

УДК 622.245

**ДОСЛІДЖЕННЯ РУХУ БУРОВОГО РОЗЧИНУ ЧЕРЕЗ  
БАГАТОПОТОКОВІ НАСАДКИ ГІДРОМОНІТОРНОГО ДОЛОТА****Я. С. Білецький, В. В. Врюкало, А. П. Олійник,  
М. В. Сенюшкович, І. Я. Білецька***Івано-Франківський національний технічний університет нафти і газу  
76019, м. Івано-Франківськ, вул. Карпатська, 15;  
тел./факс +380 (342) 72-71-37; e-mail: drill@nung.edu.ua*

*У роботі описано дослідження руху бурового розчину через гідромоніторні насадки спеціальної конструкції, які створюють кілька потоків рідини. Описано конструкцію долота з запропонованими гідромоніторними насадками. Виконано комп'ютерне моделювання з використанням пакету FlowSimulationCAD/CAM системи SolidWorks, для чого були розглянуті моделі фрагменту бурильної колони і варіантів конструкції долота з гідромоніторними насадками звичайного виду та запропонованими багатопотоковими, що розміщувались на вибої свердловини. Для кожного варіанту виконувався чисельний розрахунок руху рідини методом скінченних елементів. За результатами моделювання встановлено більш рівномірний розподіл потоків бурового розчину у привибійному просторі для долота з запропонованою конструкцією гідромоніторної насадки порівняно з традиційною насадкою.*

*Ключові слова: долото, промивання свердловини, гідромоніторні насадки, гірська порода, шлам, механічна швидкість, буріння.*

**Вступ.** Одним із напрямків досліджень, спрямованих на підвищення швидкості буріння свердловин, є забезпечення ефективного очищення привибійної зони від часток породи, які утворились в процесі руйнування поверхні вибою долотом. Велике значення для швидкого виведення часток породи – шламу – із зони руйнування породи має гідравлічна ефективність породоруйнівного інструменту, яка забезпечується розміщенням промивних отворів у корпусі долота, оснащенням цих отворів спеціальними соплами для створення потоків бурового промивального розчину, властивостями бурового промивального розчину захоплювати та переносити часточки шламу, траєкторіями потоків бурового промивального розчину в порожнинах між долотом та верхньою вибою.

**Постановка проблеми.** У даному дослідженні розглядається вплив конструкції сопла промивального отвору долота на потоки бурового промивального розчину та гідравлічні ефекти, що можуть мати вплив на ефективність очищення привибійної зони.

**Результати досліджень.** Як відомо з курсу гідромеханіки, розглядаючи інтеграл Бернуллі для нестисливої рідини [1]:

$$\frac{v_1^2}{2} + \frac{P_1}{\rho} = \frac{v_2^2}{2} + \frac{P_2}{\rho}, \quad (1)$$

де  $v_1, v_2$  – швидкості рідини відповідно у перерізах 1 та 2, м/с;

$P_1, P_2$  – значення тиску відповідно у перерізах 1 та 2, Н/м<sup>2</sup>,

бачимо, що при усталеному русі розподіл тиску в потоці суттєво залежить від розподілу швидкостей. Рідини, що зустрічаються в природі або використовуються в техніці, містять зважені тверді частинки та розчинені гази. В переважній більшості випадків такі рідини не здатні сприймати розтягуючі зусилля (від’ємні тиски). В особливих умовах вдається спостерігати течії, при яких виникають розтягуючі напруження в рухомій рідині, проте, як правило, тиск  $P$  в потоці не може стати нижчим деякого додатнього значення  $P_d$ , яке при звичайних температурах є близьким до нуля. В звичайних умовах можна приймати  $P_d$  рівним тиску насичених парів рідини.

У тих місцях потоку, де тиск падає до цього значення, відбувається порушення суцільності середовища і утворюється область, заповнена бульбашками, всередині яких знаходиться пара рідини чи газ, який був розчинений у ній та виділився з розчину. Це явище називається кавітацією. Початкову стадію кавітації можна трактувати як явище «закипання» рідини при зниженні тиску. При подальшому зниженні тиску дрібні бульбашки об’єднуються і в потоці виникають великі порожнини – каверни, заповнені газами та парами рідини, які виділилися з неї.

Для коефіцієнта тиску, який відповідає мінімальному тиску, можна записати:

$$C_{P_{\min}} = \frac{2(P_{ГСТ} - P_{\min})}{\rho v_{\infty}^2}, \quad (2)$$

де  $P_{ГСТ}, P_{\min}$  – гідростатичний тиск тв. Мінімальний тиск відповідно, Н/м<sup>2</sup>.

Поява кавітації визначається умовою:

$$C_{P_{\min}} = \frac{2(P_{ГСТ} - P_d)}{\rho v_{\infty}^2} = \chi. \quad (3)$$

Величину  $\chi$  називають числом кавітації. З формули (3) видно, що кавітація може виникнути не тільки при збільшенні швидкості  $v_{\infty}$ , але і при зменшенні  $P_{ГСТ}$ . Очевидно, що при зануренні на глибину росте  $P_{ГСТ}$  і поява кавітації ускладнюється.

При бурінні свердловин ефекти кавітації виникають під час витікання бурового розчину з промивних отворів долота. Як відомо, для забезпечення ефективного виносу частинок розбуреної породи – шламу, буровий розчин подається в свердловину з досить високою об’єм-

ною витратою (30-40 л/с). Сумарна площа промивних отворів доліт є у 2-3 рази меншою за площу їх вхідного отвору. Це створює умови для виникнення кавітаційних явищ при витіканні бурового розчину з промивних отворів долота, особливо, якщо вони мають гідромоніторні насадки. Виникнення кавітації за промивними отворами підтверджує той факт, що спостерігається ерозія корпусу долота поблизу промивних отворів (рис. 1). Ерозію спричиняє наступна послідовність явищ. При кавітації в області, де тиск становить  $P_{\min}$ , виникають бульбашки, заповнені парами з тиском, близьким до нуля. Бульбашки рухаються разом з рідиною і потрапляють в область високих тисків. В цій області рідина із значною швидкістю прямує всередину бульбашок, відбувається їх "схлопування", що супроводжується великим приростом місцевих тисків. Це спричиняє руйнування поверхні тіл, що омиваються таким потоком рідини. Кавітаційну ерозію можна використати для додаткового руйнування поверхні вибою спільно з вимиваючою дією струменів бурового розчину (гідромоніторним ефектом).



Рис. 1. Ерозія корпусу долота поблизу промивних отворів

Для забезпечення більш ефективної промивки вибою нами пропонується збільшення кількості потоків рідини, які витікають з промивного отвору долота [3]. Запропонована конструкція сопла промивних отворів долота показана на рис. 2. Пропонується розділити потік на кілька струменів, які будуть направлені в різні сторони. Це забезпечить натікання високошвидкісних струменів на більшу площу поверхні вибою, що підвищить сумарний гідромоніторний ефект долота на породу.

Додаткова дія кавітації при різкому гальмуванні потоків рідини також буде розповсюджена на більшу площу вибою або на частинки шламу, які будуть на шляху цих потоків. Розділення потоку промивної рідини на кілька струменів також забезпечуватиме усунення застійних зон і кращу очистку вибою від частинок породи.

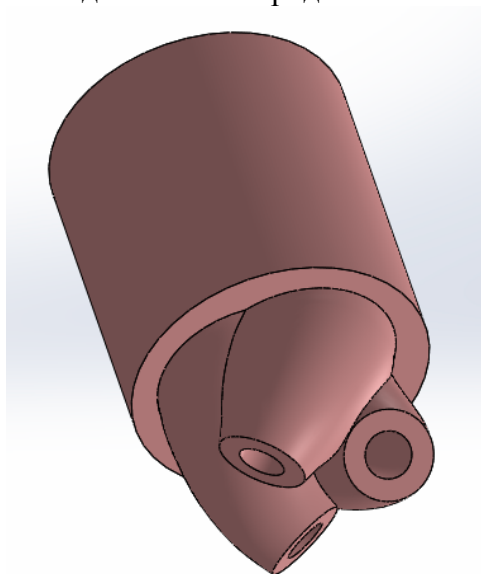


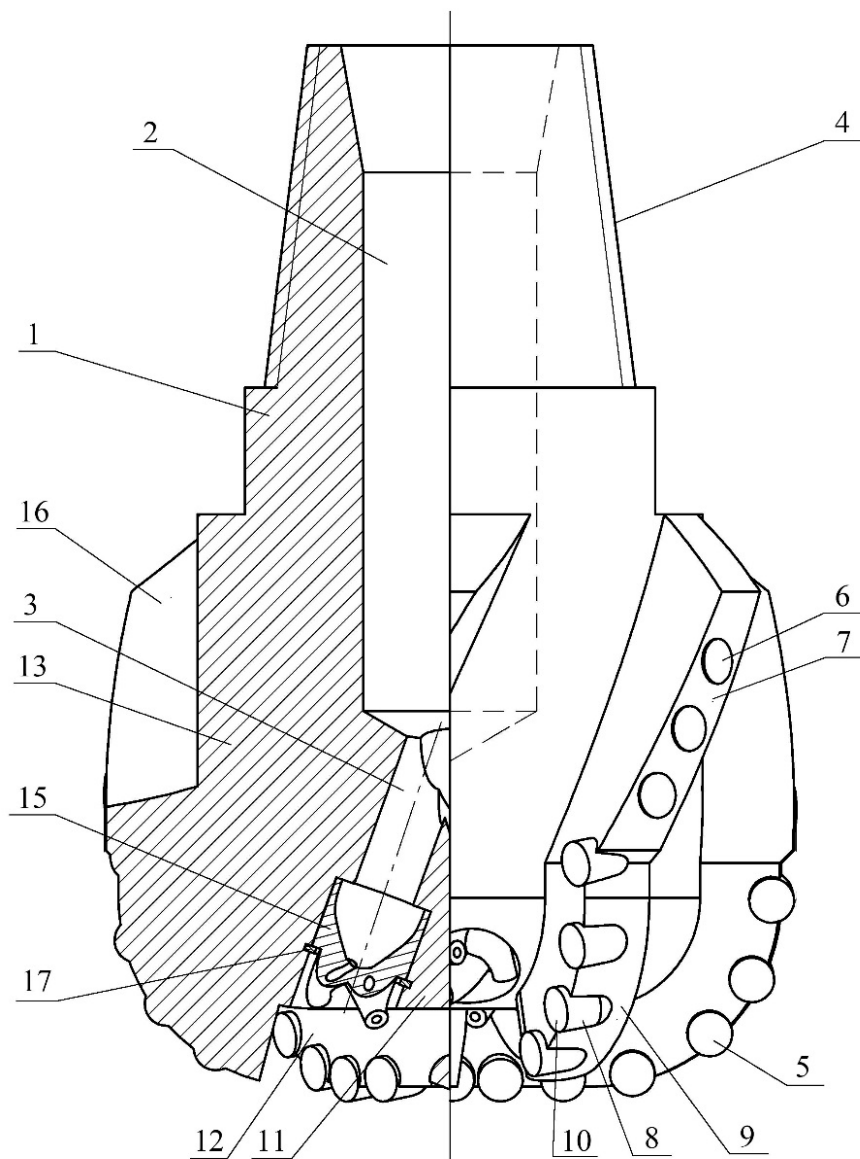
Рис. 2. Багатопотокове сопло промивного отвору долота

Щоб зберегти умови, які забезпечують гідромоніторний ефект, діаметри трьох отворів запропонованої конструкції сопла вибирались таким чином, щоб сумарна площа цих отворів дорівнювала площі отвору звичайного сопла. На рис. 3 зображено долото [2], оснащене гідромоніторними соплами запропонованої конструкції.

Для дослідження руху рідини у привибійному просторі свердловини була створена 3D модель долота. На рис. 4 подана модель бурового долота в зборі з соплами запропонованої конструкції. Для варіантів моделей долота з багатопотоковими гідромоніторними насадками та насадками звичайної конструкції проводились чисельні дослідження з використанням пакету Flow Simulation CAD/CAM системи Solid Works.

Для розрахунків приймалась рідина – неньютонівська, що за властивостями відповідає глинистому розчину. Об'ємна витрата приймалась рівною  $0,032 \text{ м}^3/\text{с}$ , перепад тиску на долоті – 2 МПа. Промивні отвори долота для двох варіантів розрахунку були оснащені соплами запропонованої конструкції та звичайними. Характер руху рідини, розрахований для вказаних варіантів, подано на рис. 5 (показано вигляд спереду, збоку та знизу). Видно, що для долота із соплами запропонованої конструкції потік рідини має менше завихрень і струмені зберігають більшу швидкість на ділянках, більш віддалених від сопел, порівняно з долотом із звичайними соплами. Швидкість витікання рідини із

сопел достатня для створення гідромоніторного ефекту. Подальше різке падіння швидкості спричинятиме “схлопування” кавітаційних пухирців.



- 1 – корпус долота; 2 – центральний отвір; 3 – канал промивного отвору;  
 4 – кріпильна нарізь; 5 – ріжучі елементи, 6 – калібрувальні елементи;  
 7, 16 – калібруюча частина; 8 – бічна поверхня зубка; 9, 12 – лопаті із зубками;  
 10 – різальна кромка зубка; 11 – торцева частина корпусу; 13 – циліндрична частина корпусу; 15 – гідромоніторна насадка; 17 – стопорне кільце

Рис. 3. Креслення долота в зборі з соплами запропонованої конструкції

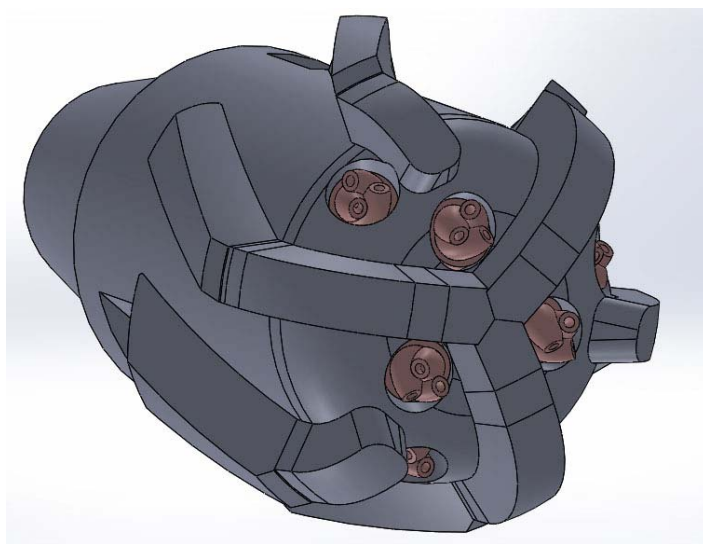


Рис. 4. Модель долота з соплами запропонованої конструкції

**Висновки.** Запропонована конструкція гідромоніторних насадок бурового долота покращує характер руху бурового розчину у привибійній зоні порівняно з використанням традиційних гідромоніторних насадок. Це сприятиме:

- підсиленню гідромоніторного ефекту дією більш швидкісних струменів на поверхню вибою;
- додатковому кавітаційному руйнуванню поверхні вибою та часток шламу;
- кращому виведенню часток шламу з привибійної зони за рахунок зменшення застійних зон в потоці бурового промивального розчину.

#### *Література*

1. Седов Л.И. Механика сплошной среды. В 2 томах / Л.И. Седов. – М.: Наука, 1970.
2. 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.
3. Позитивне рішення за заявкою № и2018 03532 dsl 19.04.2018 р. / Крижанівський Є.І, Білецький Я.С., Сенюшкович М.В., Білецька І.Я. Врюкало В.В., Тершак Б.А., Оринчак М.І. Бурова головка з багатопотоковими гідромоніторними насадками.

*Стаття надійшла до редакції 22.06.2018р.*

*Рекомендовано до друку д.т.н., професором Бураком К.О.,  
д.ф-м.н., професором Горічком І.В.*

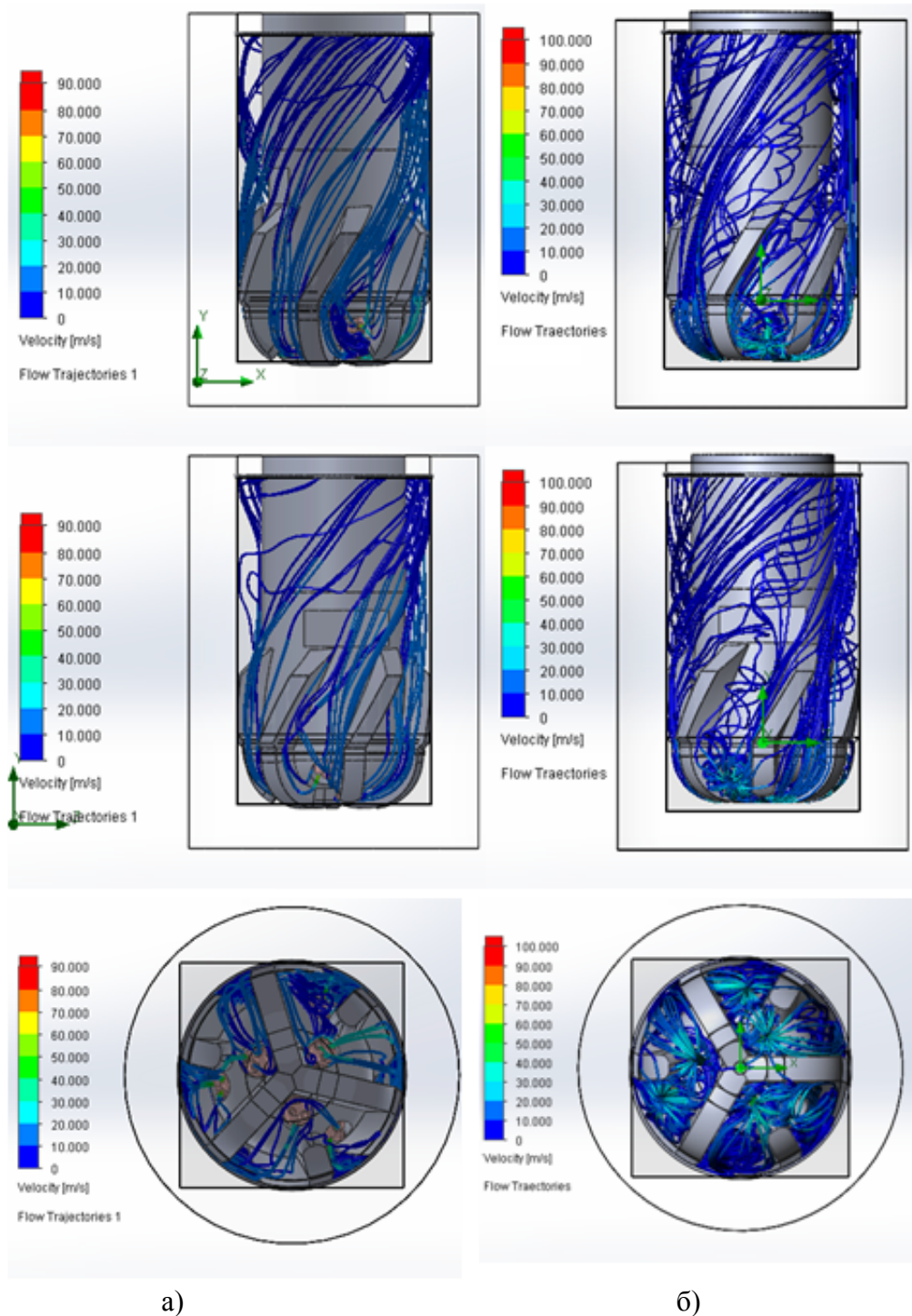


Рис. 5. Характер потоків рідини у привибійному просторі для доліт, оснащених соплами: а) запропонованої конструкції; б) стандартними (види спереду, збоку та знизу)

---

**INVESTIGATION OF THE MOTION OF THE DRILLING FLUID  
THROUGH THE MULTI-FLOW NOZZLES OF THE JETTING BIT**

**Y. S. Biletskyi, V. V. Vriukalo, A. P. Oliynyk,  
M. V. Seniushkivych, I. Y. Biletska**

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

*The paper describes the investigation of the movement of drilling mud through special nozzle jet nozzles that create several fluid flows. The design of a bit with the offered jetting nozzles is described. Computer simulations were carried out using the SolidWorks Flow Simulation CAD/CAM package for the Solid Works system, for which models of a drill string fragment and variants of a bit design with conventional water jet nozzles and proposed multi-stream ones that were located at the bottom of the well were considered. For each variation, a numerical calculation of fluid motion by the finite element method was carried out. Based on the results of the simulation, a more uniform distribution of the mud flow in the bottomhole area for the bit with the proposed design of the jetting nozzle is found in comparison with the traditional nozzle.*

**Key words:** *drill bit, well flushing, jet pump nozzles, rock, debris, velocity, drilling.*