

8 Рубаненко О.О., Лежнюк П.Д. Використання методів нечіткого моделювання в задачах електроенергетики // XIII Міжнародна конференція з автоматичного управління (Автоматика-2006): Тези доповідей тринадцятої міжнародної науково-технічної конференції. – Вінниця: УНІВЕРСУМ-Вінниця. – 2006. – С. 91.

9 Рубаненко О.О., Лежнюк П.Д. Динамічне коригування умов оптимальності нормальних режимів ЕЕС засобами нейро-нечіткого моделювання // Матеріали I-ї міжнародної науково-технічної конференції „Підвищення рівня ефективності енергоспоживання в електротехнічних пристроях і системах” / РВВ ЛДТУ. – 2006. – С. 63.

УДК 622.244.422

ОПТИМАЛЬНА ПОДАЧА ПРОМИВАЛЬНОЇ РІДИНИ НА ВИБІЙ ПРИ БУРІННІ СВЕРДЛОВИНИ

Чудик І. І., ¹Бабій Р. Б.

ІФНТУНГ, 76019, Івано-Франківськ, Карпатська, 15, тел. (03422) 45560, chudoman@ukr.net.

¹Управління розвідувального і експлуатаційного буріння, ДАТ "Чорноморнафтогаз", Порт Чорноморськ, АР Крим, тел/факс (06558) 92-804, rbabiy@gas.crimea.ua

Приведен анализ факторов, влияющих на очистку забоя скважины при бурении. В зависимости от концентрации шлама, его размеров и механической скорости бурения проведено исследование процесса выноса шлама из скважины и скорость его подъема. Намечены дальнейшие исследования.

The analysis of factors that influence the well bottom cleaning by drilling is adduced. Depending on mud concentration, its sizes and rate of penetration the investigation of cutting lifting process and rate of mud climb is carried out. Perspectives of further investigation in this direction are planned.

Механічна швидкість буріння свердловин суттєво залежить від процесу очищення вибою та своєчасного видалення уламків гірської породи в кільцевий простір, якнайдалі від зони дії породоруйнівного інструменту. У процесі поглиблення свердловини утворюється велика кількість різних за розмірами частинок шламу. Буровий розчин, який подається через промивальні канали долота, завихрює їх і по затрубному просторі піднімає до устя свердловини. Залежно від фізико-механічних властивостей гірської породи, типу долота і режимно-технологічних параметрів об'єм утвореного шламу за одиницю часу може змінюватися у великому діапазоні, що часто зумовлює проблеми його виносу із свердловини. Цьому питанню присвячено низку наукових праць, в яких основна увага приділяється швидкості потоку бурового розчину в кільцевому просторі, який забезпечить винос частинок гірської породи на устя свердловини [1-4]. Якщо вибій і кільцевий простір забруднені частинками шламу, то процес буріння супроводжується заклинюванням долота, затяжками (іноді навіть прихопленням) інструменту, зниженням швидкості буріння та викликає помилкову думку про зустріч долота із твердою чи абразивною гірськими породами. А при поганому очищенні вибою відбувається повторне перемелювання шламу, що і стає причиною зниження проходки на долото, збільшення енергетичних і матеріальних затрат при повному виконанні гідравлічної програми промивання свердловини

Незважаючи на переконливу необхідність збільшення подачі на вибій бурового розчину з метою очистки його від шламу, існує низка суттєвих недоліків [3]:

1. Підвищується диференційний тиск на вибій свердловини за рахунок зростання гідравлічних затрат у кільцевому просторі.
2. Інтенсифікується процес розмивання стінок свердловини до утворення каверн і жолобів.
3. Зростають енергетичні затрати на реалізацію гідравлічної програми промивки.
4. Виникають сильні поглинання бурового розчину і спрацювання елементів бурових насосів, вертлюгів, різьб бурильної колони, насадок долота тощо.

Зважаючи на подані переваги і недоліки промивання свердловини за рахунок великих питомих витрат бурового розчину, використання гідравлічної програми для кожного конкретного випадку повинно відбуватися за компромісним рішенням, яке забезпечить мінімальні матеріальні та енергетичні затрати процесу буріння. З існуючих досліджень по даному напрямку відомо, що при виконанні процесу промивання свердловини витрачається більш, ніж 70% енергії, необхідної для її спорудження [5]. У зв'язку з цим при бурінні свердловин на основі геолого-технічної інформації необхідно проводити складні інженерні розрахунки для вибору правильної стратегії промивання, яка дасть змогу суттєво зменшити витрати паливно-енергетичних ресурсів, а для цього потрібна відповідна методика.

Одним із основних критеріїв вибору параметрів промивки є швидкість руху бурового розчину в кільцевому просторі. За результатами багатьох досліджень ряд авторів [3, 5, 6] рекомендують вибирати її залежно від:

- досвіду ведення бурових робіт на конкретній площі із заданими режимно-технологічними параметрами і технічним забезпеченням;
- складу гірських порід (глини, глинисті сланці, піски, пісковики тощо);
- типу обсадної колони (кондуктор, проміжна і експлуатаційна колони).

За цими даними важко в промислових умовах оперативно і правильно вибрати необхідну витрату промивальної рідини, забезпечивши при цьому достатню швидкість підйому шламу по затрубному простору. Тому є необхідність у встановленні узагальненого критерію вибору оптимальної витрати бурового розчину, за якими можна було б без врахування низки вимог вибирати потрібну подачу насоса в певний момент часу в заданому інтервалі буріння свердловини. У дослідженнях [3, 6] за основу вибору витрати промивальної рідини (тим самим і швидкості руху рідини в кільцевому просторі) прийнято об'ємну концентрацію шламу в затрубному просторі, яка визначається кількома підходами:

1) за густинами промивальної рідини і гірської породи [3]:

$$C = \frac{\rho_{КП} - \rho_{БР}}{\rho_{ГП} - \rho_{БР}}, \quad (1)$$

де $\rho_{КП}$, $\rho_{БР}$, $\rho_{ГП}$ – густина бурового розчину в кільцевому просторі, у бурильних трубах і густина гірської породи, що розбурюється.

2) за об'ємами бурового розчину і шламу в ньому [3]:

$$C = \frac{V_{ГП}}{V_{ГП} + V_{БР}}, \quad (2)$$

де $V_{БР}$, $V_{ГП}$ – відповідно об'єми бурового розчину і шламу в одному інтервалі, довжиною L .

3) за величиною механічної швидкості буріння і осідання частинок шламу в кільцевому просторі [6]:

$$C = \frac{v_M \cdot f_{ВИБ}}{(v - v_0) \cdot f_{КП}}, \quad (3)$$

де: v_M , v , v_0 – відповідно механічна швидкість буріння, підйому бурового розчину і осідання шламу в затрубному просторі;

$f_{виб}$, $f_{кп}$ – відповідно площа вибою свердловини і поперечного перерізу кільцевого простору.

Для визначення v_0 використаємо залежність, запропоновану в дослідженні [7]:

$$v_0 = 3 \cdot \sqrt{(0.02 + 0.035 \cdot D_D) \cdot \left(\frac{\rho_{ГП}}{\rho_{БР}} - 1 \right)}, \quad (4)$$

де D_D – діаметр долота.

Виходячи із залежностей (1-3), отримуємо:

$$\frac{\frac{\pi}{4} \cdot v_M \cdot K \cdot D_D^2}{Q + \frac{\pi}{4} \cdot v_M \cdot K \cdot D_D^2} = \frac{\rho_{КП} - \rho_{БР}}{\rho_{ГП} - \rho_{БР}}, \quad (5)$$

$$\frac{v_M \cdot K \cdot D_D^2}{(v - v_0) \cdot [K \cdot D_D^2 - d_{БТ}^2]} = \frac{\rho_{КП} - \rho_{БР}}{\rho_{ГП} - \rho_{БР}}. \quad (6)$$

де: $d_{БТ}$ – зовнішній діаметр бурильної труби;

K – коефіцієнт кавернозності.

Для визначення швидкості підйому шламу в затрубному просторі ($V_{ш} = V - V_0$) скористаємося формулою Ретінгера [5]:

$$v_{ш} = 0.05 \cdot \sqrt{Re^*} - 0.15, \quad (7)$$

де Re^* – число Рейнольдса.

$$Re^* = \frac{6 \cdot Re}{6 + sen}, \quad (8)$$

$$sen = \frac{\tau_0 \cdot (K \cdot D_D - d_{БТ})}{\eta \cdot v}, \quad (9)$$

$$Re = \frac{\rho_{КП} \cdot v \cdot (K \cdot D_D - d_{БТ})}{\eta}. \quad (10)$$

В результаті зведення формул (8) – (10), отримуємо трансцендентне рівняння, яке виражає залежність зміни величини швидкості підйому шламу від параметрів бурового розчину в кільцевому просторі:

$$v - v_0 = 0.05 \times \sqrt{\frac{6 \cdot v^2 \cdot (\sqrt{K} \cdot D_D - d_{БТ}) \cdot \rho_{КП}}{(\sqrt{K} \cdot D_D - d_{БТ}) \cdot \tau_0 + 6 \cdot \eta \cdot v}} - 0.15. \quad (11)$$

Якщо прийняти, що τ_0 і η змінюються за законом Філатова [5]

$$\eta = 0.033 \cdot 10^{-3} \cdot \rho_{КП} - 0.022; \quad (12)$$

$$\tau_0 = 8.5 \cdot 10^{-3} \cdot \rho_{КП} - 7, \quad (13)$$

та отримаємо залежність:

$$v - v_0 = \left[\left(15 \cdot (\sqrt{K} \cdot D_D - d_{БТ}) \cdot v^2 \cdot \rho_{КП} \right) \times \left\{ (\sqrt{K} \cdot D_D - d_{БТ}) \cdot (8.5 \cdot \rho_{КП} - 7 \cdot 10^3) + 6 \cdot (0.033 \cdot \rho_{КП} - 22) \cdot (v - v_0) \right\}^{-1} \right] - 0.15. \quad (14)$$

Розв'язавши рівняння (5), (6) і (14) в системі відносно невідомих Q , v і $\rho_{КП}$, встановлюємо взаємозв'язок між величиною концентрації шламу в промивальній рідині C , швидкістю її руху в кільцевому просторі залежно від v_M і v_0 .

На основі запропонованого підходу, отримано наступні графічні залежності: $v = f(v_M, C)$ – (рис. 1) та $Q = f(v_M, C)$ – (рис. 2). Вони побудовані за такими вихідними даними:

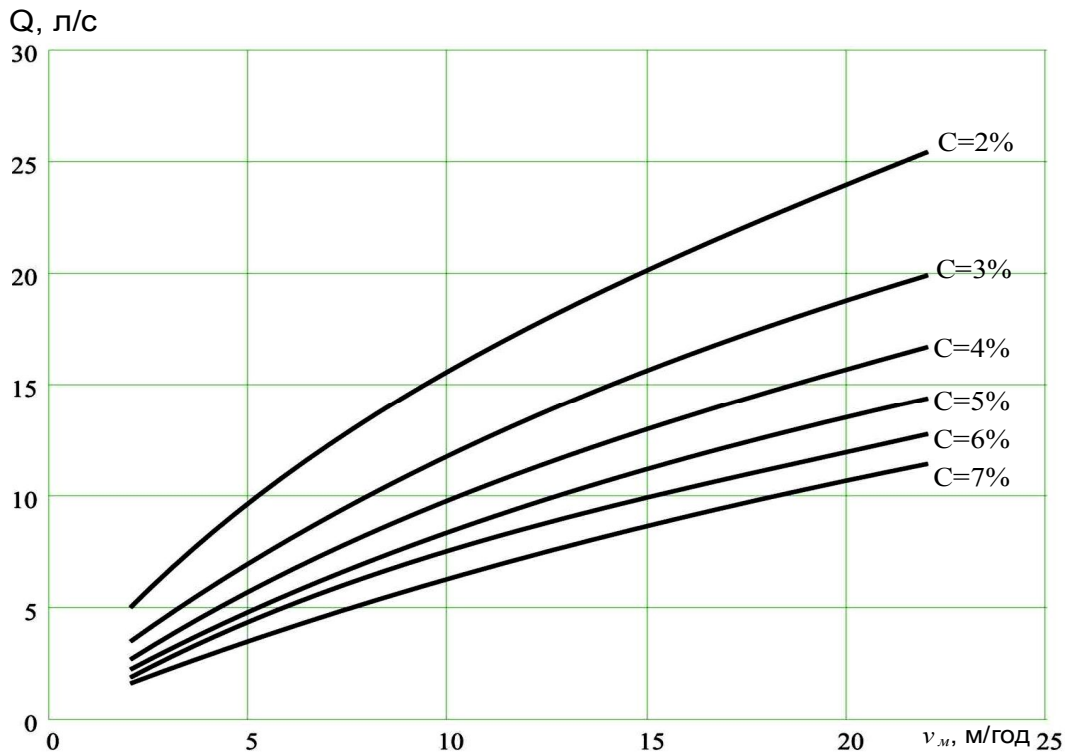


Рисунок 1 – Залежність зміни подачі насоса від механічної швидкості буріння свердловини і концентрації шламу в розчині

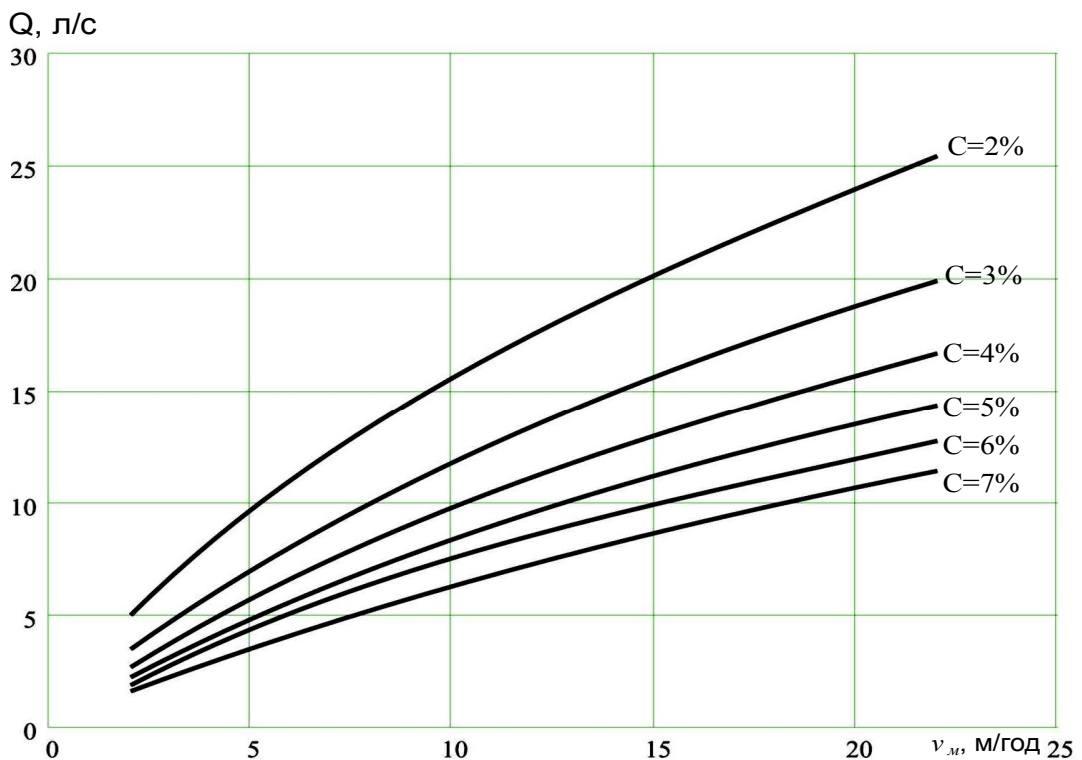


Рисунок 2 – Залежність зміни швидкості висхідного потоку бурового розчину від механічної швидкості буріння свердловини і концентрації шламу в ньому

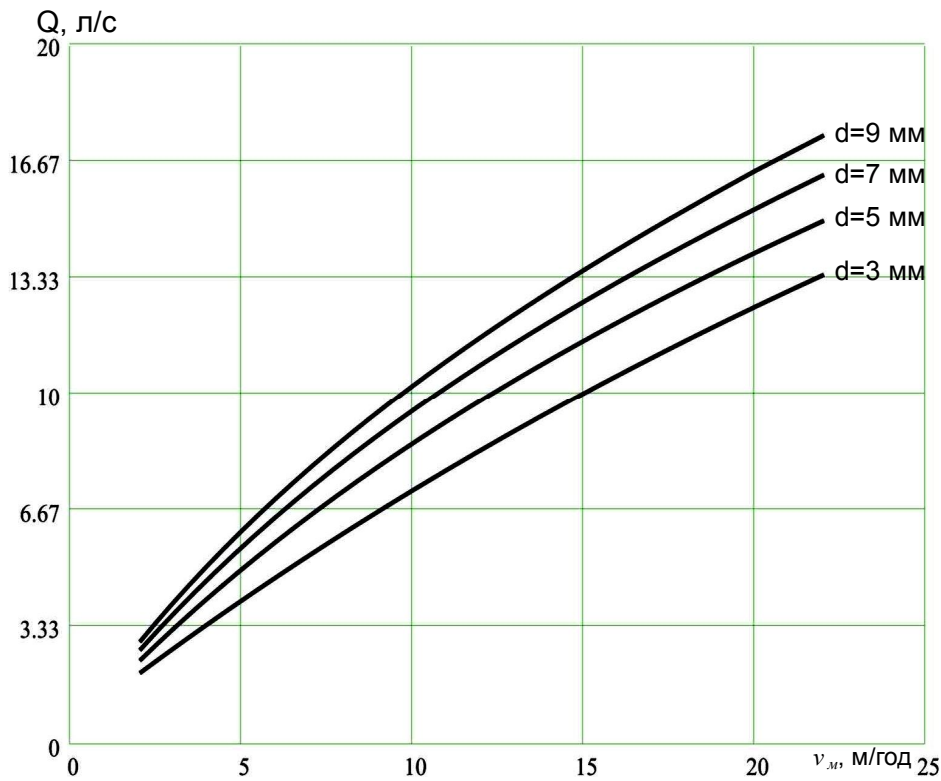


Рисунок 3 – Залежність зміни подачі насоса від механічної швидкості буріння свердловини та розміру частинок шламу при $C = 0.03$

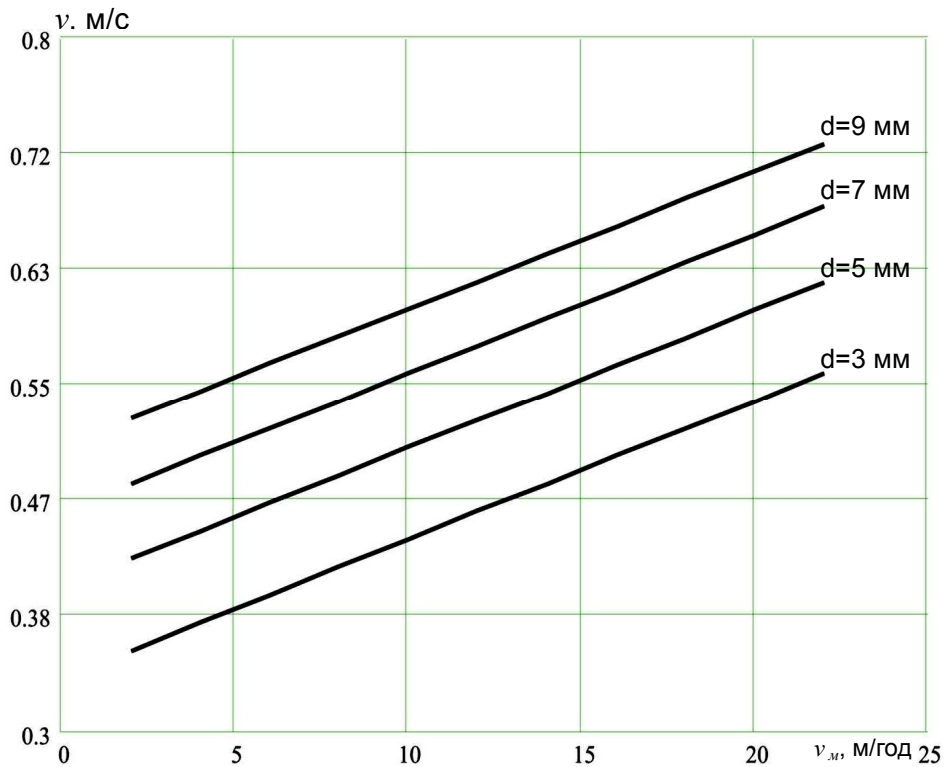


Рисунок 4 – Залежність зміни швидкості висхідного потоку бурового розчину від механічної швидкості буріння свердловини та розміру частинок шламу при $C = 0.03$

$D_0 = 215.9$ мм, $d_{BT} = 127$ мм, $\rho_{БР} = 1200$ кг/м³, $\rho_{ГП} = 3500$ кг/м³, $K = 1.1$, $v_m = (2-22)$ м/год, $C = (2-7)\%$.

Згідно із графічною залежністю (рис. 1), отримано чітку тенденцію до зростання витрат промивальної рідини при зменшенні концентрації твердої фази в кільцевому просторі і збільшенні механічної швидкості буріння свердловини. З практики ведення бурових робіт відомо, що при бурінні в різних за твердістю гірських породах, незважаючи на максимальну ефективність долота і режимно-технологічних параметрів, v_m із глибиною зменшується. Тому згідно з графічною залежністю (рис. 1), чим більша концентрація шламу, тим менша різниця між витратами бурового розчину (в межах 1 л/с) при $v_m = (1 - 3)$ м/год (характерна для твердих порід), і оптимальна подача насоса не перевищує 10 л/с.

Звичайно, розраховані величини Q приводяться за результатами розрахунку аналітичної моделі підйому бурового розчину в кільцевому просторі стовбура свердловини, ускладненого кавернозними виробками (врахування якого ведеться через коефіцієнт K). Умови ексцентричного розташування бурильної колони, наявність замків та сальників не враховуються. Це надає даному розрахунку спрощеного вигляду, але все ж дозволяє оцінити вплив механічної швидкості буріння свердловини на регулювання і вибір витрати бурового розчину при певній концентрації в ньому шламу.

З аналізу графічної залежності (рис. 2) зміни швидкості висхідного потоку бурового розчину в кільцевому просторі свердловини, випливає, що при бурінні в твердих породах з низькою проходкою величина v практично однакова для допустимих у промислових умовах значень C . При великих швидкостях буріння свердловини (15-20) м/год і низьких концентраціях шламу в кільцевому просторі величина v різко зростає, що свідчить про необхідність чіткого контролю щодо подачі насоса з метою забезпечення виносу вибурених частинок і зменшення передумов розмивання стовбура гірничої виробки.

При бурінні свердловини шарошковими долотами розмір частинок шламу постійно зменшується, що підтверджується як практичними, так і теоретичними дослідженнями, адже при великих діаметрах породоруйнівного інструменту розміри зубків шарошки є більшими. Чим об'ємніші шламові частинки, тим вища швидкість їх осідання, і при цьому необхідним є збільшення витрат промивальної рідини [4, 5].

Згідно графічних залежностей (рис. 3 і 4), при зміні діаметра частинок шламу від 3 до 9 мм відбувається монотонне збільшення подачі насоса і швидкості висхідного потоку промивальної рідини в кільцевому просторі, причому для $v_m = (1-3)$ м/год значення Q для всіх d коливається в межах 2-3 л/с. Із збільшенням механічної швидкості буріння свердловини, що є характерним для м'яких гірських порід, зростає і різниця між витратою промивальної рідини і швидкістю її підйому по затрубному прос-

торі для різних розмірів частинок. Це свідчить про необхідність вибору не тільки оптимальної подачі насоса за механічною швидкістю буріння, кількості шламових частинок на усті свердловини, а й за їх розмірами.

Таким чином, запропонована методика розрахунку оптимальної витрати промивальної рідини залежно від механічної швидкості буріння і концентрації шламу в буровому розчині дає змогу оцінити вплив основних чинників на його винос по затрубному просторі зі зменшеною подачею насосів. Це призведе до зменшення гідравлічних втрат тиску у всіх елементах циркуляційної системи (бурильних трубах, затрубному просторі, долоті, обв'язці), зниження тиску на привибійну зону свердловини та затрат енергії на виконання процесу промивання гірничої споруди. Кількісну і якісну оцінку ефективності впливу наведених чинників буде проведено в подальших дослідженнях у заданому напрямку.

Література

- 1 Об эффективности очистки скважин при бурении / Г. А. Гарунов, Н. В. Мустафаев, Г. А. Матаев, В. С. Семенякин // Изв. Вузов нефть и газ. – №9. – 2006. – С. 17. – 21.
- 2 Хакімов Л. З., Дверій В. П. Оптимальні витрати промивальної рідини для буріння свердловини діаметром 215,9 мм // Нафтова і газова промисловість. – №4. – 2003. – С. 24 – 25.
- 3 Лігоцький М. В. Оптимальні швидкості у кільцевому просторі для винесення вибуреної породи // Нафтова і газова промисловість. – №4. – 2002. – С. 24 – 25.
- 4 Бичкурин Т. Н., Юсупов И. Г. Исследование влияния различных факторов на режим течения бурового раствора по кольцевому каналу ствола скважины // Нафтяное хозяйство. – №4. – 2001. – С. 26 – 30.
- 5 Мирзаджанзаде А.Х., Ептов В. М. Гидродинамика в бурении. – М.: Недра, 1985. – 286 с.
- 6 Промивання свердловини. Відробка доліт. Довідник буріння свердловин в 5-ти томах. Т. 5 / Під ред. М. А. Мислюк, І. Й. Рибчич, Р. С. Яремійчук. – Київ: Інтерпрес, 2005. – 304 с.
- 7 Ясов В. Г., Рибчин І. Й., Малярчук Б. М. Вплив шламу вибуреної гірської породи у висхідному потоці бурового розчину на втрати тиску під час промивання свердловини // Нафтова і газова промисловість. – №1. – 2000. – С. 15 – 16.