

Білецький В.С., д.т.н., професор
Ткаченко М.В., асистент

Полтавський національний технічний університет імені Юрія Кондратюка

СУЧАСНІ НАПРЯМИ ВДОСКОНАЛЕННЯ СИСТЕМ ПРИГОТУВАННЯ ТА ОЧИЩЕННЯ БУРОВИХ РОЗЧИНІВ

Виконано огляд сучасних конструкцій устаткування для приготування й очищення бурового розчину, що сприятиме вибору найбільш прийняттого варіанта комплектуючого обладнання при оснащенні нових та існуючих циркуляційних систем бурових установок. Описано сучасний стан та можливі напрями вдосконалення циркуляційних систем. Визначено перспективні напрями: блочне виконання циркуляційної системи, вибір і оптимізація конструкції змішувача. Розглянуто такі базисні варіанти змішувачів: 1) гідравлічні змішувачі (запропоновано застосування багатоствольного сопла, що збільшує число Рейнольдса (Re) в робочій зоні); 2) високоефективні лопатеві мішалки типу «Turbotron» (запропоновано їх моделювання за допомогою програмного комплексу SolidWorks Flow Simulation і варіант модернізації); 3) статичні змішувачі (встановлено, що число Re в зоні $l = 10 d$ знаходиться в межах 10^5-10^7).

Ключові слова: циркуляційна система, буровий розчин, регенерація, гідравлічний змішувач, лопатеві мішалки типу «Turbotron», статичний змішувач.

Білецький В.С., д.т.н., професор
Ткаченко Н.В., асистент

Полтавський національний технічний університет імені Юрія Кондратюка

СОВРЕМЕННЫЕ НАПРАВЛЕНИЯ УСОВЕРШЕНСТВОВАНИЯ СИСТЕМ ПРИГОТОВЛЕНИЯ И ОЧИСТКИ БУРОВЫХ РАСТВОРОВ

Выполнен обзор современных конструкций оборудования для приготовления и очистки бурового раствора, что будет способствовать выбору наиболее приемлемого варианта комплектующего оборудования при оснащении новых и существующих циркуляционных систем буровых установок. Описаны современное состояние и возможные направления совершенствования циркуляционных систем. Определены перспективные направления: блочное исполнение циркуляционной системы, выбор и оптимизация конструкции смесителя. Рассмотрены такие базовые варианты смесителей: 1) гидравлические смесители (предложено применение многоствольного сопла, что увеличивает число Рейнольдса (Re) в рабочей зоне); 2) высокоэффективные лопастные мешалки типа «Turbotron» (предложено их моделирование с помощью программного комплекса SolidWorks Flow Simulation и вариант модернизации); 3) статические смесители (установлено, что число Re в зоне $l = 10 d$ находится в пределах 10^5-10^7).

Ключевые слова: циркуляционная система, буровой раствор, регенерація, гидравлический смеситель, лопастные мешалки типа «Turbotron», статический смеситель.

MODERN TRENDS OF IMPROVEMENT OF PREPARATION AND CLEANING MUD

Flushing the well – one of the most important processes in the drilling, which includes various technological operations: preparation of drilling mud, quality cleaning (regeneration), adjustment of process parameters, properties.

Successful, high-quality and trouble-free construction of wells is primarily determined by the perfection of the washing and applied with the equipment.

During the period 1990 – 2015 years was circulating upgrading of modern equipment, providing technical and solution of environmental problems in cleaning wells. Its quality and reliability grow, as a result of stronger tendency to purchase cheaper products Drilling Company domestic production.

The purpose of the work – a review of contemporary designs equipment for preparation and cleaning of mud, which will contribute to the selection of the most appropriate option kit at the hardware equipment of new and existing circulation drilling rigs systems. The information on the current state and possible ways to improve the circulation systems and their components for the equipment, when equipping new rigs and upgrading old ones. Perspective directions: block execution of the circulation system, the selection and optimization of the design of the mixer.

Consider these basic options mixers:

1) Hydraulic mixers. Substantial efficiency can be achieved with a significant increase in the Reynolds number of the working mixing zone, it is possible in the transition from a compact jet to dispersion. Therefore, a promising direction for further improvement of the system of preparation of drilling fluid is to develop hydro ejector mixer with multicore nozzle.

2) High-efficiency impellers type «Turbotron». Proposed their modeling using the software package SolidWorks Flow Simulation (simulation of the flow of liquids and gases) and version upgrades.

3) Static mixers. A static mixer is a precision engineered device for the continuous mixing of fluid materials. The energy needed for mixing comes from a loss in pressure as fluids flow through the static mixer. One design of static mixer is the plate-type mixer and another common device type consists of mixer elements contained in a cylindrical (tube) or squared housing. Typical construction materials for static mixer components included stainless steel, polypropylene, Teflon, PVDF, PVC, CPVC and polyacetal. The calculated data of Reynolds number Re are within 10^5 – 10^7 , correspond with foreign research and respond «fully developed turbulence», which provides high efficiency homogenization and rapid dissolution of the reagents, which determines the quality of the mud.

It can be assumed that with the information presented in this work, drilling companies will have an opportunity to choose the most acceptable variant circulation system and standard equipment to them at the snap of new rigs and upgrade existing ones.

Keywords: *circulating system, mud, regeneration, hydraulic mixer, paddle mixers such as «Turbotron», static mixer, SolidWorks Flow Simulation, Reynolds number «fully developed turbulence».*

Вступ. Промивання свердловини – це один з найбільш важливих технологічних процесів у бурінні, що включає різні технологічні операції:

- приготування бурового розчину;
- якісне очищення (регенерація);
- регулювання технологічних параметрів, властивостей [1].

Успішне, якісне та безаварійне будівництво свердловин у першу чергу визначається досконалістю процесу промивання і застосовуваного при цьому устаткування.

Аналіз техніко-економічних показників підтверджує той факт, що навіть з використанням високоефективного бурового устаткування ці показники не завжди є високими. Застосування сучасного бурового устаткування дозволяє досягти максимальних техніко-економічних показників тільки при високих технологічних властивостях бурових розчинів, що забезпечується вдосконаленням технології промивання.

Узагальнення світового досвіду сприяє оснащенню вітчизняних бурових установок високоефективним устаткуванням для приготування розчину та його багатоступеневого очищення на сучасному рівні.

Аналіз останніх джерел досліджень і публікацій. Дослідженню устаткування та процесів приготування бурових розчинів і пов'язаних з ними явищ приділяли увагу багато вітчизняних та зарубіжних інженерів і вчених. Серед них А.І. Булатов, Ю.М. Проселков, П.П. Макаренко, В.І. Міщенко, А.В. Картунов, В.М. Мільштейн, С. Баумгартен (С. Baumgarten), Д.О. Робертсон (J.O. Robertson), Т.Е. Аллен (Т.Е. Allen), П.О. Паджетт (P.O. Padgett). Результати їх досліджень опубліковані в ряді статей і узагальнювальних монографій, у яких розглянуті основні питання приготування й регенерації бурових розчинів [1 – 13].

Виділення не розв'язаних раніше частин загальної проблеми. Очищенню і приготуванню бурових розчинів приділяють особливу увагу, оскільки вибурена порода, що надходить у буровий розчин, негативно впливає на його основні технологічні властивості, а отже, і на техніко-економічні показники буріння свердловин, зокрема на вартість свердловини через швидкість проходки, гідравліку, об'єми розбавлення для підтримки густини, коефіцієнт тертя бурильного інструмента, диференціальні прихвати, втрату циркуляції, сальнікоутворення на компановці низу бурильної колони (КНБК), знос бурового устаткування й інструмента тощо. Крім того, при накопиченні шламу в буровій промивальній рідині істотно знижується її глинізуюча здатність, що приводить до зміни структури товстої пухкої кірки на стінках свердловини в зонах фільтрації (ця кірка стає більш пухкою і проникною). За рахунок підвищення густини промивальної рідини, а значить і сумарної ваги стовпа бурового розчину у свердловині значно зростає вірогідність його поглинання. Витрати на очищення та приготування бурового розчину, а також розв'язання проблем, пов'язаних з підвищеним умістом твердої фази, складають значну частину загальних витрат на буріння свердловин [2].

Усе це приводить до зниження надійності обладнання, зменшення швидкості буріння та економічних втрат.

Мета роботи – аналіз сучасних конструкцій устаткування для приготування й очищення бурового розчину, що сприятиме вибору найбільш прийняттого варіанта комплектуючого обладнання при оснащенні нових та існуючих циркуляційних систем бурових установок.

Основний матеріал і результати. Технологічне устаткування для промивання свердловини представлено рядом взаємопов'язаних систем: приготування й обробки бурового розчину, регенерації, очищення його від шламу і газу, циркуляції. Кожна система містить ряд блоків або декілька одиниць устаткування.

Блочне виконання циркуляційної системи. Сьогодні все більшого поширення набувають циркуляційні системи (ЦС), складені з ланок, що випускаються промисловістю у вигляді блоків.

Схема монтажу ЦС з готових блоків прискорює і здешевлює монтаж і сприяє розв'язанню проблеми охорони навколишнього середовища при бурінні свердловин. Блоки заводського виготовлення дозволяють повністю відмовитися від створення амбарів і жолобових систем у ґрунті.

Основна тенденція в удосконаленні блоків полягає в збільшенні об'єму резервуара до 80 м³ і більше та створенні теплоізоляції й укриттів на всіх блоках, призначених для буріння в зимових умовах [1].

На рис. 1 наведено для прикладу один з варіантів блочної циркуляційної системи, що випускається ТОВ «Компанія «Техномехсервіс». Він містить блок очищення, проміжну і приймальну ємності, блок приготування бурових розчинів. Блок очищення забезпечений дегазатором «Каскад-40», віброситом СВ1ЛМ, ситогідроциклонним сепаратором, центрифугою ОГШ-50.

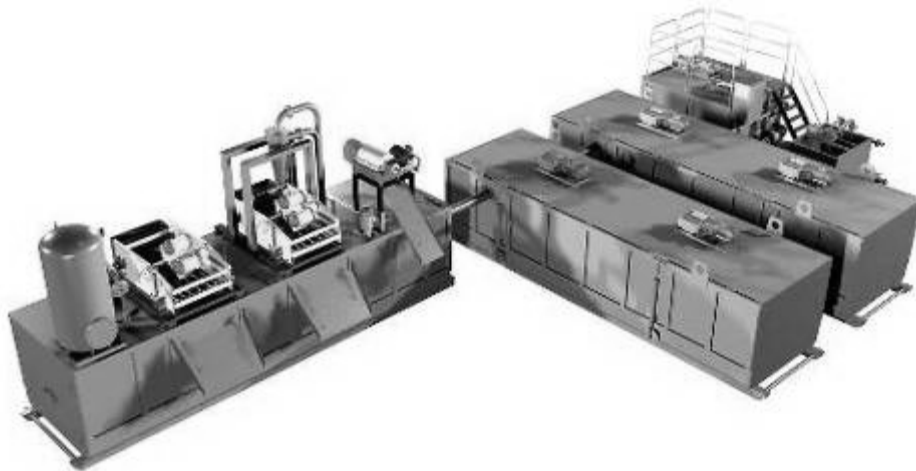


Рисунок 1 – Циркуляційна система ТОВ «Компанія «Техномехсервіс»

Удосконалення системи приготування бурового розчину підбором ефективного змішувача

Гідравлічні змішувачі. При розвідувальному бурінні нафтових і газових свердловин в умовах автономного розташування бурових велике значення має гідравлічний спосіб приготування глинистих промивальних рідин, при якому для руйнування частини твердої фази використовується тільки кінетична енергія струменя. Пристрої для гідравлічного способу приготування глинистих промивальних рідин отримали назву гідравлічних змішувачів або гідромішалок [1].

Гідравлічні змішувачі ежекторного типу (гідроворонки) використовуються для приготування промивальної рідини з глинопорошку. Це – пристрій безперервної дії. На сьогодні найбільше розповсюдження має гідравлічна мішалка ГСМ.

Якість глинистої промивальної рідини, приготованої в гідроворонках, досить низька. Незважаючи на тонке мливо, частинки глинопорошку в процесі перемішування з водою повинні пройти подальше диспергування [2].

Істотне підвищення ефективності може бути досягнуто при значному збільшенні числа Рейнольдса в робочій зоні змішування, що можливо при переході від компактного струменя до диспергованого. Тому перспективним напрямом подальшого вдосконалення системи приготування бурового розчину є, на нашу думку, розроблення гідроежекторного змішувача з диспергованим струменем (багатоствольне сопло). Зауважимо, що одним з визначальних параметрів процесу є число Вебера [6].



Рисунок 2 – Гідроциклонний змішувач

Вітчизняні підприємства освоюють виробництво гідроциклонного змішувача (рис. 2) з подвійним циклонним принципом дії, що забезпечує якісніше перемішування домішок до бурового розчину. Перевагами такого змішувача є:

- використання подвійного циклонного принципу дозволяє здійснювати швидке додавання сухих матеріалів у буровий розчин і гарантує ретельне змочування й перемішування сухого матеріалу перед подачею його в активний буровий розчин;

- природне завихрювання, що досягається при роботі змішувача, дозволяє досягти ефекту самоочищення воронки [9].

Високоєфективні лопатеві мішалки. Сьогодні запропоновано і працює в промисловості ряд конструкцій лопатевих мішалок. Вимогам високоенергетичного й водночас гомогенного поля гідродинамічних впливів на буровий розчин відповідає конструкція три-, чотири-, п'ятиімпелерної мішалки типу «Turbotron» (рис. 3, а). Оптимізація її конструкції можлива шляхом вибору оптимальних розмірів окремих імпелерів та відстаней між ними. Для цього доцільно використати моделювання за допомогою програмного комплексу SolidWorks Flow Simulation [14], що дозволить виконати порівняльний аналіз полів швидкостей рідини (і чисел Re) у робочій зоні мішалки й обрати найбільш доцільну їх конфігурацію. На рис. 3, б наведено поле швидкостей гідросуміші при перемішуванні бурового розчину в мішалці «Turbotron», одержане за допомогою програмного комплексу SolidWorks Flow Simulation. На рис. 4 показано криву зміни коллоїдної швидкості бурового розчину в робочій зоні мішалки «Turbotron».

В.С. Білецький та Ю.С. Міщук запропонували вдосконалення конструкції мішалки типу «Turbotron», зокрема додатково встановлено обертові вертикальні пластини 8, жорстко з'єднані зі стрижнями 9, які вставлені в отвори кріпильних вушок 10, що жорстко кріпляться до стінки корпусу. Фіксатори забезпечують сталий кут відхилення обертових пластин 8. У робочому режимі фіксаторами забезпечують однаковий кут відхилення діаметрально розташованих пластин [15]. Таке вдосконалення дозволяє вирівняти епюру швидкостей по робочому простору мішалки, що підвищує ефективність її використання для гомогенізації гідросумішей.

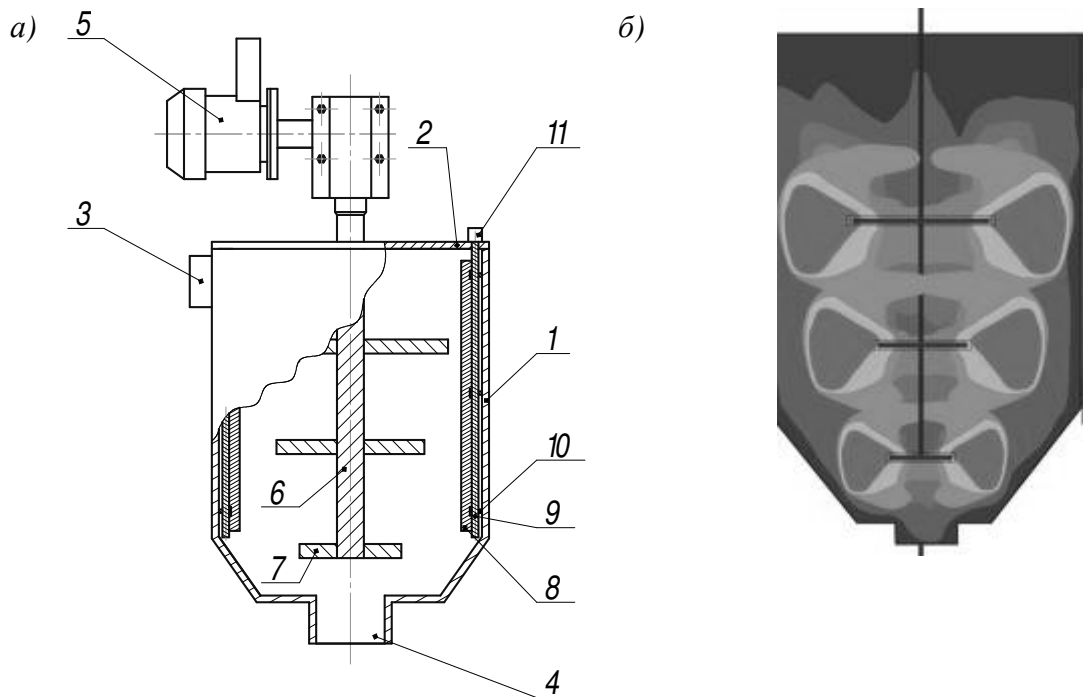


Рисунок 3 – Лопатева мішалка «Turbotron»:

- а) розріз: 1 – корпус; 2 – кришка; 3 – ввідний патрубок; 4 – вивідний патрубок; 5 – привід; 6 – вертикальний обертовий вал; 7 – лопатеві робочі органи; 8 – обертові пластини; 9 – стрижні; 10 – кріпильні вушки; 11 – фіксатори;
 б) поле швидкостей гідросуміші при перемішуванні бурового розчину в мішалці «Turbotron», одержане за допомогою програмного комплексу SolidWorks Flow Simulation

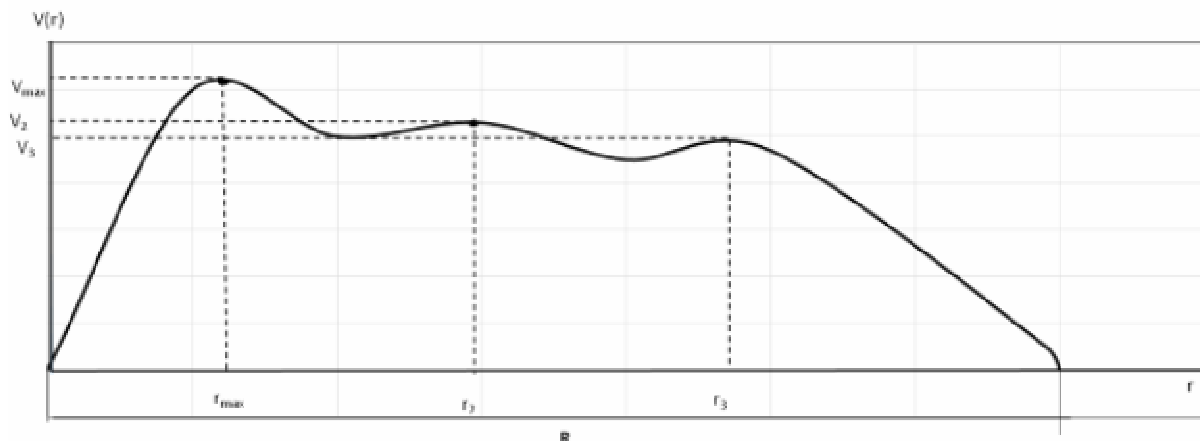


Рисунок 4 – Крива зміни колової швидкості бурового розчину в робочій зоні мішалки «Turbotron»

Статичні змішувачі. Крім того, перспективними для використання в системі приготування бурового розчину є статичні (нерухомі) змішувачі середовищ, які конструктивно являють собою вставку різної конструкції у трубі, по якій подається пульпа бурового розчину. Міксери відрізняються один від одного за конфігурацією, довжиною, діаметром і дозволяють змішувати великий спектр дво- й багатокомпонентних матеріалів різної в'язкості, густини, хімічної природи і практичного призначення [16] (рис. 5).

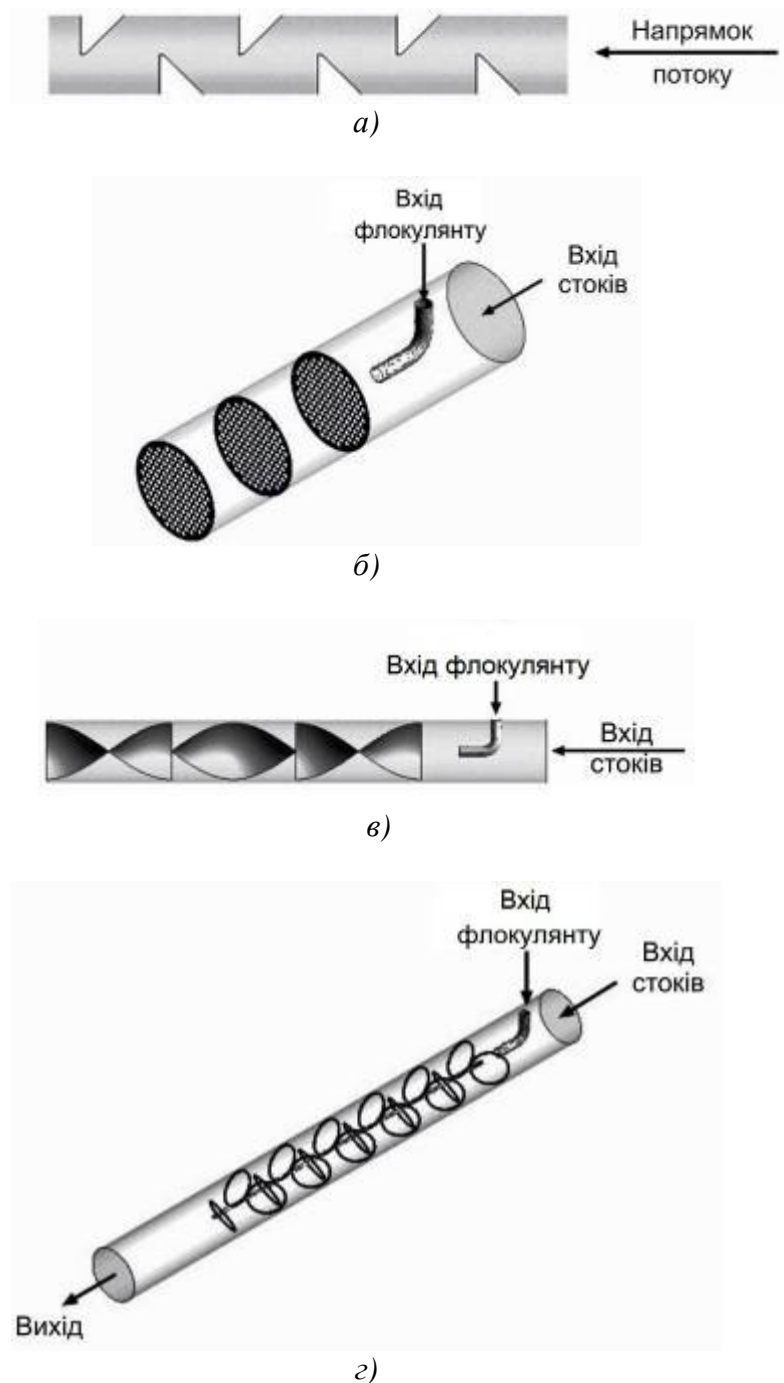


Рисунок 5 – Варіанти конструкції статичного змішувача:

- a* – йоржовий змішувач; *б* – змішувач «труба із системою розподільних ґраток»;
в – змішувач «труба з гвинтовою вставкою»;
г – змішувач «труба зі вставкою hiTRAN®»

Завдання статичного міксеру – гомогенізувати матеріал, вирівняти градієнт в'язкості, не допустити попадання в суміш повітряних включень, суттєво підвищити турбулентність потоку. Дослідження роботи та оптимізація конструкції статичних змішувачів, як і у випадку з лопатевими мішалками, можливі шляхом моделювання за допомогою програмного комплексу SolidWorks Flow Simulation.

Результати фізичного моделювання статичних змішувачів [16] показано у таб. 1. Припускалося, що втрати енергії на тертя рідини об стінки відсутні (ідеально гладенький трубопровід).

Таблиця 1 – Порівняння ефективності перемішування за допомогою статичних змішувачів

Конструкція змішувача	Робоча довжина змішувача L від внутрішнього діаметра трубопроводу	Гідродинамічний опір на ділянці L перемішування, Па	Розрахункове число Re в робочій зоні статичного міксеру	
			$\bar{V}_{сер}$	$\bar{V}_{сер}$
Йоржовий змішувач	16,5D	5633	478261,35	447727,00
Розподільна ґратка (перфорований диск)	>7,5D	54800 (L=7D)	1459362,74	1428828,38
Гвинтова вставка	8D	2078	296475,66	265941,31
Турбулізуюча вставка hiTRAN® Cal Gavin	>6,5D	3819 (L=6,5D)	396491,39	365957,04

Отримані розрахункові дані числа Re знаходяться в межах 10^5 – 10^7 , що збігається з наведеними у роботі [17] для різних конструкцій статичних змішувачів. Такий рівень турбулізації гідросуміші відповідає так званій «розвиненій турбулентності», яка забезпечує високу ефективність гомогенізації та швидке розчинення реагентів – тобто процеси, які детермінують якість бурового розчину.

Висновки:

1. За період 1990 – 2015 рр. відбулося переоснащення циркуляційних систем сучасним устаткуванням, що забезпечує розв’язання технологічних і екологічних проблем у галузі промивання свердловин. Його якість та надійність зростають, як наслідок – зміцнюється тенденція закупівлі буровими компаніями дешевших виробів вітчизняного виробництва. Крім цінових питань, для бурових компаній тим самим розв’язується і проблема запасних частин, сервісу та кваліфікації обслуговуючого персоналу.

2. Наведено інформацію щодо сучасного стану і можливих напрямів удосконалення циркуляційних систем та їх комплектуючого устаткування при оснащенні нових бурових установок і модернізації існуючих. Визначено перспективні напрями: блочне виконання циркуляційної системи, вибір і оптимізація конструкції змішувача.

3. Запропоновано базисні варіанти змішувачів і перспективи їх модернізації:

а) гідравлічні змішувачі. Істотне підвищення ефективності може бути досягнуто при значному збільшенні числа Рейнольдса в робочій зоні змішування, що можливо при переході від компактного струменя до диспергованого, який утворюється при використанні багатоствольного сопла;

б) вискоефективні лопатеві мішалки типу «Turbotron». Запропоновано їх моделювання за допомогою програмного комплексу SolidWorks Flow Simulation і варіант модернізації – додатково встановлено обертові вертикальні пластини. Таке вдосконалення дозволяє вирівняти епіюру швидкостей по робочому простору мішалки, що підвищує ефективність її використання для гомогенізації гідросумішей;

в) статичні змішувачі. Отримані розрахункові дані числа Re , які знаходяться в межах 10^5 – 10^7 , кореспондують із закордонними дослідженнями і відповідають «розвиненій турбулентності», що забезпечує високу ефективність гомогенізації та швидке розчинення реагентів, які визначають якість бурового розчину.

Можна припустити, що завдяки наведеній в цій роботі інформації, бурові компанії зможуть вибрати найбільш прийнятний варіант циркуляційної системи та комплектуючого устаткування при оснащенні нових бурових установок і модернізації існуючих.

Література

1. Булатов А. И. Тампонажные материалы и технология цементирования скважин / А. И. Булатов. – М. : Недра, 1991. – 86 с.
2. Булатов А. И. Справочник по промывке скважин / А. И. Булатов, П. П. Макаренко, Ю. М. Проселков. – М. : Недра, 1984. – 317 с.
3. Мильштейн В. М. Крепление скважин в различных условиях бурения / В. М. Мильштейн. – Краснодар: ООО «Просвещение-Юг», 2007. – 130 с.
4. Мильштейн В. М. Цементирование буровых скважин / В. М. Мильштейн. – Краснодар: ООО «Просвещение-Юг», 2003. – 375 с.
5. Мищенко В. И. Приготовление, очистка и дегазация буровых растворов / В. И. Мищенко, А. В. Кортунов. – Краснодар: АртПресс, 2008. – 336 с.
6. Мищенко С. В. Модернизация оборудования и совершенствование технологии приготовления тампонажных растворов: автореф. дис. на соискание научн. степени канд. техн. наук: спец. 05.02.13 – машины, агрегаты и процессы / С. В. Мищенко. – Краснодар, 2015. – 22 с.
7. Цегельский В. Г. Двухфазные струйные аппараты / В. Г. Цегельский. – М. : Изд-во МГТУ им. Н. Э. Баумана, 2003. – 408 с.
8. Baumgarten C. Mixture Formation in Internal Combustion Engines / C. Baumgarten. – Berlin Heidelberg : Springer-Verlag, 2006. – 294 p.
9. Robertson J. O. Surface operations in petroleum production / J. O. Robertson, G. V. Chilingarian, S. Kumar. – New York : Elsevier Science, 1989. – 562 p.
10. Mills D. Handbook of Pneumatic Conveying Engineering / D. Mills, M. G. Jones, V. K. Agarwal. – Marcel Dekker Inc., Basel, 2004. – 676 p.
11. Pneumatic conveying of solids. A theoretical and practical approach / G. E. Klinzing, F. Rizk, R. Marcus, L. S. Leung // Springer Dordrecht. – Heidelberg, London, New York, 2010. – 561 p.
12. Pump Handbook / Edited by I. J. Karassik, J. P. Messina, P. Cooper, C. C. Heald. – 3-rd Edition. – New York : McGRAW-HILL, 2001. – 1768 p.
13. Robertson J. O. Surface operations in petroleum production / J. O. Robertson, G. V. Chilingarian, S. Kumar. – New York : Elsevier Science, 1989. – 562 p.
14. Алямовский А. А. Инженерные расчеты в SolidWorks Simulation / А. А. Алямовский. – М. : ДМК Пресс, 2010. – 464 с.
15. Заявка на Патент України № u201601985 МПК(2016.01) B01F 7/04. Лопатева мішалка / В. С. Білецький, Ю. С. Міщук; заявник і патентовласник – Полтавський національний технічний університет імені Юрія Кондратюк; заявл. 29.02.2016.
16. Білецький В. С. Застосування статичних змішувачів для селективної агрегації тонкодисперсного вугілля / В. С. Білецький, Н. В. Сургова // Вісті Донецького гірничого інституту. – 2011. – № 2 (30). – С. 56 – 59.
17. Bakker A. Modeling of the Turbulent Flow in HEV Static Mixers / A. Bakker, R. LaRoche [Electronic resource]. – Access mode: <http://www.bakker.org/cfmbook/turbhev.pdf>.

References

1. Bulatov A. I. Tamponazhnye materialy i tehnologiya tsementirovaniya skvazhin / A. I. Bulatov. – M. : Nedra, 1991. – 86 s.
2. Bulatov A. I. Spravochnik po promyvke skvazhin / A. I. Bulatov, P. P. Makarenko, Yu. M. Proselkov. – M. : Nedra, 1984. – 317 s.
3. Milshteyn V. M. Kreplenie skvazhin v razlichnykh usloviyah bureniya / V. M. Milshteyn. – Krasnodar: ООО «Prosveshchenie-Yug», 2007. – 130 s.
4. Milshteyn V. M. Tsementirovanie burovyyh skvazhin / V. M. Milshteyn. – Krasnodar: ООО «Prosveshchenie-Yug», 2003. – 375 s.
5. Mishchenko V. I. Prigotovlenie, ochistka i degazatsiya burovyyh rastvorov / V. I. Mishchenko, A. V. Kortunov. – Krasnodar: ArtPress, 2008. – 336 s.

6. Mishchenko S. V. *Modernizatsiya oborudovaniya i sovershenstvovanie tehnologii prigotovleniya tamponazhnykh rastvorov: avtoref. dis. na soiskanie nauchn. stepeni kand. tehn. nauk: spets. 05.02.13 – mashiny, agregaty i protsessy* / S. V. Mishchenko. – Krasnodar, 2015. – 22 s.
7. Tsegelskiy V. G. *Dvuhfaznye struynye apparaty* / V. G. Tsegelskiy. – M. : Izd-vo MGTU im. N. E. Bauman, 2003. – 408 s.
8. Baumgarten C. *Mixture Formation in Internal Combustion Engines* / C. Baumgarten. – Berlin Heidelberg : Springer-Verlag, 2006. – 294 p.
9. Robertson J. O. *Surface operations in petroleum production* / J. O. Robertson, G. V. Chilingarian, S. Kumar. – New York : Elsevier Science, 1989. – 562 p.
10. Mills D. *Handbook of Pneumatic Conveying Engineering* / D. Mills, M. G. Jones, V. K. Agarwal. – Marcel Dekker Inc., Basel, 2004. – 676 p.
11. *Pneumatic conveying of solids. A theoretical and practical approach* / G. E. Klinzing, F. Rizk, R. Marcus, L. S. Leung // Springer Dordrecht. – Heidelberg, London, New York, 2010. – 561 p.
12. *Pump Handbook* / Edited by I. J. Karassik, J. P. Messina, P. Cooper, C. C. Heald. – 3-rd Edition. – New York : McGRAW-HILL, 2001. – 1768 p.
13. Robertson J. O. *Surface operations in petroleum production* / J. O. Robertson, G. V. Chilingarian, S. Kumar. – New York : Elsevier Science, 1989. – 562 p.
14. Alyamovskiy A. A. *Inzhenernye raschety v SolidWorks Simulation* / A. A. Alyamovskiy. – M. : DMK Press, 2010. – 464 s.
15. *Zayavka na Patent Ukrayini № u201601985 MPK(2016.01) B01F 7/04. Lopateva mishalka* / V. S. Biletskiy, Yu. S. Mishchuk; *zayavnik i patentovlasnik – Poltavskiy natsionalniy tehnicniy universitet imeni Yuriya Kondratyuk; zayavl. 29.02.2016.*
16. Biletskiy V. S. *Zastosuvannya statichnih zmishuvachiv dlya selektivnoyi agregatsiyi tonkodispersnogo vugillya* / V. S. Biletskiy, N. V. Surgova // *Visti Donetskogo girnichogo institutu.* – 2011. – № 2 (30). – S. 56 – 59.
17. Bakker A. *Modeling of the Turbulent Flow in HEV Static Mixers* / A. Bakker, R. LaRoche [Electronic resource]. – Access mode: <http://www.bakker.org/cfmbook/turbhev.pdf>.

© Білецький В.С., Ткаченко М.В.
Надійшла до редакції 11.04.2016