діаметра гідромоніторних насадок та відповідно висоти їх встановлення у долоті. При подальшому розв'язку для першого співвідношення у виразах використаний індекс 1, для другого – 2.

У процесі відриву частинки гірської породи від вибою необхідно подолати такі сили:

– силу зчеплення частинки гірської породи з масивом (у непорушеній тріщинами частині)

$$F_p = a \cdot b \cdot \sigma_p , \quad (12)$$

де σ_p – напруження, при яких відбувається відрив частинки породи від основи масиву (величина цих напружень не завжди може збігатись з межею міцності породи на розтяг);

– силу зчеплення бокових площин частини гірської породи з масивом (у порушеній тріщинами частині)

$$F_{zp} = 2(a + b) \cdot c \cdot \sigma_{zp} , \quad (13)$$

де σ_{zp} – напруження при яких відбувається відрив частинки породи по бокових гранях (величина цих напружень не завжди може збігатись з межею міцності породи на зсув);

– силу притискання частинки гірської породи струменем до масиву породи F_n .

У першому випадку

$$F_{n1} = \int_S \rho_p \cdot g_m^2 ds, \quad (14)$$

де g_m – миттєва швидкість струменю на площадці ds ; S – площа перерізу струменю на вибої.

У другому випадку (допускаючи, що швидкість струменю на площадці $a \cdot b$ стала)

$$F_{n2} = a \cdot b \cdot \rho_p^2 g_m^2. \quad (15)$$

Тоді сума всіх сил ($\sum F$), що утримують частинку гірської породи з масивом порід рівна:

$$\sum F = a \cdot b \left[\sigma_p + \frac{2c}{a \cdot b} \cdot (a + b) \cdot \sigma_{zp} \right] + F_{n1} + F_{n2}. \quad (16)$$

Для зручності подальшого розв'язку доцільно використати структурну міцність гірської породи (σ_{cmp}), що включає у себе зазначені вище міцнісні властивості масиву,

$$\sigma_{cmp} = \sigma_p + \frac{2c}{a \cdot b} (a + b) \cdot \sigma_{zp}. \quad (17)$$

Якщо напрямок дії сил $\sum F$ додатній, то сила відриву частинки породи від вибою F_g має задовольняти таку нерівність:

$$F_g + \sum F \leq 0 \quad (18)$$

або

$$|F_{g(1,2)}| \geq a \cdot b \cdot \sigma_{cmp} + F_1 + F_2. \quad (19)$$

Відрив частинки породи від масиву можливий тільки під час періодів, коли $F_g > \sum F$.

Припускається, що під час руйнування вибою сила F_g виникає за рахунок сил інерції поверхні частинки, що розхитується, тобто

$$F_g = \rho_{zn} \cdot c \int_{ab} g_c ds, \quad (20)$$

де – ρ_{zn} густина гірських порід; g_c – середнє прискорення випучування елемента породи об'ємом $c \cdot ds$.

Для спрощення викладок за середнє прискорення приймають величину прискорення центра ваги елемента $c \cdot ds$, що розташований на віддалі $c/2$ від вибою.

Якщо A – амплітуда вминання центру ваги елемента (середня амплітуда вминання точок елемента), то середня амплітуда випучування A' пов'язана з нею такою залежністю: $A = nA'$, причому $n < 1$. Таким чином, середнє прискорення випучування частинки породи дорівнює $g_c = \ddot{A}$. Амплітуда вминання масиву та динамічний тиск струменю на вибій P_δ пов'язані такою залежністю: $A = \Phi P_\delta$, де Φ – функція, що визначається теорією пружності. З поданих залежностей витікає

$$g_c = n\Phi\ddot{P}_\delta = n\ddot{A}, \quad (21)$$

$$F_g = n \cdot \rho_{zn} \cdot c \int_{ab} \Phi \cdot \ddot{P}_\delta ds = n \cdot \rho_{zn} \cdot c \int_{ab} \ddot{A} ds. \quad (22)$$

Тоді умова відриву (19) набуде вигляду

$$n \cdot \rho_{zn} \cdot c \int_{ab} \ddot{A} ds + a \cdot b \cdot \sigma_{cmp} + P_\delta \leq 0. \quad (23)$$

Розв'язок нерівності (23) на межі руйнування (шляхом прирівнювання лівої частини до нуля) після визначення $\int_{ab} \Phi \cdot P_\delta ds$ та P_δ дає значення мінімальної миттєвої швидкості та її пульсації, що необхідні для руйнування вибою

$$g_m \geq u_0^2 \sin(\omega \cdot t + \varphi) - B_{1,2}. \quad (24)$$

Величини ω (пульсації швидкості) та B для кожного варіанту зазначених вище співвідношень визначають так:

$$\omega_1 = \sqrt{\frac{2\pi \cdot E}{\psi_1 \cdot n \cdot \rho_{zn} \cdot c^2 \cdot M_1}}, \quad B_1 = \frac{2\sigma_{cmp}}{\rho_p} \cdot \frac{a \cdot b}{S}, \quad (25)$$

де – S площа струменю ($S = \frac{\pi}{4} D_c^2$), а D_c відповідно його діаметр;

$$\omega_2 = \sqrt{\frac{2E}{n \cdot \rho_{zn} \cdot c^2 \cdot M_2}}, \quad B_2 = \frac{\sigma_{cmp}}{\rho_p}. \quad (26)$$

Параметри M_1 , M_2 та ψ_1 безрозмірні величини, причому $\psi_1 \cong 1$, а два інші визначають так:

$$M_1 = (1 + \mu) \left[1 - \frac{1}{\sqrt{1 + \frac{4}{\pi} \cdot \frac{a \cdot b}{c^2}}} \right] + 2(1 - \mu^2) \left[\sqrt{1 + \frac{4}{\pi} \cdot \frac{a \cdot b}{c^2}} - 1 \right], \quad (27)$$

$$M_2 = (1 - \mu^2) \frac{D_c}{c} - \frac{1}{2} [1 - \mu(1 + 2\mu)], \quad (28)$$

де μ – коефіцієнт Пуассона гірських порід. Умова існування миттєвої швидкості

$$u_0 \sin(\omega \cdot t + \varphi) \geq B_{1,2} \quad (29)$$

дає (з урахуванням максимального значення синусу) для кожного випадку:

- випадок 1

$$\rho_p \cdot u_0^2 \geq 2\sigma_{сmp} \cdot \frac{a \cdot b}{S}; \quad (30)$$

- випадок 2

$$\rho_p \cdot u_0^2 \geq \sigma_{сmp}. \quad (31)$$

Ліві сторони нерівностей (30) та (31) являють собою подвійну амплітуду тиску, викликаного змінною швидкістю струменю.

Отже, для визначення мінімального тиску на вибої, при якому буде відбуватись руйнування частинок гірської породи та їх відрив від вибою, необхідно визначити структурну міцність породи, тобто усереднені значення розмірів частинок породи між тріщинами та граничні значення напружень зчеплення між ними, а також діаметр струменю для випадку коли він менший за розміри окремих частин на вибої.

Порівняння виразів (30) та (31) свідчить, що за однакових інших параметрів руйнування та відрив частинок для дрібнотріщинної структури потребує меншого динамічного тиску ніж крупнотріщинної, оскільки коефіцієнт $\frac{a \cdot b}{S}$ у виразі (30) завжди більший за 1.

В обох випадках динамічний тиск струменю необхідний для ефективного руйнування порід на вибої зменшується за зменшення розміру c по відношенню до розміру $\sqrt{a \cdot b}$. У випадку 1 (структура гірської породи крупна) необхідний динамічний тиск зменшується зі зменшенням розмірів a, b та зі збільшенням площі контакту S . У розглядуваних випадках необхідний динамічний тиск менший за менших значень міцнісних показників σ_p та $\sigma_{зр}$.

Значення частоти за виразами (25) та (26), що необхідні для ефективного руйнування вибою, обернено пропорційні розміру c .

Крім того граничне значення ω у першому випадку залежить від співвідношення $\sqrt{\frac{a \cdot b}{c}}$, у другому – від співвідношення D_c/c . Перевіримо нерівність (31) за різних співвідношень a, b, c . Якщо прийняти, що $a \approx b \approx c$, то мінімальний тиск дорівнює:

$$p_{\min} = \frac{\rho_p \cdot u_0^2}{2} \geq \frac{1}{2}(\sigma_p + 4\sigma_{zp}). \quad (32)$$

Якщо прийняти, що $c = 1,5a$ а $b = 5a$, отримаємо

$$p_{\min} = \frac{\rho_p \cdot u_0^2}{2} \geq \frac{1}{2}(\sigma_p + 3,6\sigma_{zp}). \quad (33)$$

Отже, різні геометричні розміри частинок масиву між тріщинами несуттєво впливають на величину динамічного тиску.

За даними [12] межа міцності гірських порід на розтяг та зріз пов'язані з межею міцності на стиск такими залежностями:

$$\sigma_p \cong (0,04 - 0,07)\sigma_{cm}; \sigma_{zp} \cong (0,08 - 0,2)\sigma_{cm}.$$

Відповідно, мінімальна амплітуда тиску на межі руйнування дорівнює:

$$p_{\min} = \frac{\rho_p \cdot u_0^2}{2} \approx (0,18 - 0,43)\sigma_{cm}, \quad (34)$$

а мінімальний ефективний тиск (приймаючи синусоїдальний закон зміни швидкості) складає:

$$p_{\min(e)} = \frac{P_{\min}}{\sqrt{2}} = \frac{\sigma_{cmp}}{2 \cdot \sqrt{2}} \approx (0,13 - 0,3)\sigma_{cm}. \quad (35)$$

Результати виконаних аналітичних досліджень використано для моделювання процесів руху потоку промивальної рідини через гідромоніторні насадки долота з використанням пакету Flow Simulation CAD/CAM системи Solid Works. Моделювання проведено за таких умов: кількість насадок в долоті – 6 штук, витрата промивальної рідини – (0,03-0,04) м³/с, гідродинамічний тиск на насадках долота – (8-10) МПа, частота обертання долота (10-15) рад/с, густина промивальної рідини (1100-1150) кг/м³, температура до 100 °С, в'язкісна модель промивальної рідини – Гершеля-Балклі. Під час імітаційного моделювання досліджувались такі параметри: розташування насадок на різній віддалі від осі долота та від вибою свердловини, розподіл тиску на вибої свердловини при виході промивальної рідини з кожної насадки та швидкість струменю, зміна швидкості потоку промивальної рідини у процесі її виходу у простір між долотом та стінкою свердловини, завихреності струменів на вибої та стінках свердловини. Результати імітаційного моделювання можуть бути отримані у двох варіантах: глобальні максимуми досліджуваних параметрів та локальні мінімуми. Глобальні значення результатів стосуються всієї досліджуваної моделі, а локальні – показують граничні значення параметрів тільки по виділеному перерізу (або області). Результати проведеного моделювання використані для удосконалення конструкції промивальних вузлів розробленої конструкції долота [4]. Нижче у табл. 1 подано характеристику промивальних вузлів долота, характеристику порід розрізу свердловини, де випробувані долота, та розрахункові параметри буріння.

Таблиця 1. Характеристики долота, порід та розрахункові параметри буріння

Характеристика долота				
Діаметр долота, мм	Кількість насадок, шт.	Діаметр насадок, мм	Коефіцієнт форми насадки, μ_0	Загальна площа січення насадок, m^2
218	6	10,3	0,9	0,000499
Густина промивальної рідини 1120 kg/m^3				
Характеристика порід та розрахункові параметри буріння				
Назва породи	Межа міцності на стискування, σ_{cm} , МПа	Мінімальний ефективний тиск, $p_{min(e)}$, МПа	Швидкість витікання промивальної рідини з насадок, g , м/с	Витрата промивальної рідини, Q , m^3/c
Глини ущільнені	5,5-6	1,65-2,0	48,9-53,8	0,0243-0,0268
Алевроліт	22-23	6,6-6,9	97,7-99,9	0,0487-0,0498
Піщанистий сланець	9-12	2,7-4	62,5-76,0	0,031-0,0379
Пісковик	28-31	8,4-9,3	110,2-116	0,055-0,0578

Для промислових випробувань виготовлені два нових долота з удосконаленими гідромоніторними вузлами:

- третє долото ІНМ АП 218 МС №37815 відпрацьовано на Береговому НГКР, свердловина № П-86 з 13.06 по 24.06.2019р.; загальна проходка 558м у інтервалі 1603-2161м;
- четверте долото ІНМ АП 215,9 С № 37822 відпрацьовано на Уренгойському НГКР, свердловина № 2П з 17.10 по 28.10.2019р.; загальна проходка 552м у інтервалі 438-990м.

Нижче у табл. 2 подано порівняльну характеристику показників роботи двох раніше виготовлених доліт та двох доліт з удосконаленими конструкціями промивних вузлів.

Таблиця 2. Показники відробки доліт з удосконаленими конструкціями промивних вузлів

Долото	Загальна проходка, м	Загальний час буріння, год	Середня механічна швидкість, м/год	Максимальна механічна швидкість у інтервалі, м/год
Долота випробувані у 2015р.				
1	122	8,0	15,2	17,1
2	33	11,5	2,87	30,0
Долота випробувані у 2019р.				
3	558	30,75	18,14	28,25
4	552	103,65	5,33	22,0

Висновки. За проведеними аналітичними дослідженнями залежності гідромоніторного ефекту від міцнісних характеристик гірських порід удосконалено конструкцію розробленої раніше та випробуваної у промислових умовах бурової головки. Виготовлено та випробувано два нових взірці бурової головки, результати відробки яких засвідчують значно вищі показники їх стійкості та проходки, тому у подальшому ці роботи будуть продовжені.

Література

1. I. Shatskyi, A. Velychkovych, M. Seniushkovych, I. Vytvytskyi. Analytical models of contact interaction of casing centralizers with well wall. 2019 by the authors; licensee Growing Science, Canada. Engineering Solid Mechanics 7 (2019) 355-366. © 2019 Growing Science Ltd. doi: 10.5267/j.esm.2019.6.002.
2. Чудик І.І., Бабій Р.Б. Оптимальна подача промивальної рідини на вибій при бурінні свердловини // Нафтогазова енергетика. – 2007. – №3. – С.71-75.
3. Розроблення та випробування бурової головки з генераторною схемою різання гірських порід / Я.С. Білецький, М.В. Сенюшкович, В.В. Врюкало, І.Я. Білецька // Прикарпатський вісник НТШ. Число. – Івано-Франківськ, 2016. – №1 (33). – С. 224-235.
4. Білецький Я.С., Білецький М.С., Гунчак М.І., Шимко Т.Я., Сенюшкович М.В., Чудик І.І. Бурова головка з комбінованою схемою буріння і очищення свердловин. Патент України на корисну модель. № 92096. Бюл. № 14, від 25.07.2014р.
5. Стетюха Е.И. Гидродинамические расчеты в бурении. – К.: Техника, 1981. – 115 с.
6. Промивання свердловини. Відробка доліт. Довідник буріння свердловин в 5-ти томах. Т. 5 // Під ред. М.А. Мислюка, І.Й. Рибича, Р.С. Яремійчука. – К.: Інтерпрес, 2005. – 304 с.
7. Маковой Н. Гидравлика бурения / Пер. с румынского – М.: Недра, 1986. – 537 с.
8. НПАОП 11.2-1.18-82. Єдині технічні правила ведення робіт при будівництві свердловин на нафтових, газових і газоконденсатних родовищах 09.09.1982. Мінгазпром. – Міннафтопром. – Мінгео СРСР.
9. Каркашадзе Г.Г. Механическое разрушение горных пород. М: Издательство Московского гос. горного университета, 2004. – 222 с.
10. Чудик І.І. Про затрати гідравлічної потужності на промивання свердловини. Нафтогазова енергетика. – 2007. – № 4(5). – С. 54-59.
11. Абрамович Г.Н., Гиршович Т.А., Крашеников С.Ю., Секундов А.Н., Смирнова И.П. Теория турбулентных струй. Изд. 2-е, перераб. И доп. – М: наука, 1984. – 588с.
12. Технологія буріння. / П.П. Вирвінський, Ю.Л. Кузін, В.Л. Хоменко. – Д.: Національний гірничий університет, 2014. – 280с.

Стаття надійшла до редакційної колегії 23.10.2020 р.

**INVESTIGATION OF PARAMETERS OF HYDROMONITOR
JET OF A BIT**

**V. M. Moisyshyn, Ya. S. Biletsky, M. V. Seniushkovych,
I. I. Vytvytsky**

*Ivano-Frankivsk National Technical University of Oil and Gas;
15, Carpathian street, Ivano-Frankivsk, 76019;
tel. +380 (342) 71-72-31; e-mail: math@nung.edu.ua;
tel./fax +380 (342) 72-71-37; e-mail: drill@nung.edu.ua*

The movement of drilling mud through hydromonitor nozzles is investigated in the work. On the basis of the theory of destruction of rocks by a liquid stream the necessary values of pressure on hydromonitor nozzles of a drilling head for concrete values of mechanical properties of the drilled breed are found. The results of the performed analytical researches were used for modeling of processes of movement of a stream of washing liquid through hydromonitor nozzles of a bit with use of the Flow Simulation CAD / CAM package of the Solid Works system. During the simulation following parameters were investigated: the location of the nozzles at different distances from the axis of the bit and from the bottom of the well, pressure distribution at the bottom of the well at the exit of the flushing fluid from each nozzle and the velocity of the jet and the wall of the well, the vorticity of the jets on the bottom and the walls of the well. According to the results of research design of the hydromonitor unit of the drilling head was improved and new tests were carried out in industrial conditions.

Key words: bit, rock, rock properties, well washing, fluid flow, hydromonitor nozzles, mechanical speed, face, drilling.