

УДК 691.4:622.223.74

Зоценко М. Л., д.т.н., професор, Тимофєєва К. А., аспірант
(Полтавський національний технічний університет
імені Юрія Кондратюка)

ШЛАМОВІ АМБАРИ ДЛЯ ВІДХОДІВ БУРІННЯ Й ЕКСПЛУАТАЦІЇ НАФТОГАЗОВИХ СВЕРДЛОВИН З ГРУНТОЦЕМЕНТНИМ ПРОТИФІЛЬТРАЦІЙНИМ ЕКРАНОМ

Досліджено хімічний склад бурового шламу. Наведені результати експериментальних лабораторних досліджень впливу агресивних складових бурового шламу на фізико-механічні характеристики ґрунтоцементу.

Ключові слова: буровий шлам, шламовий амбар, гідроізоляція, ґрунтоцемент, протифільтраційний екран.

Аналіз екологічних проблем нафтогазової галузі показав, що найбільш вагомими проблемами з точки зору негативного впливу на довкілля є утворення значної кількості відходів буріння та експлуатації нафтогазових свердловин. При бурінні свердловин для приготування бурових розчинів використовуються хімічні реагенти, які відносяться до речовин 3-го та 4-го класів небезпеки. При розробці родовищ для інтенсифікації видобутку вуглеводневої сировини використовують концентровані розчини різних кислот, поверхнево-активних речовин, інгібіторів тощо. В процесі експлуатації свердловин трапляються викиди нафти, конденсату. Потрапляння цих речовин у водойми, ґрунт, ґрунтові води є екологічно небезпечним.

Найбільш доступним шляхом ліквідації відходів буріння та експлуатації свердловин є їх захоронення. Практикують ліквідацію відходів у спеціально відведених місцях, глибоких підземних горизонтах. Захоронення у спеціально відведених місцях передбачає використання для цього спеціальних споруд, кинутих кар'єрів тощо. Така ліквідація потребує значних транспортних витрат, тому вважається економічно недоцільною. Здебільшого практикують збирання та зберігання виробничо-технологічних напіврідких відходів буріння безпосередньо в земляних котлованах (шламових амбрах) на території бурового майданчика [1].

У процесі будівництва та експлуатації свердловин шламові амбари заповнюються буровими стічними водами, буровим шламом, пластовими водами, продуктами випробування свердловин, матеріалами для

приготування й хімічної обробки бурових і тампонажних розчинів, паливно-мастильними матеріалами тощо. Але забруднювачі, які містяться у відходах, унаслідок рухливості та високої проникної спроможності, мігрують у ґрунтові води і забруднюють навколишнє середовище [2]. Очевидно, що особливі вимоги з точки зору охорони навколишнього середовища повинні застосовуватися до захисних протифільтраційних екранів шламових амбарів, оскільки охорона ґрунту і ґрунтових вод потребує надійного захисту створенням бар'єру проти розповсюдження забруднення.

Ґрунтова основа котловану шламового амбару повинна мати водонепроникний захисний протифільтраційний екран при умові його довговічності та стійкості проти агресивного впливу відходів буріння та експлуатації нафтогазових свердловин. Протифільтраційний екран – це надійна гідроізоляція дна і стінок земляних шламових амбарів. В якості гідроізоляційних матеріалів для протифільтраційних екранів використовуються ущільнені глинисті ґрунти, мінеральний ґрунт оброблений бітумом з додаванням цементу, монолітний бетон, залізобетонні плити, полімербетон, асфальтобетон, асфальтополімербетон, полімерні плівки. Всі перелічені матеріали потребують багат шаровості як самого матеріалу, так і додаткових шарів поліетиленової плівки, піску, щебеню, силікату, бітуму чи інших матеріалів для покращення протифільтраційних характеристик. Це вимагає додаткових витрат на матеріал та його доставку на ділянку влаштування сховища.

У практиці фундаментобудування та влаштування штучних основ досить часто використовують такий будівельний матеріал як ґрунтоцемент, також він широко використовується і як гідроізоляційний матеріал. Значною перевагою застосування ґрунтоцементних елементів є те, що найбільш сприятливим середовищем для їх улаштування є водонасичені ґрунти, у тому числі ті, що розташовані нижче рівня ґрунтових вод. Ґрунтоцемент являє собою складну багатозфазну систему, яка містить ґрунт, що має полідисперсний та полімінеральний склад, цемент, який з'єднує частинки ґрунту в моноліт, воду та, за необхідності, різні домішки [3]. Дослідження показують, що міцність ґрунтоцементу, як і бетону, зростає в часі й такий процес триває роками. Найбільш швидке зростання міцності спостерігається у початковий період. Підвищення температури й вологості середовища значно прискорює процес тужавіння ґрунтоцементу. При зберіганні ґрунтоцементу у воді спостерігається більш інтенсивне зростання міцності. Це свідчить про те, що найбільш сприятливим для тужавіння ґрунтоцементу слід вважати його знаходження у водонасичених ґрунтах або у воді. Міцність ґрунтоцементу, як і бетону, залежить від кількості цементу, фізико-

механічних властивостей ґрунту та цементного каменю. Лабораторні дослідження ґрунтоцементу показали його високу водонепроникність, яка складає не менше W₆ [4-6].

Пропонується виконання протифільтраційного екрану шламових амбарів із ґрунтоцементу. Ґрунтоцемент можливо використовувати як надійний гідроізоляційний матеріал, але невідома його стійкість до бурового шламу і реагентів для інтенсифікації видобутку вуглеводнів. Для визначення можливості застосування ґрунтоцементу як протифільтраційного екрану шламового амбару були проведені експериментальні лабораторні дослідження дії агресивних компонентів бурового шламу на ґрунтоцемент.

Висока водонепроникність ґрунтоцементу, котра досягається при звичайному технологічному циклі без спеціальних добавлень, відкриває широкі можливості використання ґрунтоцементу при спорудженні водонепроникних заповн, зокрема протифільтраційного екрану земляного шламового амбару.

Для визначення можливості застосування ґрунтоцементу для спорудження протифільтраційного екрану земляного шламового амбару в Полтавському національному технічному університеті імені Юрія Кондратюка були проведені експериментальні лабораторні дослідження впливу агресивних складових бурового шламу на фізико-механічні характеристики ґрунтоцементу. Дослідження здійснювалися на зразках із ґрунтоцементу, вихідними матеріалами для виготовлення яких були цемент, вода та ґрунт. В якості в'язучого для виготовлення експериментальних зразків і їх дослідження використовувався портландцемент марки ПЦ-П/Б-Ш-400, виготовлений згідно з вимогами ДСТУ Б В. 2.7-46-96 в кількості 20% від ваги сухого ґрунту. Також використовувалась вода гідро-карбонатно-кальцієва, слабомінералізована, слаболужна, показник рН = 8, яка не містить шкідливих домішок, що перешкоджає нормальному твердінню цементу. Для виготовлення зразків ґрунтоцементу було використано суглинок лесований, жовто-коричневий, твердий, високо-пористий, карбонатний, просадочний. Цей ґрунт був відібраний на глибині 1,5 м від поверхні Землі у Полтавському районі.

Результати лабораторних досліджень фізичних характеристик природного ґрунту: щільність $\rho = 1,34 \text{ г/см}^3$; вологість природна $W = 0,20$; щільність скелету ґрунту $\rho_d = 1,12 \text{ г/см}^3$; вологість на межі текучості $W_L = 0,3$; вологість на межі розкочування $W_p = 0,17$; число пластичності $I_p = 0,13$.

Методика досліджень. Виготовлення ґрунтоцементної суміші полягала в наступному. Цемент та вода в необхідній кількості перемішу-

валися вручну до отримання однорідного стану, так званого цементного молока. Кількість цементу (20%) визначалась як доля від ваги сухо-го ґрунту. Потім в отриманий розчин додавався ґрунт з певною вологістю і отримана суміш перемішувалася до однорідної маси протягом 5 хвилин. Після перемішування ґрунтоцементна суміш викладалася у металеві форми. Для лабораторних випробовувань було виготовлено ґрунтоцементні зразки циліндричної форми з розмірами $h=15,0$ см, $d=15,0$ см в кількості 120 штук. На другу добу після формування зразки витягалися з форм і зберігалися до випробування у воді протягом 28 діб (час набору міцності).

У роботі Маслюка М.А. [7] дослідженні бурові розчини, їх типи, призначення та хімічний склад. Згідно цих досліджень були визначені найпоширеніші хімічні компоненти та їх максимально можлива концентрація, які входять до рецептури приготування різноманітних бурових розчинів, що найчастіше використовуються. Це хімічні речовини з високою концентрацією у рецептурах бурових розчинів: каустична сода (NaOH) – 2,8%, сода кальцинована (Na_2CO_3) – 4%, калій хлористий (KCl) – 15%. Ці хімічні речовини є токсичними і відносяться до 3 і 4 класів екологічної небезпеки, також вони можуть бути найбільш руйнівними до ґрунтоцементу.

Виготовлені зразки були розподілені на чотири групи по 30 зразків та розміщені у три ємності з найбільш агресивними складовими бурового шламу і, для порівняння, у ємність з водою:

- I група – вода (H_2O);
- II група – 2,8-процентний розчин каустичної соди (NaOH);
- III група – 4-процентний розчин соди кальцинованої (Na_2CO_3);
- IV група – 15-процентний розчин калію хлористого (KCl).

Випробування зразків ґрунтоцементу на водонепроникність виконувалися в процесі витримки в агресивних середовищах та воді через 30, 90, 180, 270, 360 діб методом «мокрої плями» на установці УВФ-6 згідно вимогам ДСТУ [8]. Перед випробуванням зразки витримувались у приміщенні лабораторії протягом доби. Зразки в об'ємі встановлювались у гнізда установки для випробування і надійно закріплювались. Тиск води підвищувався ступенями по 0,2 МПа протягом від 1 хв до 5 хв і витримувався на кожному ступені протягом 16 годин. Випробування проводились доти, поки на верхній торцевій поверхні зразка з'являлися ознаки фільтрації води у вигляді крапель або мокрої плями. Водонепроникність кожного зразка оцінюється максимальним тиском води, за якого ще не спостерігалось її просочування крізь зразок. Водонепроникність групи зразків оцінювалася максимальним тиском води, за якого на чотирьох із шести зразків не спостерігалось просочу-

вання води. Марка за водонепроникністю приймається згідно з таблицею 1.

Таблиця 1

Марка ґрунтоцементу за водонепроникністю

Водонепроникність групи зразків, МПа	0,2	0,4	0,6	0,8	1,0	1,2
Марка за водонепроникністю, W	2	4	6	8	10	12

Результати лабораторних випробувань зразків ґрунтоцементу на водонепроникність наведені у таблиці 2, де зведені значення марки за водонепроникністю зразків ґрунтоцементу залежно від терміну та середовища витримки.

Таблиця 2

Розподіл по групам зразків ґрунтоцементу згідно середовищ витримки та терміну витримки для визначення марки за водонепроникністю

Середовище витримки	Термін витримки, № зразків для випробування, марка групи зразків ґрунтоцементу за водонепроникністю, W									
	30 діб		90 діб		180 діб		270 діб		360 діб	
	№	W	№	W	№	W	№	W	№	W
H ₂ O	1-6	4	7-12	6	13-18	6	19-24	6	25-30	6
NaOH	31-36	4	37-42	6	43-48	6	49-54	6	55-60	6
Na ₂ CO ₃	61-66	4	67-72	6	73-78	6	79-84	6	85-90	6
KCl	91-96	4	97-102	6	103-108	6	109-114	6	115-120	6

За даними таблиці 2 побудовано графік залежності водонепроникності ґрунтоцементу від терміну витримки (рис. 1). Із графіка видно, що зі збільшенням терміну витримки водонепроникність ґрунтоцементу підвищується.

Після випробувань зразків ґрунтоцементу на водонепроникність, проводились дослідження фізико-механічних характеристик ґрунтоцементу на тих же зразках. Визначення міцності зразків на стиск виконувалися в процесі витримки в агресивних середовищах та воді через 30, 90, 180, 270, 360 діб за допомогою преса ПГ-100. Навантаження прикладалося до руйнування зразка згідно вимогам ДСТУ [9]. Визначення міцності на стиск ґрунтоцементу полягає у вимірюванні мінімальних зусиль, що руйнують контрольні зразки при їх статичному навантаженні з постійною швидкістю збільшення навантаження ($0,6 \pm 0,4$) МПа/с. При цьому час навантаження одного зразка повинен бути не менше 30 с. Максимальне зусилля, досягнуте в процесі випробування, приймали за руйнівне навантаження і заносили в журнал випробувань.

За даними випробувань було визначено міцність на стиск R і модуль деформації E . Перед проведенням випробувань визначалася щільність ґрунтоцементу ρ , після стиску – вологість W , за якими обчислювали щільність скелета ρ_d . Кожне визначення характеристик ґрунтоцементу відбувалося у 6-кратній повторності. Для кожної характеристики визначався коефіцієнт варіації V . Результати лабораторних випробувань наведені у таблиці 3.

Таблиця 3

Осереднені дані фізико-механічних характеристик ґрунтоцементу при різному терміні витримки в хімічних розчинах

Середовище витримки	№ зразків	Вологість W , % (коефіцієнт варіації V)	Щільність скелета ρ_d , т/м ³ (коефіцієнт варіації V)	Міцність R , МПа (коефіцієнт варіації V)
Термін витримки 30 діб				
H ₂ O	1-6	35 (0,02)	1,32 (0,02)	5,35 (0,09)
NaOH	31-36	37 (0,09)	1,39 (0,05)	5,29 (0,07)
Na ₂ CO ₃	61-66	37,(0,05)	1,36 (0,03)	5,13 (0,09)
KCl	91-96	34 (0,08)	1,59 (0,05)	4,78 (0,08)
Термін витримки 90 діб				
H ₂ O	7-12	33 (0,04)	1,43 (0,02)	6,39 (0,07)
NaOH	36-42	34 (0,08)	1,46 (0,04)	6,07 (0,08)
Na ₂ CO ₃	67-72	32 (0,09)	1,45 (0,05)	5,84 (0,06)
KCl	97-102	30 (0,09)	1,36 (0,06)	5,53 (0,09)
Термін витримки 180 діб				
H ₂ O	13-18	25 (0,08)	1,56 (0,06)	6,84 (0,08)
NaOH	43-48	28 (0,10)	1,39 (0,07)	6,53 (0,06)
Na ₂ CO ₃	73-78	28 (0,08)	1,4 (0,04)	6,06 (0,09)
KCl	103-108	27 (0,04)	1,35 (0,04)	5,69 (0,07)
Термін витримки 270 діб				
H ₂ O	19-24	24 (0,09)	1,59 (0,06)	7,66 (0,08)
NaOH	49-54	26 (0,06)	1,45 (0,08)	7,12 (0,1)
Na ₂ CO ₃	79-84	24 (0,07)	1,47 (0,09)	6,73 (0,07)
KCl	109-114	27 (0,1)	1,46 (0,06)	6,23 (0,09)
Термін витримки 360 діб				
H ₂ O	25-30	24 (0,07)	1,64 (0,09)	7,87 (0,07)
NaOH	55-60	25 (0,05)	1,61 (0,07)	7,33 (0,08)
Na ₂ CO ₃	85-90	23 (0,06)	1,49 (0,05)	6,89 (0,06)
KCl	115-120	22 (0,04)	1,57 (0,08)	6,39 (0,09)

Як видно з таблиці 3, щільність скелета ґрунтоцементу ρ_d практично не змінюється протягом терміну витримки ґрунтоцементу. Вологість W із часом змінюється не суттєво. За даними таблиці 3 побудовані графіки залежності міцності ґрунтоцементу R від терміну та середовища витримки (рис. 2).

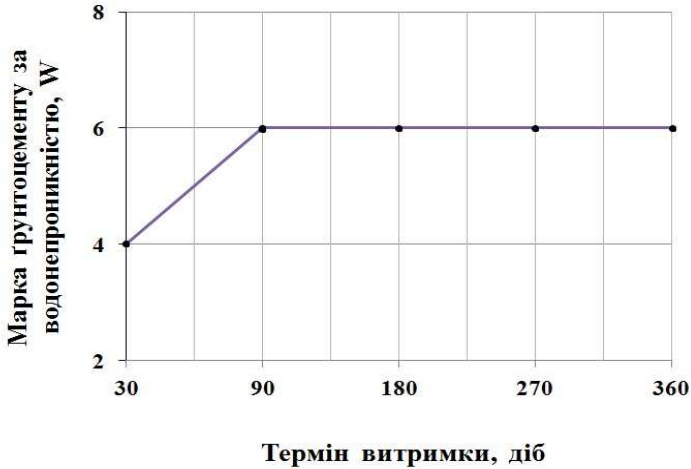


Рис. 1. Залежність водонепроникності ґрунтоцементу від терміну витримки

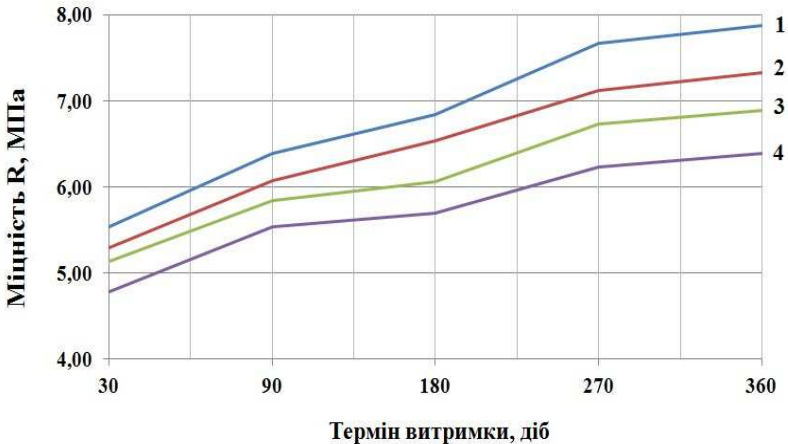


Рис. 2. Залежність міцності ґрунтоцементу від терміну та середовища витримки: 1 – вода; 2 – каустична сода; 3 – кальцинована сода; 4 – калій хлористий

Із графіка (рис. 2) видно, що зі збільшенням терміну витримки міцність ґрунтоцементу підвищується незалежно від середовища витримки.

Проведені лабораторні дослідження впливу агресивних складових бурового шламу на ґрунтоцемент показали, що з часом міцність ґрунтоцементу підвищилася і, відповідно, водонепроникність його збільшилась (з марки W4 до W6), що свідчить про стійкість ґрунтоцементу до бурового шламу. Цим доведено можливість його використання для спорудження протифільтраційного екрану шламових амбарів.

Ґрунтоцементний протифільтраційний екран шламового амбару забезпечує ефективний захист навколишнього середовища й ґрунтових вод від токсичних відходів буріння й експлуатації нафтогазових свердловин. Переваги ґрунтоцементу: висока водонепроникність, морозостійкість, простота та швидкість застосування, термін експлуатації практично необмежений, стійкість до агресивних складових бурового шламу (корозійна стійкість), низька собівартість робіт, екологічна безпека цього матеріалу.

Авторами статті запатентовані способи будівництва шламових амбарів з ґрунтоцементним протифільтраційним екраном – патенти України на корисні моделі № 71256, № 74018, № 87868, № 81428.

1. Пукіш А. В. Дослідження хімічного складу та фізико-хімічних властивостей бурових стічних вод / А. В. Пукіш, Я. М. Семчук // Розвідка та розробка нафтових і газових родовищ. – 2007. – № 1(22) – С. 23–36. 2. Пукіш А. В. Оцінка токсичності відходів буріння / А. В. Пукіш // Экотехнологии и ресурсосбережение. – 2008. – № 1. – С. 52–55. 3. Токин А. Н. Фундаменты из цементогрунта / А. Н. Токин. – М. : Стройиздат, 1984. – 184 с. 4. Дослідження водонепроникності ґрунтоцементу / [М. Л. Зоценко, О. І. Наливайко, І. І. Ларцева, О. М. Панько] // Вісник Дніпропетр. нац. ун-ту. залізн. трансп. ім. акад. В. Лазаряна. – Д. : ДНУЗТ, 2010. – Вип. 32. – С. 43–48. 5. Ларцева І. І. До визначення фізико-механічних характеристик ґрунтоцементу / І. І. Ларцева, М. В. Петруняк // 36. наук. пр. (галузеве машинобудування, будівництво). – Полтава : ПолтНТУ, 2010. – Вип. 2 (27). – С. 127–134. 6. Водонепроникні запони з ґрунтоцементу, який виготовлюється за бурозмішувальною технологією / Зоценко М. Л., Ларцева І. І., Петраш О. В., Іванченко В. Г., Сухоросов І. М. // Проблеми водопостачання, водовідведення та гідраліки: наук.-техн. зб. – Київ : КНУБА, 2011. – Вип. 17. – С. 39–46. 7. Буріння свердловин: Довідник: У 5 т. Т. 2: Промивання свердловин. Відробка доліт / М. А. Маслюк, І. Й. Рибчич, Р. С. Яремійчук. – К. : Інтерпрес ЛТД, 2002. – 303 с. 8. Будівельні матеріали. Бетони. Методи визначення середньої густини, вологості, пористості та водонепроникності. ДСТУ Б В. 2.7-170:2008 – [Чинний від 2011-09-01]. – К. : Мінрегіонбуд України. – 14 с. (Національний стандарт України). 9. Будівельні матеріали. Бетони. Методи визначення міцності за контрольними зразками: ДСТУ Б В.2.7-

214:2009. – ДСТУ Б В.2.7-214:2009. – [Чинний від 2010-09-01]. – К. : Мінергіонбуд України. – 44 с. – (Національний стандарт України).

Рецензент: д.т.н., професор Семко О. В. (Полтавський національний технічний університет імені Юрія Кондратюка)

Zotsenko N. L., Doctor of Engineering, Professor, Tymofieieva K. A., Post-graduate Student (Poltava National Technical Yuriy Kondratyuk University)

SLUDGE PIT FOR DRILLING REJECTIONS AND OIL AND GAS WELLS EXPLOITATION WITH SOILCEMENT WATERTIGHT SCREEN

Chemical analysis of drilled cutting is studied in this article. The results of the laboratory experiments of the drilled cuttings components on the soilcement physical and mechanical characteristics are shown.

Keywords: drilled cuttings, sludge pit, waterproof, soilcement, watertight screen.

Зоценко Н. Л., д.т.н., професор, Тимофеева Е. А., аспирант (Полтавский национальный технический университет имени Юрия Кондратюка)

ШЛАМОВЫЕ АМБАРЫ ДЛЯ ОТХОДОВ БУРЕНИЯ И ЭКСПЛУАТАЦИИ НЕФТЕГАЗОВЫХ СКВАЖИН С ГРУНТОЦЕМЕНТНЫМ ПРОТИВОФИЛЬТРАЦИОННЫМ ЭКРАНОМ

Исследован химический состав бурового шлама. Приведены результаты экспериментальных лабораторных исследований влияния агрессивных составляющих бурового шлама на физико-механические характеристики грунтоцемента.

Ключевые слова: буровой шлам, шламовый амбар, гидроизоляция, грунтоцемент, противοфильтрационный экран.
