

**БУДІВЕЛЬНІ МАТЕРІАЛИ ТА ВИРОБИ**

УДК 504.054

**А. Ф. Петровський****О. О. Борисов****І. М. Бабій****РЕЗУЛЬТАТИ ЕКСПЕРИМЕНТІВ З ПІДБОРУ  
ІН'ЄКЦІЙНОГО РОЗЧИНУ НА ОСНОВІ  
БЕНТОНІТОВОГО ПОРОШКУ**

Одеська державна академія будівництва та архітектури

*Робота присвячена вивченню технологічних параметрів, що впливають на якість протифільтраційного екрану. Важливим показником при плануванні ін'єкційних робіт є як гранулометричний склад ґрунтів, так і сам склад ін'єкційного розчину. Проведено дослідження такої характеристики як коефіцієнт фільтрації.*

**Ключові слова:** захист підземного простору, горизонтальний екран, ін'єкційна технологія, бентонітова глина, коефіцієнт фільтрації.

**Вступ**

Завдання локалізації джерел забруднення ґрунтів, запобігання поширенню техногенних стоків і підтоплення територій сьогодні вирішуються із застосуванням технологій влаштування вертикальних протифільтраційних завіс, які, для забезпечення ефективної роботи, повинні бути, як правило, заглиблені в водотривкі шари ґрунтів. Вимоги до таких технологій і екранів досить широко представлені в нормативних документах [1]. У той же час, за відсутності водоупора або його розташуванні на практично недосяжній глибині, для запобігання поширенню забруднених стоків потрібно влаштування штучного горизонтального водоупора, а саме протифільтраційного екрану в ґрунті під існуючим джерелом забруднення. В даний час конструктивно-технологічні вимоги до технології влаштування горизонтальних протифільтраційних екранів під існуючими спорудами відсутні в нормативних документах і рекомендаціях, а можливість застосування таких технологій не обґрунтована системними дослідженнями [2-4].

**Постановка загальної проблеми.** Важливим показником при плануванні ін'єкційних робіт є як гранулометричний склад ґрунтів, так і сам склад ін'єкційного розчину. Ідеальним випадком ін'єкції є дотримання оптимального співвідношення між розмірами частинок розчину і ін'єктуємого середовища. Це співвідношення відповідає повному просочуванню середовища. На сьогоднішній день в області будівельних технологій відомі класичні методи закріплення ґрунтів із застосуванням процесу ін'єкції [3-5]. Це може бути цементація або силікатизація із застосуванням різних хімічних складів. Виконання робіт за такими технологіями відрізняється від тієї, що розроблено нами. Однак слід зазначити, що фізико-механічні властивості отриманих ґрунтоцементних або ґрунтосилікатних елементів мають приблизно однакові характеристики. В силу того, що нами запропонована інноваційна технологія влаштування протифільтраційних екранів, особливу увагу необхідно приділити експлуатаційним і фізико-механічним властивостям композитним елементам, що отримані в результаті ін'єкції. Це викликано тим, що запропонована технологія передбачає маловивчені технологічні рішення, застосування яких в кінцевому підсумку повинні привести до отримання протифільтраційних екранів із заданими властивостями.

Дійсне дослідження спрямоване на розробку технології влаштування протифільтраційних екранів, в тих випадках, коли відсутній або знаходиться на великій глибині природний шар водоупора. Результати даного дослідження є актуальними тому вирішують важливу екологічну і соціальну проблему захисту підземного простору і ґрунтових вод від різного роду забруднень.

**Мета та завдання досліджень.** Метою даного дослідження є вивчення властивостей

отриманого композитного протифільтраційного екрану. Такі конструкції повинні мативизначні фізико-механічні властивості. У даній роботі представляло інтерес вивчити водопроникність екрану по такій характеристиці його як коефіцієнт фільтрації. Завдання, які необхідно вирішити для досягнення поставленої мети такі: підбір і визначення рецептурного складу, а також варіювання технологічних режимів ін'єкції.

### Результати досліджень

Для реалізації завдань дослідження необхідно було визначити оптимальний склад ін'єкційного розчину. У якості складових розчину було обрано такі компоненти: бентонітовий порошок; портландцемент; гідросилікат натрію.

В силу того, що значення концентрації бентоніту в кожній пробі розчину залишалося незмінним – на рівні 70 г/л, то в якості варіюваних факторів були прийняті: концентрація портландцементу ( $x_1$ ) і концентрація гідросилікату натрію ( $x_2$ ). Показником якісного складу було обрано коефіцієнт фільтрації проб. При виконанні експериментів для кожного рядку плану вимірювалася в'язкістьотриманого розчину. На основі двухфакторної моделі експерименту другого ступеня та результатів проведених експериментальних досліджень була складена матриця експериментів, яка наведена в табл. 1.

Таблиця 1

Матриця експериментів щодо підбору оптимального складу ін'єкційного розчину

Вміст в'язучих у розчині, г/л.			Значення факторів		Вязкість, сек.	Коефіцієнт фільтрації, м/добу.
Бентоніт	Портландцемент	Гідросилікат натрію	$X_1$	$X_2$		
1	2	3	4	5	6	7
70	0	0	-1	-1	43,86	0,2325
70	0	5	-1	0	44,51	0,1860
70	0	10	-1	1	46,76	1,0743
70	70	0	0	-1	43,72	0,2232
70	70	5	0	0	44,40	0,2059
70	70	10	0	1	46,63	0,8800
70	140	0	1	-1	42,43	0,2573
70	140	5	1	0	45,70	0,1741
70	140	10	1	1	52,30	1,5715

В результаті розрахунку отримана експериментально-статистична модель (1) (похибкаексперименту $S_3=0,089$ ) та отримані її екстремуми:  $Y_{\min}=0.098$  (при  $x_1=-0.094$  и  $x_2=-0.399$ ) и  $Y_{\max}=1.445$  (при  $x_1=+1$  и  $x_2=+1$ ):

$$K_{\Phi} = 0,091 \pm 0x_1 + 0,201 x_1^2 + 0,118 x_1x_2 + 0,469 x_2 + 0,573 x_2^2, \text{ (м/дїб)} \quad (1)$$

Графічне зображення моделі наведено на рис.1.

Розглянемо ранжування впливу двох факторів на показник.Відзначимо високий вплив концентрації гідросилікату натрію на коефіцієнт фільтрації як в зоні максимуму, так і в зоні мінімуму. При цьому вплив концентрації портландцементу в розчині значно нижче, і так само 21% в зоні мінімуму, яка є більш значущою в рамках цього дослідження.

На рис. 2 показані однофакторні залежності коефіцієнта фільтрації від концентрації портландцементу і гідросилікату натрію.У зоні максимуму пік кривої впливу концентрації портландцементу знаходиться в районі  $X_1 = -0,5$ , що відповідає натурному значенням 35 г/л. У зоні мінімуму пік зміщений у бік збільшення концентрації і дорівнює  $X_1 = -0,1$ , що відповідає натурному значенням 63 г/л. Відзначимо, що додавання портландцементу знизило значення коефіцієнта фільтрації в 2,5 рази в зоні мінімуму.

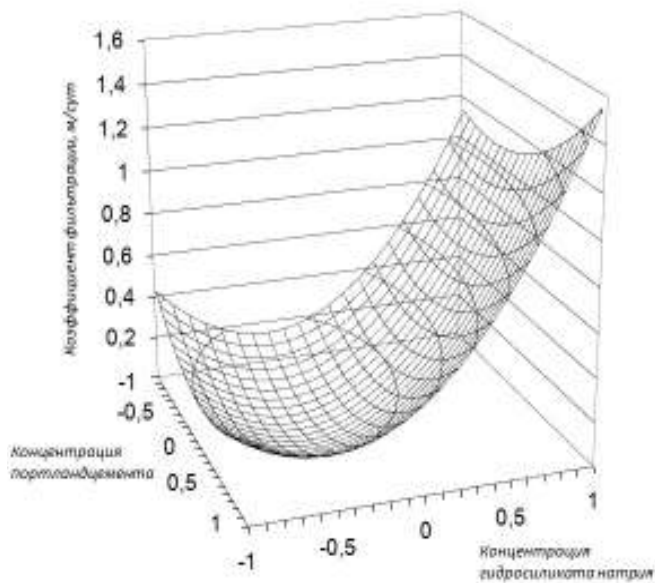


Рис. 1. Графічна інтерпретація моделі в Excel

Характер кривої впливу фактору  $x_2$  на показник, практично, ідентичний як в зоні максимуму, так і в зоні мінімуму. Піки цих кривих знаходяться в межах  $x_2 = (-0,5; -0,3)$ , що відповідає концентрації гідросилікату натрію 2,5-3,5 г/л. Слід зауважити, що на даному малюнку ясно видно причину високого рангу впливу фактору  $x_2$  на показник: перевищення концентрації гідросилікату натрію призвело до значного збільшення значення коефіцієнта фільтрації, що, безсумнівно, є негативним ефектом. З фізичної точки зору даний ефект можна пояснити наступним чином: додавання великої щодо концентрації портландцементу кількості гідросилікату натрію (до 7,5%) призвело до впорядкування структури отриманої проби і підвищення її міцності, однак погіршило її водонепроникні властивості.

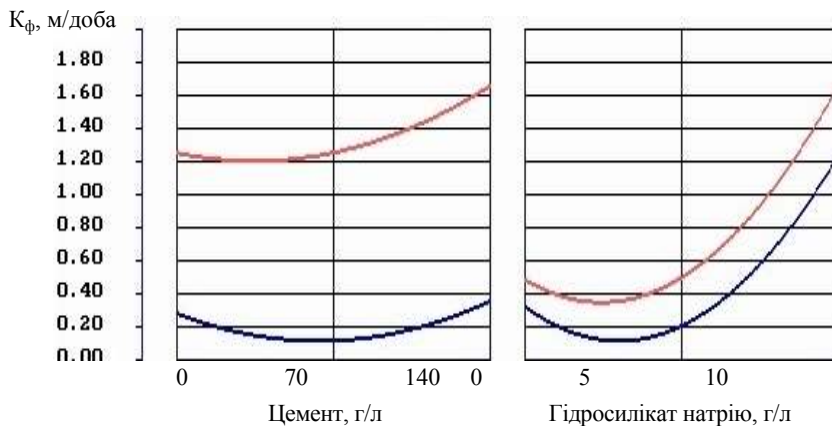


Рис. 2. Графік впливу факторів на коефіцієнт фільтрації в зоні максимуму і мінімуму

Встановлено, що мінімальне значення коефіцієнта фільтрації, рівне 0,098 м/добу, спостерігається при  $x_1 = -0,09$ ;  $x_2 = -0,4$ , що відповідає концентрації портландцементу 63 г/л., а гідросилікату натрію 3 г/л. Максимальне значення коефіцієнту фільтрації згідно з отриманою ЕС-моделлю знаходиться в точці  $x_1 = +1$ ;  $x_2 = +1$ , що відповідає концентрації портландцементу в в'язучій суспензії 140 г/л., а гідросилікату натрію 10 г/л.

При додаванні в розчин, що містить 70 г/л бентонітового порошку в натурних показниках, концентрації портландцементу, що дорівнює 77 г/л., коефіцієнт фільтрації, наприклад, можна знизити в 2,17 рази (з 0,4357 до 0,2004 м/добу). При додаванні концентрації гідросилікату натрію, що дорівнює 3,5 г/л коефіцієнт фільтрації, наприклад можна знизити в 2,72 рази (з 0,4357 до 0,16 м/добу). Додавання оптимальної концентрації портландцементу і гідросилікату натрію (в натурних показниках: 63 г/л і 3 г/л, відповідно) дозволяє знизити коефіцієнт фільтрації в 4,45 рази (з 0,4357 до 0,098 м/добу).

На підставі даних співвідношень можна зробити висновок, що застосування портландцементу і гідросилікату натрію є виправданим в ін'єкційних розчинах, що застосовуються для створення протифільтраційних захисних екранів. При цьому, слід зазначити, що міра їх спільного впливу значно вище, ніж окремо.

### Висновки

- Складена матриця експерименту, на підставі якої була отримана експериментально-статистична модель і графічна інтерпретація досліджуваних залежностей.

- Вивчено залежності між досліджуваним показником і змінними факторами і знайдений оптимум концентрації запропонованих компонентів: - концентрація портландцементу в ін'єкційному розчині - параболічна залежність показника від фактору з незначним вираженням з інженерної точки зору оптимумом в зоні  $x_1 = (-0,5; 0)$ ; - концентрація гідросилікату натрію в ін'єкційному розчині – параболічна залежність показника від фактору з вираженням оптимумом в зоні  $x_2 = (-0,5; -0,3)$ .
- Експериментально-статистичне моделювання з дослідження технологічних режимів ін'єкції дозволило з високою достовірністю визначити залежності значень показника від варійованих факторів.

### СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Пособие по проектированию полигонов по обезвреживанию и захоронению токсичных промышленных отходов (к СНиП 2.01.28–85). – М.: ЦИТП Госстроя СССР, 1990. – 48 с.
2. Бунтман А.Д. Об использовании противодиффузионных завес для защиты котлованов от притока грунтовых вод / А.Д. Бунтман // Энергетическое строительство. – 1978. – № 2. – С. 86-87.
3. Пат. 2015248 С1 Российская Федерация, МПК5 Е 02 D 3/12. Способ создания противодиффузионной завесы в лессовом грунте / В. И. Осипов, С. Д. Филимонов, Б. Н. Мельников, Е. В. Кайль ; заявл. 27.12.91 ; опубл. 30.06.94.
4. Пат. 2206663 С1 Российская Федерация, МПК7 Е 02 D 5/56, 5/20, 7/22. Способ возведения ограждающей противодиффузионной инженерно-защитной конструкции (варианты) / А.Н. Басиев, М.В. Зелов, А.Г. Икусов; заявл. 21.12.2001 ; опубл. 20.06.2003.
5. Бойко Г.А. Применение тонких противодиффузионных диафрагм в условиях Белоруссии. Строительство и архитектура Белоруссии / Г.А. Бойко, Г.Г. Азбель, Г.Н. Никольская. – 1980. – № 4. – С. 31.

**Петровський Анатолій Францевич** – к.т.н., професор, професор кафедри технології будівельного виробництва; Одеська державна академія будівництва та архітектури.

**Борисов Олександр Олександрович** – к.т.н., доцент, доцент кафедри технології будівельного виробництва; Одеська державна академія будівництва та архітектури.

**Бабій Ігор Миколайович** – к.т.н., доцент, доцент кафедри технології будівельного виробництва; Одеська державна академія будівництва та архітектури.

**A. Petrovskiy**

**A. Borisov**

**I. Babij**

## EXPERIMENTAL RESULTS ON SELECTION OF INJECT SOLUTIONS BASED ON BENTONITE POWDER

Odessa State Academy of Construction and Architecture

*This work is devoted to the study of process parameters influencing the quality of the impervious screen. An important indicator in the planning of injection works is a particle size distribution of the soil and the very composition of injection. The study of such characteristics as the filter coefficient.*

**Keywords:** protection of underground space, horizontal screen, injection technology, bentonite, filtration coefficient.

**Petrovskiy Anatoly** – Professor, Professor Department of Technology of building production; Odessa State Academy of Construction and Architecture.

**Borisov Aleksander** – Associate professor, assistant professor of Technology of building production; Odessa State Academy of Construction and Architecture.

**Babij Igor** – Associate professor, assistant professor of Technology of building production; Odessa State Academy of Construction and Architecture.

**А. Ф. Петровский**

**А. А. Борисов**

**И. Н. Бабий**

## **РЕЗУЛЬТАТЫ ЭКСПЕРИМЕНТОВ ПО ПОДБОРУ ИНЪЕКЦИОННОГО РАСТВОРА НА ОСНОВЕ БЕНТОНитОВОГО ПОРОШКА**

Одесская государственная академия строительства и архитектуры

*Данная работа посвящена изучению технологических параметров влияющих на качество получаемого противofильтрационного экрана. Важным показателем при планировании инъекционных работ является как гранулометрический состав грунтов, так и сам состав инъекционного раствора. Проведено исследование такой характеристики как коэффициент фильтрации.*

**Ключевые слова:** защита подземного пространства, горизонтальный экран, инъекционная технология, бентонитовая глина, коэффициент фильтрации.

**Петровский Анатолий Францевич** – к.т.н., профессор, професор кафедры технологи строительного производства; Одесская государственная академия строительства и архитектуры.

**Борисов Александр Александрович** – к.т.н., доцент, доцент кафедры технологи строительного производства; Одесская государственная академия строительства и архитектуры.

**Бабий Игорь Николаевич** – к.т.н., доцент, доцент кафедры технологи строительного производства; Одесская государственная академия строительства и архитектуры.