

*І.І. Ларцева, к.т.н., М.В. Петруняк, к.т.н.  
К.А. Тимофєєва, аспірант*

*Полтавський національний технічний університет імені Юрія Кондратюка*

## **ДО ВИЗНАЧЕННЯ ВОДОНЕПРОНИКНОСТІ ГРУНТОЦЕМЕНТУ**

*Наведено дослідження водонепроникності ґрунтоцементу методом визначення абсолютної газопроникності (за методикою випробування гірських порід на проникність з метою визначення їх колекторських властивостей).*

**Ключові слова:***ґрунтоцемент, протифільтраційна завеса, водонепроникність, газопроникність.*

*И.И. Ларцева, к.т.н., М.В. Петруняк, к.т.н.  
К.А. Тимофеева, аспирант*

*Полтавский национальный технический университет имени Юрия Кондратюка*

## **К ОПРЕДЕЛЕНИЮ ВОДОНЕПРОНИЦАЕМОСТИ ГРУНТОЦЕМЕНТА**

*Приведены исследования водонепроницаемости ґрунтоцемента методом определения абсолютной газопроницаемости (по методике испытания горных пород на проницаемость с целью определения их колекторских свойств).*

**Ключевые слова:***ґрунтоцемент, протифільтраційна завеса, водонепроницаемость, газопроницаемость.*

*I.I. Lartseva, candidate of technical sciences  
M.V. Petrunyak, candidate of technical sciences  
K.A. Timofeeva, a graduate student*

*Poltava National Technical Yuri Kondratyuk University*

## **TO IDENTIFY OF WATERTIGHTNESS OF SOIL-CEMENT**

*Presented research watertightness of soil-cement method of determining the absolute permeability (as described in the test on the gas permeability of rocks to determine their reservoir properties).*

**Keywords:***soil-cement, watertight diaphragm, watertightness, gas permeability.*

**Вступ.** Будівельне освоєння територій і експлуатація будівель, споруд та інших об'єктів практично повсюдно супроводжується накопиченням вологив товщі ґрунтів і підйомом рівня ґрунтових вод навіть у тих випадках, коли до початку освоєння території ґрунтові води взагалі були відсутні. Разом із дренажами для створення більш сприятливих з точки зору стійкості споруд та основ умов фільтрації застосовують протифільтраційні конструкції – екрани й завіси.

Протифільтраційні екрани являють собою майданчикове влаштування, виконані з одного чи декількох шарів непроникних матеріалів, які можуть поєднуватися з дреноючими влаштуваннями. Частіше за все їх застосовують за відсутності чи при глибокому заляганні водотриву.

Протифільтраційні завіси являють собою вертикальну непроникну «штору» в ґрунті, розташовану з одного або декількох боків від джерела фільтрації.

Сфери використання протифільтраційних завіс доволі різноманітні. Їх можна застосовувати для:

- попередження розмиву та руйнування берегів річок, водосховищ;
- запобігання суфозії ґрунту з тіла автомобільних, залізничних насипів, гребель і дамб;
- попередження розповсюдження ґрунтових вод від міських звалищ, шламосховищ, могильників радіоактивних відходів тощо;
- запобігання припливу води до котловану на момент будівництва при високому рівні залягання ґрунтових вод;
- за необхідності гідроізоляції підземних частин будівель і споруд під час експлуатації, наприклад, при піднятті рівня ґрунтових вод;
- захисту підземних виробок у процесі розв'язання різноманітних гірничотехнічних задач тощо [1].

Улаштовувати протифільтраційні завіси можна різними методами: ін'єкційним, струминним, бурозмішувальним. На території України найбільшого розвитку набуває бурозмішувальна технологія, при застосуванні якої у масиві ґрунту влаштовують вертикальні ґрунтоцементні елементи.

**Огляд останніх джерел досліджень і публікацій.** Як відомо, ґрунтоцемент являє собою складну багатофазну систему, яка складається із ґрунту, що має полідисперсний та полімінеральний склад, і цементуючої речовини – цементу, який з'єднує частинки ґрунту в моноліт. Гель, котрий виділяється при гідролізі цементу, просочує ґрунт та заповнює його пори. Установлено, що в ґрунтоцементі переважають ультрамікропори, і це робить матеріал практично водонепроникним. Було доведено доцільність застосування монолітного ґрунтоцементу для укладання в ядро накидних дамб та влаштування облицювання зрошувальних каналів [2, 3].

Дослідженням водонепроникності ґрунтоцементу активно займаються науковці ПолтНТУ. Наприклад, для зразків ґрунтоцементу, виготовленого в лабораторних та польових умовах з лесового легкого суглинку з додаванням 20% портландцементу М400 від ваги сухого ґрунту, В/Ц = 1, без додаткового ущільнення і гідрофобних добавлень, методом «мокрої плями» й експрес-методом, який полягає у визначенні повітропроникності, визначено марку ґрунтоцементу, що відповідає W12 – W16 класифікації бетонів за водонепроникністю [1, 4].

**Виділення не розв'язаних раніше частин загальної проблеми.** Оскільки в жодних нормативах немає методики визначення водонепроникних властивостей ґрунтоцементу, то виникають питання: якими методами проводити ці дослідження? Чи вважати ґрунтоцемент близьким за характеристиками до бетонів або до ґрунтів?

При дослідженні водонепроникних властивостей бетонів необхідно виконувати випробування за «мокрою плямою» чи експрес-методами.

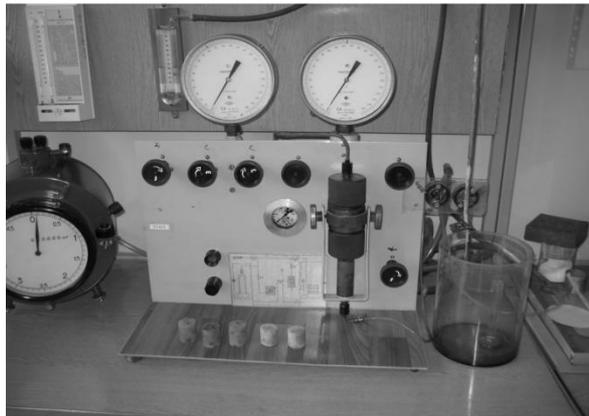
У процесі дослідження гірських порід визначають їх проникність – це здатність породи пропускати через себе рідини та гази (за наявності перепаду тисків). Вона кількісно характеризує фільтраційні властивості порід (у

нафтогазопромисловій геофізиці проникність характеризує фільтраційні властивості порід-колекторів, тобто порід, які мають властивість не тільки утримувати, а й пропускати через себе такі флюїди, як нафту, газ та воду). Проникність визначають газоволюметричним методом.

**Мета роботи** – дослідити водонепроникність ґрунтоцементу газоволюметричним методом.

**Основний матеріал і результати.** Дослідження проникності ґрунтоцементу виконувалися газоволюметричним методом на приладі ГК-5 (рис. 1) згідно зі стандартом [5] на лабораторній базі ДП «Укрнаукагеоцентр» (м. Полтава).

Із суглинку лесового, світло-коричневого, твердого, високопористого, просадочного, із числом пластичності  $I_p=14\%$  попередньо було виготовлено зразки ґрунтоцементу – циліндри розмірами  $h=30$  мм і  $d=30$  мм. Для виготовлення цих зразків застосовувалися спеціальні форми, що використовуються для дослідження гірських порід-колекторів на проникність, щільність, пористість тощо. Кількість цементу – 20% від ваги сухого ґрунту; водоцементне відношення суміші В/Ц = 1 [6]. У віці двох років зразки було випробувано на проникність приладом ГК-5. Увесь цей час зразки зберігалися у воді.



*Рис. 1. Прилад ГК-5 для визначення абсолютної газопроникності при стаціонарній фільтрації*

Проникність визначається шляхом пропускання газу при певному тиску через зразок (керна). Сутність методу полягає у визначенні постійної (стаціонарної) швидкості фільтрації газу через зразок гірської породи в лінійному чи радіальному напрямку під дією різниці тисків. При стаціонарній фільтрації швидкість визначається відомим об'ємом газу, що проходить через зразок за фіксований відрізок часу при постійній різниці тисків.

Перед проведенням випробувань зразки попередньо піддавали обточуванню та шліфуванню; далі їх висушували у сушильній шафі при температурі  $(105 \pm 2)^\circ\text{C}$  до постійної маси зразка.

Потім зразки розміщували між металевими проникними пластинами і встановлювали в гумову камеру патрона. Для проведення випробувань

задають початкові умови: тиск на вході в патрон 4 атм, тиск обжиму – 8 атм. Вихід газу вимірюється лічильником газу барабанного типу за певний проміжок часу (не менше 50 с) за допомогою секундоміра. Далі за формулою (1) розраховується показник газопроникності  $\mu$

$$\mu = \frac{\frac{\text{рахівник}}{\text{час}} \cdot l \cdot p_{\text{попр}} \cdot t_{\text{попр}}}{p_0 \cdot F}, \quad (1)$$

де  $l$  – довжина зразка, см;  $F$  – площа зразка, см<sup>2</sup>;  $p_{\text{попр}}$  – перепад тисків, МПа;  $t$  – температура в приміщенні, °С;  $p_0=3,871$  МПа – поправковий тиск при 100 атм.

Для досліджуваних зразків значення коефіцієнта газопроникності склало 0,13 м-дарсі (мілідарсі), що дорівнює  $0,13 \cdot 10^{-3}$  мкм<sup>2</sup>. При такій величині проникності за класифікацією порід-колекторів за проникністю досліджувані зразки ґрунтоцементу належать до непроникних.

З літературних джерел відомо, що проникність по газу в декілька разів може перевищувати проникність по воді. Таким чином, можна сказати, що досліджувані зразки ґрунтоцементу належать до водонепроникних.

Перед дослідженням на проникність для зразків ґрунтоцементу визначалася щільність його частинок (мінералогічна щільність)  $\rho_s$ . Дослідження виконано за допомогою аналітичних ваг AR1530 та приладу «Експреспор 2000М» (рис. 2), який дозволяє визначати відкриту пористість, зовнішній об'єм та об'єм твердої фази. За результатами проведення шести випробувань середня щільність частинок ґрунтоцементу склала  $\rho_s = 2,01$  г/см<sup>3</sup>. Зниження щільності твердих частинок порівняно зі щільністю частинок досліджуваного ґрунту, яка складає  $\rho_s = 2,66$  г/см<sup>3</sup>, можна пояснити процесами гідратації й гідролізу, що відбуваються при додаванні до ґрунту цементного розчину.

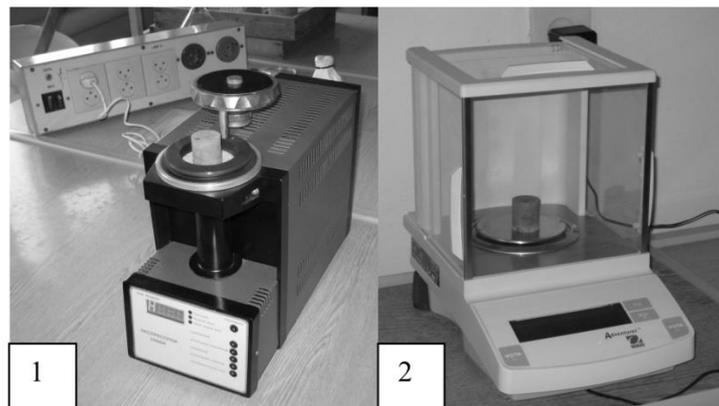


Рис. 2. Прилади визначення щільності частинок ґрунтоцементу:  
1 – «Експреспор 2000М»; 2 – аналітичні ваги

Також для зразків ґрунтоцементу визначався його мінералогічний склад.

Універсальним методом дослідження гірських порід є вивчення їх у шліфах під мікроскопом (петрографічні дослідження). Для більшості

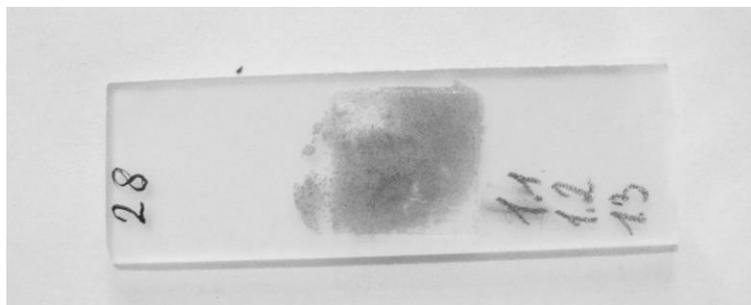
гірських порід цей метод дозволяє швидко та достатньо точно визначати мінеральний склад породи, деталі її будови, характер і ступінь вторинних змін та ряд інших особливостей.

Кристалооптичний метод вивчення гірських порід ґрунтується на використанні поляризованого світла, яке застосовується в поляризаційних мікроскопах, сучасні моделі котрих дають збільшення, більше ніж  $1000\times$ . Такі можливості широко розсувають рамки досліджень, дозволяють визначати оптичні властивості мінералів у дрібних зернах, вивчати мінеральний склад і будову.

Для дослідження мінералогічного складу породи використовують поляризаційний мікроскоп, який відрізняється від звичайного біологічного мікроскопа наявністю спеціальних оптичних приладів, що перетворюють звичайне світло у плоскополяризоване. Тобто коливання світлових хвиль здійснюються тільки в одній певній площині. Якщо в кожному одиниці часу напрямком коливань електричного та магнітного векторів змінюється так, що в напрямку розповсюдження світлового променя одночасно відбуваються поступальні й обертальні рухи цих векторів при постійній швидкості їх коливань, то таке світло називається природним, чи звичайним. Площина, в якій відбувається коливання світлових хвиль, називається площиною коливань, перпендикулярна до неї площина – площиною поляризації. Плоскополяризоване світло виникає або при відображенні від гладкої поверхні (часткова поляризація), або при проходженні світла через кристал (призму Ніколя).

Призма Ніколя являє собою кристал безколірного прозорого кальциту (ісландського шпату), розпиляний під певним кутом до граней і потім склеєний канадським бальзамом.

За допомогою поляризаційного мікроскопа мінерали та гірські породи вивчають у шліфах. Шліф являє собою тонку пластинку гірської породи товщиною близько 0,03 мм, вклеєну канадським бальзамом між предметним і покрівельним склом. Зразок шліфа із ґрунтоцементу наведено на рисунку 3.



*Рис. 3. Зразок шліфа із ґрунтоцементу*

Розміри мінеральних зерен є важливою структурною ознакою гірської породи.

На знімках шліфа (рис. 4), виготовленого зі зразків ґрунтоцементу з умістом цементу 20%, які зберігалися у водних умовах, у віці двох років спостерігається гідратація кристалів аліту та беліту, зерна кварцу кородовані, напевно, вапном, що виділилося при гідролізі аліту, навколо зерен кварцу спостерігається оболонка з гідрослюди.

Під мікроскопом визначено такий склад ґрунтоцементу:

- кварц – 60%;
- уламки мікрокварцитів – 8%;
- кальцит – 15%;
- слюда – 10%;
- гематит – 5%;
- вуглистий детрит – 3%;
- цементну речовину під мікроскопом не визначено.

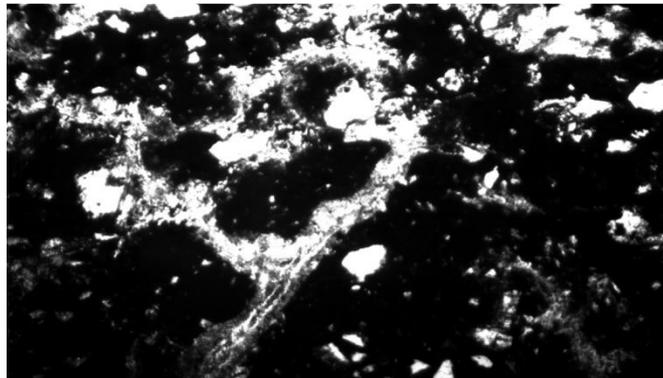


Рис. 4. Знімок шліфа зразка ґрунтоцементу у віці двох років (збільшення  $\times 200$ )

Проведені петрографічні дослідження дозволяють зробити висновок про хімічну взаємодію вказаних ґрунтів із продуктами гідролізу цементу та утворення нового матеріалу – ґрунтоцементу.

**Висновки.** У результаті експериментальних досліджень проникності ґрунтоцементу на приладі ГК-5 за методикою стандарту [5] визначено, що газопроникність ґрунтоцементу становить 0,13 м-дарсі, тобто ґрунтоцемент належить до практично непроникних матеріалів.

Виконані дослідження ще раз підтвердили водонепроникну властивість ґрунтоцементу, а метод визначення проникності може бути використано при проведенні контролю якості тіла протифільтраційних завіс, виготовлених за бурозмішувальною технологією.

#### Література

1. Водонепроникні заповни з ґрунтоцементу, який виготовляється за бурозмішувальною технологією / М.Л. Зоценко, І.І. Ларцева, О.В. Петраш, В.Г. Іванченко, І.М. Сухоросов // Проблеми водопостачання, водовідведення та гідравліки: науково-технічний збірник. Випуск 17. – К.: КНУБА, 2011. – С. 39 – 46.
2. Укрепленные грунты / В.М. Безрук, И.Л. Гулячков, Т.М. Луканина, Р.А. Агапова. – М.: Транспорт, 1982. – 340 с.
3. Виленкина, Н.М. Цементно-грунтовые камни / Н.М. Виленкина. – М.: Госстройиздат, 1961. – 84 с.

4. Біда, С.В. Протифільтраційна завіса з ґрунтоцементних елементів як захід боротьби з підтопленням / С.В. Біда, І.І. Ларцева, М.В. Петруняк // Збірник наукових праць (галузеве машинобудування, будівництво). – Полтава: ПолтНТУ, 2010.– Вип. 3 (28). – С. 43 – 48.

5. ГОСТ 26450.2-85. Породы горные. Метод определения абсолютной газопроницаемости при стационарной и нестационарной фильтрации. – М.: Изд-во стандартов, 1985. – 8 с.

6. Петруняк, М.В. Методика виготовлення та дослідження ґрунтоцементу в лабораторних умовах / М.В. Петруняк // Збірник наукових праць (галузеве машинобудування, будівництво). – Полтава: ПолтНТУ, 2012. – Вип. 4 (34). Т.2. – С. 29 – 34.

Надійшла до редакції 17.10.2013  
© І.І. Ларцева, М.В. Петруняк, К.А. Тимофєєва