

7. Vladislavlev, V. S. (1958). *Razrushenie gornykh porod pri burenii skvazhin*. [The destruction of rocks during drilling]. Moskva: Gostoptekhizdat [in Russian].
8. Biletskiy, M. T., Ratov, B. T. & Baiboz, A. R. (2018) Ispolzovanie kompyuternykh polzovatelskikh programm dlia analiza teoreticheskikh modelei razrusheniia gornykh porod pri burenii skvazhin [The use of computer user programs for the analysis of theoretical models of rock destruction during drilling]. *Novosti nauki Kazakhstana – Science news of Kazakhstan* 3, 80–93 [in Russian].
9. Biletskiy, M. T., Ratov, B. T., & A. R. Baiboz (2018). Patent of the Republic of Kazakhstan 33077 (104033) [in Russian].
10. Tanatarov, T. T., Biletskiy, M. T. (1998). *Osnovy nauchnykh issledovaniy i optimizatsii v burenii* [Basics of scientific research and optimization in drilling]. Almaty, RIK, [in Russian].
11. Bashkatov, D. N. (1985). *Planirovanie eksperimenta v razvedochnom burenii* [Planning an experiment in exploration drilling]. Moskva: Nedra [in Russian]
12. Ratov, B. T., Fedorov, B. V., Baiboz, A. R., & Korgasbekov, D. R. (2019). Novoe lopastnoe doloto i eho ispytaniia v laboratornykh usloviakh [New blade chisel and its tests in laboratory conditions] *Porodorazrushaiushchii i metalloobrabatyvaiushchii instrument – tekhnika i tekhnologiia ego izgotovleniia i primeneniia – Rock Destruction and Metal-Working Tools – Techniques and Technology of the Tool Manufacture and applications*, Vol. 22, 62–69 [in Russian].
13. Ratov, B. T., Fedorov, B. V., Omirzakova, E. J., & Korgasbekov, D. R. (2019). Development and improvement of design factors for PDC cutter bits. *MIAB.Mining inf. Anal. Bull.*, 11, 73–80.
14. Biletskiy, M. T., Ratov, B. T., Muratova, S. K., & Bayboz, A. R. (2018). Ispolzovanie kompiuternykh polzovatelskikh programm dlia analiza teoreticheskikh modelei razrusheniia gornykh porod pri burenii [The use of computer user programs for the analysis of theoretical models of rock destruction during drilling]. *Novosti nauki Kazakhstana Nauchno-tekhnicheskii zhurnal – Science news of Kazakhstan Scientific and technical journal*, 3, 80–93.
15. Biletskiy, M. T., Ratov, B. T., & Baiboz, A. R. (2018). Puti sovershenstvovaniia konstruktivnykh parametrov porodorazrushaiushchego instrumenta [Ways to improve the design parameters of rock cutting tools]. Proceedings from Effective technologies for the production of non-ferrous, rare and noble metals '18: *Mezhdunarodnaia nauchno-prakticheskaiia konferentsiia (27–29 sentiabria 2018 hoda) – International scientific-practical conference* (pp. 405–409). Almaty [in Russian].

УДК 622.244:622.036

DOI: 10.33839/2708-731X-23-1-36-49

**О. М. Давиденко**, д-р техн. наук, **А. О. Ігнатов**, канд. техн. наук

Національний технічний університет «Дніпровська політехніка», пр. Дмитра Яворницького,  
19, 49027, м. Дніпро, Україна, e-mail: [davidenko.a.n@ntu.one](mailto:davidenko.a.n@ntu.one)

## **ДОСЛІДЖЕННЯ ВПЛИВУ ФІЛЬТРАТУ ПРОМИВАЛЬНИХ РІДИН НА ПРОЦЕСИ НАБРЯКАННЯ ГІРСЬКИХ ПОРІД**

Метою статті є встановлення закономірностей фізико-хімічних процесів, що протікають в стовбурі свердловини, споруджуваної в товщі осадових гірських порід, при циркуляції промивальних рідин і формування на їхній основі адекватних технологічних заходів гідравлічної програми промивання свердловини.

Методика включала формулювання завдання і складання розрахункової схеми досліджуваного об'єкту; розробка фізико-хімічної моделі, що описує характер досліджуваних процесів; вибір способу рішення поставлених завдань; рішення основних математичних рівнянь процесу з максимальним використанням обчислювального експерименту; аналіз отриманих результатів; формулювання адекватних висновків та рекомендацій.

Дослідженнями підтверджено, що з метою попередження прояву насамперед набрякань, бурові розчини в обов'язковому порядку повинні бути піддані хімічній обробці поверхнево-активними речовинами, що будуть перешкоджати проникненню фільтрату промивальних рідин в міжпакетний простір глинистих порід, крім того показано наступне: поверхнево-активні речовини істотно зменшують міру набрякання глини під дією фільтрату промивальних рідин, причому органічні поверхнево-активні речовини є більш прийнятними для застосування при обробці промивальних рідин, оскільки вони значно ефективніше знижують ступінь набрякання глини, аніж неорганічні.

Ефективними засобами попередження ускладнень при бурінні є правильний підбір промивальних агентів за складом і властивостям для кожного специфічного інтервалу та грамотне оперативне коригування режиму промивання залежно від властивостей перебудованих гірських порід.

Досліджено широке коло властивостей різних хімічних сполук, покликаних збільшити ступінь стійкості осадових порід у стінках стовбура свердловини. Застосування досліджених речовин приведе до істотного підвищення продуктивності бурових робіт; скорочення часу на роботи, пов'язані із ліквідацією ускладнень і аварій у свердловині, або повного виключення останніх; загального зростання ефективності й економічності процесу спорудження свердловин.

**Ключові слова:** свердловина, поверхнево-активна речовина, циркуляція, глина, адсорбція, гірська порода, набрякання, буровий розчин.

## Постановка проблеми

Подальший розвиток економіки України неможливий без потужної сировинної бази, для створення якої потрібне, зокрема, збільшення об'ємів і ефективності буріння свердловин [1]. Розробка корисних копалин, що залягають на великих глибинах і в складних гірничо-геологічних умовах, вимагає створення енерго- і ресурсозберігаючих технологій, що забезпечують зниження енерговитрат і підвищення продуктивності буріння свердловин.

Основним процесом у виробничому циклі буріння свердловини є руйнування гірської породи на забої [2]. Ефективність цього процесу значною мірою залежить від способу руйнування і породоруйнівного інструменту, режиму циркуляції і параметрів промивальних рідин. Нині переважне число свердловин проходить у товщі осадових порід, і передусім, величезного їх класу – глинистих породах. Спорудження свердловини у таких породах майже завжди зв'язане з цілою гамою проявів негативного характеру: набрякання і звуження стінок стовбура свердловини, осипи, обвали, місцеві розширення у стовбурі. В той же час практично відсутні комплексні методики з проектування технології провідки свердловин в осадових породах; не в достатній мірі досліджені питання фізико-хімічної взаємодії активних компонентів промивальної рідини з гірськими породами.

Досвід бурових робіт показує, що резервом скорочення витрат часу і засобів на ліквідацію ускладнень і аварій, є вдосконалення технології промивання свердловин шляхом підбору оптимальних рецептур промивальних рідин. Раціональна організація промивання свердловини дозволить підвищити механічну швидкість буріння і проходку на породоруйнівний інструмент за рахунок зменшення питомих витрат енергії на руйнування породи [3].

## Аналіз останніх досліджень і публікацій

Буріння свердловин у сучасних умовах, а саме, глибини, що можуть сягати десятків і більше кілометрів, проникнення у процесі буріння в породи з аномально високими чи то низькими тисками вимагають удосконалення технології та техніки буріння [2]. Найчастіше буровики зустрічаються з такими ускладненнями як осипання й обвали стінок свердловини та затягування і прихоплення бурильного інструменту.

Сучасні вимоги до промивальної рідини полягають у здатності її запобігти прихопленню труб, а саме, забезпечувати нерозчинність порід стовбура і зберігати міцність стінок свердловини. Рідина повинна мати хорошу змащувальну спроможність і малий вміст твердої фази. Важливим фактором, що сприяє запобіганню обвалів і осипів, є утворення на стінках стовбура свердловини захисної фільтраційної кірки.

Як показали численні спостереження [4], глинистий розчин і інші робочі середовища часто є причиною зменшення можливого дебіту і створюють ускладнення при освоєнні свердловини. Негативний вплив бурового розчину підсилюється при низькій його якості, великій водовіддачі. Відфільтрована з розчину вода, проникаючи в пори продуктивного пласта, відтискує нафту й газ, вступає у фізико-хімічну взаємодію з породами на поверхні пор і каналів пласта й ускладнює рух нафти до вибою. Фільтраційна корка, що створюється в результаті глинізації стінок свердловини, також перешкоджає плинності нафти й газу у свердловину. Свердловини входять у лад зі зменшеним дебітом, можливості віддачі покладу не використовуються. Свердловини, пробурені на пласти невеликої продуктивності і з відносно низьким тиском, іноді взагалі не вдається освоїти.

Перераховані основні вимоги до промивальної рідини визначають її важливе значення у всьому складному процесі сучасного глибокого буріння [5].

Для задоволення вимог передової технології буріння і створення нормальних умов проводки глибокої свердловини робоче середовище повинне мати оптимальні структурно-механічні властивості, тобто достатню питому вагу, невелику водовіддачу, утворювати тонку, але щільну захисну корку і разом з тим бути рухливою, малов'язкою і в той же час мати тиксотропні властивості.

### **Виділення невирішених раніше частин загальної проблеми**

Питанням розробки раціональних технологій спорудження свердловин приділяється велика увага. Проте проблема ця ще дуже далека від свого рішення, що підтверджується наявністю великої кількості робіт на цю тему і існуванням значних протиріч у висновках авторів. Тому розгляд можливих шляхів подальшого вдосконалення технології буріння, зокрема в осадових породах, представляє досить великий інтерес [2].

Передусім, слід зазначити, що на шляху вирішення вказаної проблеми стоять завдання глибокого пізнання ролі різних чинників в ефективності застосування промивальних рідин, як основного чинника забезпечення безаварійності при проходці порід осадового комплексу.

Найбільш універсальним впливом промивальних рідин на процеси при бурінні свердловин в осадових породах є ефект підтримки стінок свердловини в стійкому стані при дотриманні усіх технологічних функцій, властивих циркуляційним процесам в стовбурі свердловин, що буряться [6].

Надання тих або інших властивостей промивальним рідинам може здійснюватися комплексними методами, і зокрема застосуванням фізичних полів для попередньої обробки дисперсійного середовища з наступним застосуванням активних добавок, що належать до відомого класу поверхнево-активних речовин (ПАР) [7].

В той же час, в такій важливій справі, як підбір ефективних хімічних речовин для різних технологічних процесів, досі панує емпіричний підхід, відсутній теоретичний інструмент, яким можна було б користуватися для упевненого вибору типу і складу дисперсійних систем (яскравими представниками яких є саме бурові промивальні рідини) для тих або інших цілей.

Необхідно розвивати нові підходи більш поглибленого дослідження проблеми приготування та використання промивальних рідин, а в плані розуміння сутності деталей процесів, що протікають при взаємодії дисперсійних систем (якими є промивальні рідини) з поверхнею, що знову утворюється - з ширшим використанням сучасних методів і техніки

дослідження поверхневих взаємодій. Залишаються також досі не вивченими повною мірою причини, що викликають злипання шламу і явища сальнікоутворення.

Мета статті – встановлення закономірностей фізико-хімічних процесів, що протікають в стовбурі свердловини, споруджуваної в товщі осадових гірських порід, при циркуляції промивальних рідин і формулювання на їх основі адекватних технологічних заходів гідравлічної програми промивання свердловини, реалізація якої дозволить надати процесу спорудження свердловин достатньо високу міру продуктивності і економічності.

### Обґрунтування вживання і опис вибраної автором методики

Дослідження проводилися із застосуванням широко випробуваної для вирішення наукових завдань послідовності операцій: формулювання завдання і складання розрахункової схеми досліджуваного об'єкту; розробка фізико-хімічної моделі, що описує характер протікаючих процесів; вибір способу рішення поставлених завдань; рішення основних математичних залежностей процесу з максимальним використанням обчислювального експерименту; аналіз отриманих результатів; формулювання адекватних висновків та рекомендацій.

Вплив промивних рідин на процеси при бурінні свердловин обумовлений, в основному, адсорбцією, що може носити фізичний або хімічний характер. Для вивчення явищ, які протікають на границі розподілу «гірська порода – промивна рідина», було застосовано метод ГЧ-спектроскопії, в основі якого лежить принцип залежності утворення хімічних сполук від зв'язку між адсорбційним поведінням і електронною будовою адсорбенту й адсорбату.

### Виклад основного матеріалу дослідження

Поряд із процесом поглиблення забою збереження стійкості стінок є важливою частиною циклу спорудження свердловин [8]. Під дією гірського тиску, бурового розчину і в результаті обмінних процесів, що відбуваються на поверхні стінок, хімічної і термодинамічної взаємодій стовбур свердловини може піддаватися різним безповоротним деформаціям: каверноутворенню, обвалам і осипам, тріщиноутворенню, звуженню і так далі. При цьому багато що залежить від властивостей гірських порід і бурового розчину [3].

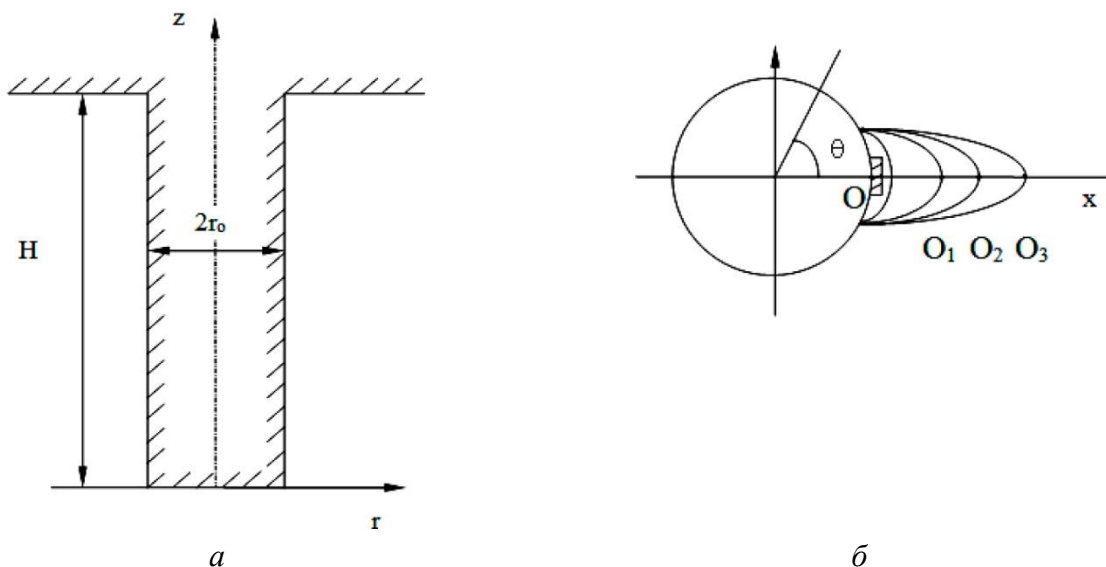


Рис. 1. Розрахункова схема для визначення параметрів стійкості стінок свердловини: а – контури свердловини в масиві порід; б – розвиток локальної зони руйнування стінки свердловини

Для пояснення локальної нестійкості стінок запропоновано розглядати вертикальну свердловину, не захищену обсадною колоною поблизу забою на відстані більше ста діаметрів [9]. При цьому фільтрація промивальної рідини в гірські породи не враховується. Свердловину представляють як циліндричну порожнину в земній корі з координатами  $r < r_0$ ;  $0 < z < H$  (рис. 1), забій свердловини (торець циліндра при  $z = 0$ ) руйнується під дією породоруйнівного інструменту.

Процес втрати стійкості стінок свердловини під впливом гірського тиску можна описати за допомогою наступних рівнянь, які є достатньо адекватною його математичною моделлю. Позначивши через  $q$  вертикальний гірський тиск, а через  $\eta q$  – бічний гірський тиск (коефіцієнт бічного розпору  $\eta$  залежно від геотектонічних умов може бути як менше, так і більше одиниці) простір далеко від свердловини можна описати виразом

$$\sigma_z = -q; \sigma_r = \sigma_\theta = -\eta q \quad (1)$$

де  $q = \rho g H$ ;  $g$  – прискорення сили тяжіння;  $\rho$  – середня щільність вищерозміщених гірських порід;  $H$  – відстань даної точки від поверхні Землі.

Початковий круговий контур свердловини (рис. 1), створений породоруйнівним інструментом, в точці  $O$  буде знаходитися під дією тривісного стискування напругою, значення якої можна вирахувати за наступними виразами

$$\sigma_z = -q; \sigma_r = -p; \sigma_\theta = p - 2\eta q \quad (2)$$

де  $p$  – гідростатичний тиск рідини у свердловині, який дорівнює  $p = \rho g H$ .

Величина окружної напруги  $\sigma_\theta$  може бути отримана з рішення задачі теорії пружності для кругового отвору. Можливі два випадки, при яких характер локальних руйнувань в точці  $O$  буде різним і по різному протікатиме процес каверноутворення [10]:

$$|\sigma_\theta| > |\sigma_z| > |\sigma_r|, \text{ коли } (2\eta - 1)q > p, \quad (3)$$

або

$$|\sigma_z| > |\sigma_\theta| > |\sigma_r|, \text{ коли } (2\eta - 1)q < p. \quad (4)$$

Критерій локального руйнування може бути представлений у вигляді поверхні  $f(\sigma_z, \sigma_r, \sigma_\theta) = 0$ , що охоплює початок координат в просторі  $\sigma_z, \sigma_r, \sigma_\theta$ . В області стискуючої напруги  $\sigma_z < 0, \sigma_r < 0, \sigma_\theta < 0$  при  $|\sigma_z| > |\sigma_r|, |\sigma_\theta| > |\sigma_r|$  ця поверхня може бути описана так [11]

$$\sigma_\theta = -\sigma_c + \delta(\sigma_z + \sigma_r), \text{ за умови } |\sigma_\theta| > |\sigma_z| > |\sigma_r|, \quad (5)$$

або

$$\sigma_z = -\sigma_c + \delta(\sigma_\theta + \sigma_r), \text{ за умови } |\sigma_z| > |\sigma_\theta| > |\sigma_r|, \quad (6)$$

де  $\delta$  і  $\sigma_c$  – емпіричні константи, підібрані так, щоби краще описати експериментальні дані в досліджуваному діапазоні напруги.

Підставляючи (2) в (5) та (6), знайдемо наступну умову локального руйнування в точці  $O$

$$(2\eta - 1)q = \sigma_c + p(1 + \delta), \text{ за умови } 2\eta q > q > p, \quad (7)$$

або

$$q(1-2\delta\eta)=\sigma_c, \text{ за умови } (2\eta-1)q \langle p \rangle \eta q. \quad (8)$$

При  $(2\eta-1)q \langle p \rangle$  зрушення в точці  $O$  стінки свердловини у момент локального руйнування відбуватиметься уздовж площини паралельної осі  $z$ , а при  $(2\eta-1)q \langle p \rangle$  - уздовж площини, похилої до осі  $z$  під деяким кутом і паралельно дотичної до кола контуру свердловини в точці  $O$ .

Для розробки надійних і доступних методів підтримки стійкості стовбура свердловини необхідно враховувати фізико-хімічні процеси, що протікають при взаємодії промивальної рідини з породами, які складають стінки свердловини. До осипів і обвалів схильні в основному глинисті і глиновмісні породи, здатні до набрякання і мимовільного диспергування при контакті з водою або фільтратами промивальних рідин [3]. Показники набрякання цих порід змінюються в широких межах залежно від мінералогічного складу, величини і складу обмінного комплексу, умов утворення, міри дисперсності, а також від хімічного складу середовища, температури, гідравлічного тиску і зволоженості гірських порід та ін.

Мінеральний склад глинистих порід досить складний. Здебільшого вони вивінені вторинними мінералами: гідролюдами, монтморилонітом, каолінітом, до яких домішується опал, сидерит, кальцит, доломіт, гіпс, фосфорит, оксиди і гідроксиди Fe, Mn, Al, органічні речовини тощо.

Глина – це щільна, але незцементована багатомінеральна гірська порода. За мінералогічним складом виділяють каолінові, монтморилонітові (бентонітові), гідролюди, глауконітові глини; розрізняють також жирні і пісні глини. У складі жирних глин міститься багато колоїдних частинок каолініту та монтморилоніту, тоді як пісні – збагачені дрібними (<0,01мм) зернами кварцу.

Аналіз виробничого досвіду свідчить про те, що попередити порушення глинистих порід в навколостовбурному просторі можна тільки з урахуванням цих численних чинників як окремо, так і при їх взаємодії.

Для буріння свердловин в нестійких аргілітах широко застосовують хлоркальцієві промивальні рідини, здатність підвищувати стійкість порід яких заснована: на заміщенні в обмінному комплексі глин одновалентних катіонів полівалентними, на хемосорбції полівалентних катіонів і коагулюючій дії.

При наявності в розрізі свердловини глинистих порід насамперед їх здатність набрякання визначає визначає ступінь складності процесу спорудження стовбура свердловини [2]. Глини, що містять монтморилоніт, називають бентонітовими. При набряканні вони можуть збільшуватися в об'ємі до 14 разів. Існуюча практика буріння доводить, що застосування саме глинистих бурових розчинів дозволяє в більшості випадків попередити можливі ускладнення в стовбурі свердловини, пов'язані із проявом різноманітних фізико-хімічних властивостей осадових порід і в даному випадку глин [12]. Разом із тим, ефективність застосування глинистих розчинів може бути максимальною лише за умов піддавання глинистих бурових розчинів спеціальній обробці, яка передбачає фізичну та хімічну обробку дисперсійного середовища [2].

Особливістю бентонітових глин є здатність утримувати між пакетами велику кількість води. Вони мають високий ступінь дисперсності і звідси – дуже велику сумарну поверхню. У глинистих частках окремі іони силіцію можуть заміщатися іонами алюмінію, а іони алюмінію – іонами Fe і Mg.

При готуванні глинистого розчину здійснюють додаткове диспергування глин. Ступінь дисперсності глинистих часток залежить від інтенсивності дрібнювання, фізико-хімічного і мінералогічного складу глини.

Проведені аналітичні дослідження довели наступне: при контакті з водою або водними розчинами осадові породи типу глин, на відміну від інших гірських порід, мимоволі

переходять з твердого стану в пастоподібний. В результаті некомпенсованих молекулярних сил на поверхні глинистих мінералів утворюються сольватні (гідратні) шари і відбувається приріст об'єму часток. Цей процес (набрякання) супроводжується розвитком тиску набрякання або розклинюючим тиском і виділенням тепла набрякання [12].

Основну роль в міжпакетному набряканні і в утворенні сольватних (гідратних) шарів на зовнішніх поверхнях глинистих мінералів грають адсорбційні сили [13]. Кількість рідини, що зв'язується глиною і збільшення об'єму її часток можна охарактеризувати коефіцієнтом набрякання  $K$ , який дорівнює відношенню об'єму рідини набрякання  $V_p$  до об'єму сухих часток глини  $V_o$

$$K = \frac{\rho \cdot a}{m} + tg(\beta - 1), \quad (9)$$

де  $\rho$  – щільність сухої глини;  $m$  – маса навішуваної проби;  $\beta$  – коефіцієнт, що показує, яка доля від об'єму порового простору зберігається в набряклій пробі;  $a$  – коефіцієнт, залежний від властивостей глини і величини  $\beta$ .

При дослідженнях впливу промивальних рідин на набрякання глинистих порід, що були проведені на кафедрі нафтогазової інженерії та буріння НТУ ДП, для характеристики цього процесу використовували міру набрякання  $K$ , рівну відношенню суми об'ємів  $V_p + V_o K$ , яка показує, в скільки разів збільшився об'єм сухих часток. Оскільки набрякання глин досліджували в промивальних рідинах, що містять різні речовини, то за еталонну рідину приймали дистильовану воду. Вивчення процесу набрякання проводили на найбільш активній осадовій глинистій породі – монтморилоніті, з інтерпретацією отриманих результатів для інших глинистих порід. У табл. 1 - 3 приведені результати зазначених лабораторних досліджень.

Таблиця 1. Вплив органічних речовин на набрякання монтморилоніту

| Промивальна рідина |                   | Час взаємодії, хв. | Міра набрякання, % |
|--------------------|-------------------|--------------------|--------------------|
| Основа             | Добавка           |                    |                    |
| Дистильована вода  | -                 | 100                | 100                |
|                    | Анілін            |                    | 100                |
|                    | Резорцин          |                    | 100                |
|                    | Піридин           |                    | 100                |
|                    | Бензойна кислота  |                    | 100                |
|                    | Бензальдегід      |                    | 100                |
|                    | Нітрометан        |                    | 100                |
|                    | Пікринова кислота |                    | -14                |

Дані табл. 1 свідчать про відсутність впливу органічних речовин (за виключенням пікринової кислоти) на процес мінімізації негативної дії фільтрату промивальних рідин на набрякання монтморилоніту. Наведені в таблиці органічні сполуки є компонентами речовин, що використовуються при обробці промивальних рідин для надання їм змашуючого ефекту, наближення властивостей близьких до таких для пластових рідин (так звані розчини на нафтовій основі). Таким чином, з метою попередження прояву насамперед набрякань, бурові розчини в обов'язковому порядку повинні бути піддані хімічній обробці поверхнево-активними речовинами, що будуть перешкоджати проникненню фільтрату промивальних рідин в міжпакетний простір глинистих порід.

**Таблиця 2. Вплив органічних поверхнево-активних речовин на набрякання монтморилоніту**

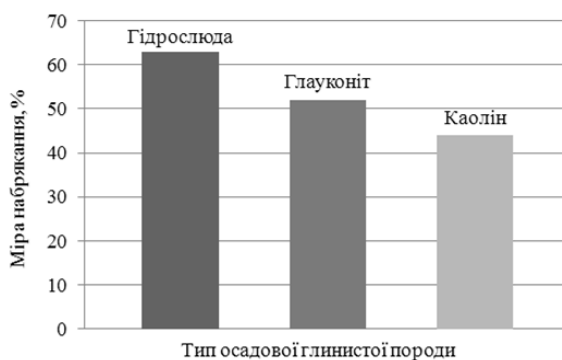
| Промивальна рідина |         |           | Час взаємодії, хв. | Міра набрякання, % |      |
|--------------------|---------|-----------|--------------------|--------------------|------|
| Основа             | Добавка |           |                    |                    |      |
|                    |         | назва     | вміст, %           |                    |      |
| Дистильована вода  |         | –         | 100                | 100                |      |
|                    |         | Сульфонол |                    | 0,15               | 23   |
|                    |         | Катапін-А |                    | 0,25               | 32,5 |
|                    |         | Феноксол  |                    | 0,5                | 22   |

**Таблиця 3. Вплив неорганічних поверхнево-активних речовин на набрякання монтморилоніту**

| Промивальна рідина |         |                 | Час взаємодії, хв. | Міра набрякання, % |    |
|--------------------|---------|-----------------|--------------------|--------------------|----|
| Основа             | Добавка |                 |                    |                    |    |
|                    |         | назва           | вміст, %           |                    |    |
| Дистильована вода  |         | –               | 100                | 100                |    |
|                    |         | Силікат натрію  |                    | 5                  | 50 |
|                    |         | Біхромат натрію |                    | 0,1                | 28 |
|                    |         | Сульфат кальцію |                    | 0,2                | 30 |
|                    |         | Алюмінат натрію |                    | 0,5                | 52 |

Аналіз даних, наведених в табл. 2 і 3, показує наступне: поверхнево-активні речовини (ПАР) істотно зменшують міру набрякання глини під дією фільтрату промивальних рідин; якісно органічні поверхнево-активні речовини є більш прийнятними для застосування при обробці промивальних рідин, оскільки вони значно ефективніше знижують ступінь набрякання досліджуваної глини, аніж неорганічні. Наведені значення концентрації ПАР в промивальних рідинах є граничними, їх перевищення не призведе до якісних змін у процесах взаємодії промивальних рідин із осадовими глинистими породами.

На рис. 2 і 3 наведено якісні залежності, що дають уявлення про ступінь впливу ПАР органічної та неорганічної природи на ступінь набрякання основних типів глинистих порід. Для порівняльних досліджень використовувались найбільш ефективні ПАР, що було визначено при дослідженні міри набрякання монтморилоніту, а саме – феноксол та біхромат натрію.



*Рис. 2. Залежність міри набрякання основних типів глинистих порід для умов застосування в якості ПАР органічної речовини феноксолу*



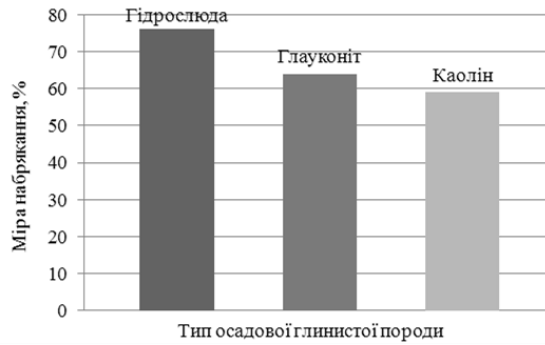


Рис. 3. Залежність міри набрякання основних типів глинистих порід для умов застосування в якості ПАР неорганічної речовини біхромату натрію

Наведені залежності (рис. 2, 3) свідчать про збереження якісних закономірностей, встановлених для монтморилонітових глин, стосовно ступеню їх набрякання під дією фільтрату промивальних рідин та крім того, додатково підтверджують значно вищу ефективність саме органічних ПАР у порівнянні із неорганічними.

Різні форми нестійкості стовбура свердловини, типи взаємодії, що виникають між промивальними рідинами і глинистими породами, обов'язково пов'язані з явищами гідратації. Можливі два механізми адсорбції води на глинистих частках: поверхнева гідратація і осмотичне набрякання [12].

Як об'єкти досліджень був використаний набір глин, що вже досліджувався раніше - монтморилоніт, гідрослюда, глауконіт та каолін. Встановлено, що глинисті мінерали

відрізняються один від одного способом їх зчленування в пакети, природою і енергією зв'язку між останніми, характером заселення тетраедра і октаедричної сітки і цілим рядом інших особливостей. Усе це обумовлює різноманітність колоїдно-хімічних властивостей окремих представників. Для визначення адсорбційних характеристик глинистих мінералів використовували ізотерми адсорбції води.

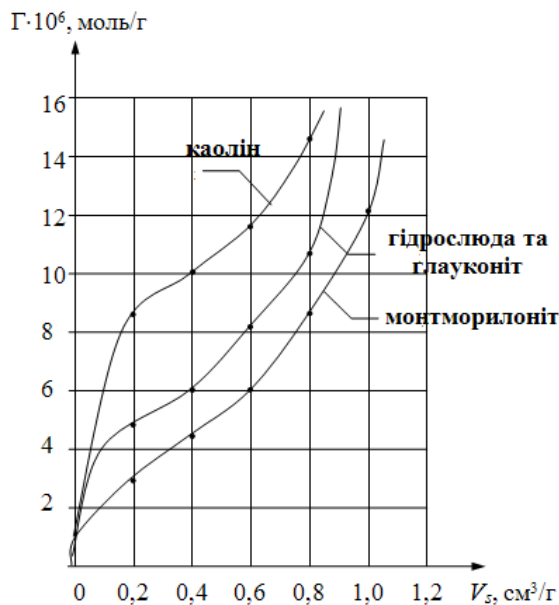


Рис. 4. Ізотерма залежності адсорбційної активності основних типів глинистих порід для умов адсорбування на їхній поверхні води

поверхні глини утримується слабо. У гідрослюда та глауконіта адсорбція води супроводжується кристалічним і осмотичним набряканням. Для каолінових глин відмічено тільки кристалічне набрякання.

Чинником, що визначає результати міжфазної взаємодії системи «глиниста порода – вода», є міра гідратації твердої фази. При введенні в глинистий розчин хімічних речовин-

реагентів (поверхнево-активних речовин, електролітів, захисних колоїдів), які, взаємодіючи з поверхнею дисперсної фази, змінюють будову оболонок гідратів, можна в широких межах регулювати механічні властивості і силу зчеплення глинистих часток між собою.

Таким чином, основний принцип управління властивостями глинистих розчинів зводиться до зміни товщини оболонок гідратів між частками дисперсної фази і до зміни кількості останніх в одиниці об'єму [13].

Критерієм керування міри гідратації глинистих порід було прийнято адсорбційний об'єм  $V_s$  глинистих порід, який є опосередкованою характеристикою міри ступеня набрякання глинистих порід. В табл. 4 наведено дані щодо визначення впливу основних технологічних характеристик бурового розчину, оперативно контрольованих навіть в польових умовах, на його фізико-хімічну активність відносно глинистих порід стінок споруджуваної свердловини [14]. Дисперсною фазою бурового розчину було прийнято бентонітову глину.

**Таблиця 4. Адсорбційний об'єм  $V_s$  глинистих порід за умов взаємодії із буровим розчином на основі бентоніту**

| Густина, кг/м <sup>3</sup> | Умовна в'язкість, с | СНС <sub>1</sub> /СНС <sub>10</sub> , Па | Водовіддача, см <sup>3</sup> за 30 хв. | Адсорбційний об'єм $V_s$ , см <sup>3</sup> /г |
|----------------------------|---------------------|--|--|---|
| 1020                       | 15                  | -  | 18,5                                   | 0,85  |
| 1030                       | 16                  | -  | 17,0                                   | 0,73  |
| 1040                       | 18                  | 0,4/0,61                                 | 16,5                                   | 0,52  |
| 1050                       | 19                  | 8,1/29,2                                 | 15,0                                   | 0,31  |

З даних табл. 4 випливає цілком закономірний висновок: зі зростанням густини бурового розчину, та в нашому випадку вмісту твердої фази, адсорбційний об'єм глинистих порід в пристовбурному просторі неухильно знижується; пояснити це можна тим, що вільна вода, присутня в буровому розчині, активніше взаємодіє з твердою фазою самого бурового розчину. Саме цей висновок є підтверджуючою підставою необхідності застосування лише бентонітових глин при спорудженні свердловин в складних умовах наявності глинистих порід в стінках стовбура свердловини.

Відомо наступне: зі зростанням глибини свердловини підвищується температура гірських порід, що, відповідно, викликає зростання температури циркулюючого бурового розчину [2, 4], саме тому наступним етапом досліджень було встановлення спрямованості впливу зростання температури бурового розчину на досліджуваний показник - адсорбційний об'єм  $V_s$  глинистих порід; результати зазначених досліджень наведено в табл. 5.

**Таблиця 5. Адсорбційний об'єм  $V_s$  глинистих порід за умов взаємодії із буровим розчином змінної температури, приготованого на основі бентоніту**

| Температура досліджуваного бурового розчину, °С | 25   | 30   | 35   | 40   | 45   | 50   |
|---|------|------|------|------|------|------|
| Адсорбційний об'єм $V_s$ , см <sup>3</sup> /г   | 0,82 | 1,33 | 1,87 | 2,23 | 2,62 | 2,92 |

Дані табл. 5 переконливо свідчать про наявність цілком певного зв'язку між змінням температури бурового розчину, а з огляду на умови експерименту і зростання температури самих гірських порід, збільшується гідратаційна активність глинистих порід, та як наслідок – міра їх набрякання. Ця обставина вказує на необхідність додаткового регулювання

технологічних показників бурового розчину, з огляду на потребу надання йому властивостей термічної стійкості.

При спорудженні свердловин в товщах осадових порід в більшості випадків доводиться стикатися з необхідністю проходження потужних товщ сольових відкладень, що закономірно викликає підвищення ступеня мінералізації бурового розчину, тому було поставлено ряд досліджень, спрямованих на необхідність з'ясування впливу наявності мінеральних солей в буровому розчині на показник адсорбційного об'єму  $V_s$  глинистих порід. Результати зазначених досліджень представлено в табл. 6.

Таблиця 6. Адсорбційний об'єм  $V_s$  глинистих порід за умов взаємодії із буровим розчином змінного ступеню мінералізації, приготованого на основі бентоніту

| Концентрація мінеральної речовини, г/л | В'язкість, с | СНС <sub>1</sub> /СНС <sub>10</sub> , Па | Водовіддача, см <sup>3</sup> за 30 хв. | Адсорбційний об'єм $V_s$ , см <sup>3</sup> /г |
|--|--------------|--|--|---|
| 0                                      | 17           | 4,06/13,5                                | 17,0                                   | 0,88  |
| 1,5                                    | 19           | 14,6/23,6                                | 18,5                                   | 1,4   |
| 3,5                                    | 20           | 21,6/28,0                                | 19,0                                   | 1,93  |

Таким чином, із збільшенням ступеню мінералізації бурового розчину відбувається стрімке зростання досліджуваного показника – адсорбційного об'єму  $V_s$  глинистих порід (див. дані табл. 6), що говорить про необхідність введення до складу бурового розчину, при переборюванні товщ порід із вмістом мінеральних речовин типу солей, того або іншого хімічного складу, реагентів, які покликані унеможливити ефект збільшення ступеню набрякання осадових глинистих порід.

Підводячи висновок, необхідно зазначити наступне: існує цілком однозначний вплив геолого-технологічних умов на результати взаємодії бурового розчину із переборюваними осадовими породами, що в обов'язковому порядку повинно враховуватися при розробленні гідравлічної програми промивання свердловини.

### Висновки

1. Надано загальну характеристику осадовим породам типу глин з огляду на їх фізико-хімічну взаємодію із промивальними буровими рідинами.

2. Розглянуто вихідні положення механіки процесу порушення цілісності стовбура свердловини, що споруджується в осадових породах, та в розвиток цього питання сформульовано вимоги до промивальних рідин, які використовуються для буріння в осадових породах.

3. Переконаливо доведено, що ефективність застосування глинистих розчинів при переборюванні товщ осадових порід може бути максимальною лише за умов піддавання глинистих бурових розчинів спеціальній обробці, яка передбачає фізичну та хімічну обробки дисперсійного середовища.

4. В результаті лабораторних досліджень адсорбційних властивостей визначено граничні адсорбційні об'єми глинистих порід, які можуть слугувати мірою ступеня набрякання глинистих порід.

5. Показано, що зі зростанням густини бурового розчину (вмісту твердої фази), адсорбційним об'єм глинистих порід в пристовбурному просторі неухильно знижується.

6. Експериментально-теоретичні дослідження властивостей бурових промивальних рідин мають продовжуватися у напрямках пошуку ефективних запобіжних заходів із попередження прояву, насамперед, набрякань глинистих порід.

**O. M. Davydenko, A. O. Ihnatov**

*National Technical University «Dnipro Polytechnic»*

### **RESEARCH INTO INFLUENCE OF FILTRATE MUD LIQUIDS ON ROCKS SWELLING PROCESSES**

*Purpose. Establishment of objective laws of physical and chemical processes which occur in the barrel of bore hole built in the bed of sedimentary rocks. Study of influence of circulation of mud liquids on this process. Formulation of adequate technological measures of the hydraulic program of washing bore hole on its basis.*

*Methods. Problem definition and working out of calculation scheme of the studied object; development of physical and chemical model which describes occurring processes; choice of decision method of the put tasks; decision of basic mathematical dependences of process with the maximal use of calculable experiment; analysis of the obtained results; formulation of adequate conclusions and recommendations.*

*Findings. With the purpose of swellings prevention, drilling solutions must be subjected to chemical treatment surfactant. Surfactant will hinder penetration of filtrate mud liquids in interpackage space of clay rock. Surfactant substantially diminish the clays swelling due to filtrate mud liquids. Organic surfactant are more acceptable to usage while treating the mud liquids, as they considerably more effective reduce the degree of clays swelling compared to the inorganic ones.*

*Originality. The correct selection of mud agents by composition and properties for every specific interval is the effective method of preventing complications while drilling. Competent operative adjustment of the mode of washing depending on properties of destruction rocks is necessary as well.*

*Practical implications. The wide circle of properties of different compounds, meant to increase the degree of stability of sedimentary rocks in the walls of barrel bore hole is studied. Usage of studied substances will result in the substantial increase of the productivity of drilling work; in the reduction of work time while liquidating complications and failures in a bore hole, or in complete elimination of such work; in the general growth of efficiency and profitability of process of building bore holes.*

**Key words:** bore hole, surfactant, circulation, clay, adsorption, rock, swelling, drilling mud.

**А. Н. Давиденко, А. О. Игнатов**

*Национальный технический университет «Днепровская политехника»*

### **ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ ФИЛЬТРАТА ПРОМЫВОЧНОЙ ЖИДКОСТИ НА ПРОЦЕССЫ НАБУХАНИЯ ГОРНЫХ ПОРОД**

*Цель исследований заключалась в установлении закономерностей физико-химических процессов, которые протекают в стволе скважины, сооружаемой в толще осадочных горных пород, при циркуляции промывочных жидкостей и формулировка на их основе адекватных технологических мероприятий гидравлической программы промывки скважины.*

*Методика включала Формулировку задачи и составление расчетной схемы исследуемого объекта; разработку физико-химической модели, которая описывает характер протекающих процессов; выбор способа решения поставленных задач; решение основных математических зависимостей процесса с максимальным использованием вычислительного эксперимента; анализ полученных результатов; формулировка адекватных выводов и рекомендаций.*

*Исследованиями подтверждено, что с целью предупреждения проявления в первую очередь набуханий, буровые растворы в обязательном порядке должны быть подвержены химической обработке поверхностно-активными веществами, которые будут препятствовать проникновению фильтрата промывочных жидкостей в межпакетное пространство глинистых пород, кроме того показано следующее: поверхностно-активные вещества существенно уменьшают меру набухания глин под действием фильтрата промывочных жидкостей, причем органические поверхностно-активные вещества являются приемлемее для применения при обработке промывочных жидкостей, поскольку они значительно эффективнее снижают степень набухания глин в сравнении с неорганическими.*

*Научная новизна.* Эффективными средствами предупреждения осложнений при бурении являются правильный подбор промывочных агентов по составу и свойствам для каждого специфического интервала, а также грамотная оперативная корректировка режима промывки в зависимости от свойств перебуриваемых горных пород.

*Практическая значимость.* Исследован широкий круг свойств различных химических соединений, призванных увеличить степень устойчивости осадочных пород в стенках ствола скважины. Применение исследованных веществ приведет к существенному повышению производительности буровых работ; сокращению времени на работы, связанные с ликвидацией осложнений и аварий в скважине, или полному исключению последних; общему росту эффективности и экономичности процесса сооружения скважин.

**Ключевые слова:** скважина, поверхностно-активное вещество, циркуляция, глина, адсорбция, горная порода, набухание, буровой раствор.

### Література

1. Яремійчук Р. С., Возний В. Р. Основи гірничого виробництва. – К.: Українська книга, 2001. – 360 с.
2. Войтенко В., Вітрик В. Технологія і техніка буріння. – К.: Центр Європи, 2012. – 708 с.
3. Коцкулич Я. С., Тищенко О. В. Закінчування свердловин. – К.: Інтерпрес ЛТД, 2004. – 366 с.
4. Вадецкий Ю. В. Бурение нефтяных и газовых скважин. – М.: Академия, 2011. – 352 с.
5. Бойко В. С. Розробка та експлуатація нафтових родовищ. – К.: Реал-Принт, 2004. – 695 с.
6. Давиденко А. Н., Игнатов А. А., Полищук П. П. Транспортировка продуктов разрушения при бурении скважин. – Д.: Держ. вищ. навч. закл. «Нац. гірн. ун-т», 2016. – 116 с.
7. Ковальчук Є. П., Решетняк О. В. Фізична хімія. – Львів: Видавничий центр ЛНУ імені Івана Франка, 2007. – 800 с.
8. Давиденко А. Н., Ратов Б. Т., Пащенко А. А. Влияние гидростатического давления на ударное абразивно-механическое бурение скважин. – Алматы: Каспийский общественный университет, 2018. – 171 с.
9. Черепанов Г. П. Механика разрушения горных пород в процессе бурения. – М.: Недра, 1987. – 308 с.
10. Ставичний Є. М., Ігнатов А. О. Особливості кріплення стовбура свердловини у хемогенних відкладах // Породоразрушающий и металлообрабатывающий инструмент–техника и технология его изготовления и применения: Сб. науч. тр. – К.: Изд-во ИСМ им. В.Н. Бакуля НАН Украины. – 2019. – Вып. 22 – С. 164 – 174.
11. Войтенко В. С. Прикладная геомеханика в бурении. – М.: Недра, 1990. – 252 с.
12. Тарасевич Ю. И., Овчаренко Ф. Д. Адсорбция на глинистых минералах. – К.: Наукова думка, 1975. – 351 с.
13. Сеид-Рза М. К., Фараджев Т. Г., Гасанов Р.А. Предупреждение осложнений в кинетике буровых процессов. – М.: Недра, 1991 – 272 с.
14. Григулецкий В. Г. Оптимальное управление при бурении скважин. – М.: Недра, 1988. – 229 с.

Надійшла 09.07.20

## References

1. Yaremiichuk, R. S., & Voznyi, V. R. (2001). *Osnovy hirnychoho vyrobnytstva [Bases of mining production]*. – Kyiv: Ukrainska knyha [in Ukrainian].
2. Voitenko, V., & Vitryk, V. (2012). *Tekhnolohiia i tekhnika burinnia [Technology and technique of the drilling]*. – Kyiv: Tsentr Yevropy [in Ukrainian].
3. Kotskulych, Ya. S., & Tyshchenko, O. V. (2004). *Zakinchuvannia sverdlovyh [Well completion]*. – Kyiv: Interpres LTD [in Ukrainian].
4. Vadetskiy, Yu. V. (2011). *Burenie neftyanyh i gazovyh skvazhin [Oil and gas well drilling]*. – Moscow: Akademiya [in Russian].
5. Boiko, V. S. (2004). *Rozrobka ta ekspluatatsiia naftovykh rodovyshch [Development and exploitation of the oil fields]*. – Kyiv: Real-Prynt [in Ukrainian].
6. Davydenko, A. N., Ihnatov A. A., & Polyshchuk, P.P. (2016). *Transportirovka produktov razrusheniya pri burenii skvazhin [Transporting of rock destruction at well drilling]*. – Dnipropetrovsk: Derzh. vyshch. navch. zakl. «Nats. hirn. un-t» [in Russian].
7. Kovalchuk, Ye. P., & Reshetniak O. V. (2007). *Fizychna khimiia [Physical chemistry]*. – Lviv: Vydavnychiy tsentr LNU imeni Ivana Franka [in Ukrainian].
8. Davydenko, A. N., Ratov, B. T., Pashchenko, A. A. (2018). *Vliyanie gidrostaticheskogo davleniya na udarnoe abrazivno-mehaniicheskoe burenie skvazhin [Influence of hydrostatical pressure on percussion abrasive mechanical well drilling]*. – Almaty: Kaspiyskiy obschestvennyy universitet [in Russian].
9. Cherepanov, G. P. (1987). *Mehanika razrusheniya gorniyh porod v protsesse bureniiya [Mechanics of destruction rock in the process of the well drilling]*. – Moscow: Nedra [in Russian].
10. Stavychnyi, Ye. M., & Ihnatov, A. A. (2019). Osoblyvosti kriplennia stovbura sverdlovyh u khemohennykh vidkladakh [Fastening features barrel of bore hole in chemogenic deposits]. *Porodorazrushayuschiy i metalloobrabatyvayuschiy instrument - tehnika i tehnologiya ego izgotovleniya i primeneniya – Rock destruction and metal-working instrument-technique and technology of his making and application*, 22, 164 – 174 [in Ukrainian].
11. Voytenko, V. S. (1990). *Prikladnaya geomehanika v burenii [The applied geomechanics in the well drilling]*. – Moscow: Nedra [in Russian].
12. Tarasevich, Yu.I., & Ovcharenko F.D. (1975). *Adsorbtsiya na glinistyih mineralah [Adsorption on clay minerals]*. – Kyiv: Naukova dumka [in Russian].
13. Seid-Rza, M.K., Faradzhev, T.G., & Gasanov, R.A. (1991). *Preduprezhdenie oslozhneniy v kinetike burovnyh protsessov [Warning of complications in kinetics of drilling processes]*. – Moscow: Nedra [in Russian].
14. Griguletskiy, V.G. (1988). *Optimalnoe upravlenie pri burenii skvazhin [Optimal management at well drilling]*. – Moscow: Nedra [in Russian].