

УДК 69.001.5; 624.1

Петровський А. Ф., к.т.н., проф.  
ОДАБА, м. Одеса**ОПТИМІЗАЦІЯ ЗНАЧЕННЯ КОЕФІЦІЄНТА  
ФІЛЬТРАЦІЇ ЗАХИСНОГО ЕКРАНУ  
ВЛАШТОВАННОГО ПО ІН'ЕКЦІЙНІЙ  
ТЕХНОЛОГІЇ**

У роботі приведено аналіз результатів досліджень процесу створення протифільтраційних екранів по ін'екційній технології. Використано регресивні моделі, реалізовані в програмному продукті «Сотрех». Визначено технологічні режими ін'ектування при влаштуванні захисних екранів за допомогою горизонтально-спрямованого буріння, при яких досягається оптимум коефіцієнта фільтрації.

**КЛЮЧОВІ СЛОВА:** протифільтраційні захисні екрани, горизонтально-спрямоване буріння, бентоніт, коефіцієнт фільтрації, експериментально-статистичне моделювання.

**Постановка проблеми.** Життєдіяльність людини зумовлює утворення великої кількості промислових і побутових відходів, в результаті чого відбувається зростаюче забруднення земної поверхні, гідрографічної середовища і атмосфери і, як наслідок, забруднення підземних вод. Боротьба із забрудненням підземних вод особливо актуальна на територіях міст, де в силу високої концентрації населення, промисловості, транспорту і комунального господарства воно відбувається особливо інтенсивно [1].

Безсумнівно, одним з найважливіших забруднювачів підземних вод є радіоактивне зараження. Територія з сильним радіоактивним забрудненням ґрунту становить 8,4 млн. Га і охоплює 32 райони шести областей України. Особливою проблемою можна позначити поховання різних відходів і будівельного сміття після аварії на Чорнобильській АЕС [2, 3].

Огляд даного питання показав, що за

масштабами впливу і необхідним фінансовим і технічним ресурсам, провідне місце займає локалізація забруднень і зниження емісій радіоактивних речовин в навколишнє середовище. Були запропоновані численні способи влаштування протифільтраційних екранів, проте їх аналіз показав низьку економічну та екологічну ефективність [4,5]. Отже, розробка нового інноваційного способу захисту підземного простору по ін'екційній технології є актуальним завданням.

**Аналіз останніх досліджень.**

Результати аналізу відомих джерел по темі дослідження дозволили зробити висновок, що існуючі способи влаштування протифільтраційних завес є неефективними для локалізації радіоактивних відходів [6-8]. Останнім часом були зроблені спроби розробити ефективну технологію таких робіт, проте використання горизонтально направленої буріння для влаштування захисних підземних екранів може бути більш перспективним з економічної або технологічної точки зору.

**Метою** дослідження є визначення оптимальних технологічних параметрів ін'ектування протифільтраційного розчину для утворення захисного екрану шляхом побудови і аналізу експериментально-статистичних залежностей коефіцієнта фільтрації від досліджуваних факторів. Відповідно до мети були сформульовані наступні завдання дослідження:

1. Провести лабораторні дослідження пристрою захисного екрану способом горизонтально направленої буріння з варіюванням технологічних параметрів ін'екції протифільтраційного розчину.

2. Побудувати експериментально-статистичні залежності коефіцієнта фільтрації екрана від технологічних факторів шляхом регресійного аналізу результатів лабораторних досліджень за допомогою програмного продукту «Сотрех».

3. Визначити технологічні режими влаштування протифільтраційного екрану, при яких досягається оптимальне значення коефіцієнта фільтрації.

**Виклад основного матеріалу.**

При моделюванні процесу ін'ектування було запропоновано взяти за основу сучасну технологію горизонтально-

спрямованого буріння, яка дозволяє утворювати протифільтраційний горизонтальний екран під забрудненим об'єктом. Для цього виникла потреба створити лабораторний стенд, що моделює перпендикулярний до осі буріння перетин, в якому під впливом робочих параметрів ін'єкційний розчин поширюється на різну від місця введення розчину відстань. Виділяючи серединну частину перетину, можна отримати уявлення про характер зміни коефіцієнта фільтрації, як основного показника характеризуючого ефективність побудованого протифільтраційного екрана. На рис. 1 показана модель зони поширення ін'єкційного розчину в ґрунтовій товщі.

Так як основною властивістю протифільтраційного екрана є його гідрофобність, тобто здатність не пропускати підземні води, було вирішено використовувати основним показником таку фізичну характеристи-

ку ґрунту, як коефіцієнт фільтрації.

При моделюванні процесу ін'єктування запропоновано взяти за основу сучасну технологію горизонтально-спрямованого буріння, яка дозволяє утворювати протифільтраційний екран під забрудненим об'єктом. Для цього створено лабораторний стенд рис. 2, що моделює перпендикулярний до осі буріння перетин, в якому під впливом робочих параметрів ін'єкційний розчин поширюється на різну від місця введення відстань. Виділяючи серединну частину перетину, можна отримати уявлення про характер зміни коефіцієнта фільтрації. Дана конструкція лабораторної установки є другою, та модернізованою. Наявність компресора так бака для змішування, дозволяє контролювати такий параметр як тиск. Також секція труби складається з двох однакових частин загальною довжиною 3000 мм.

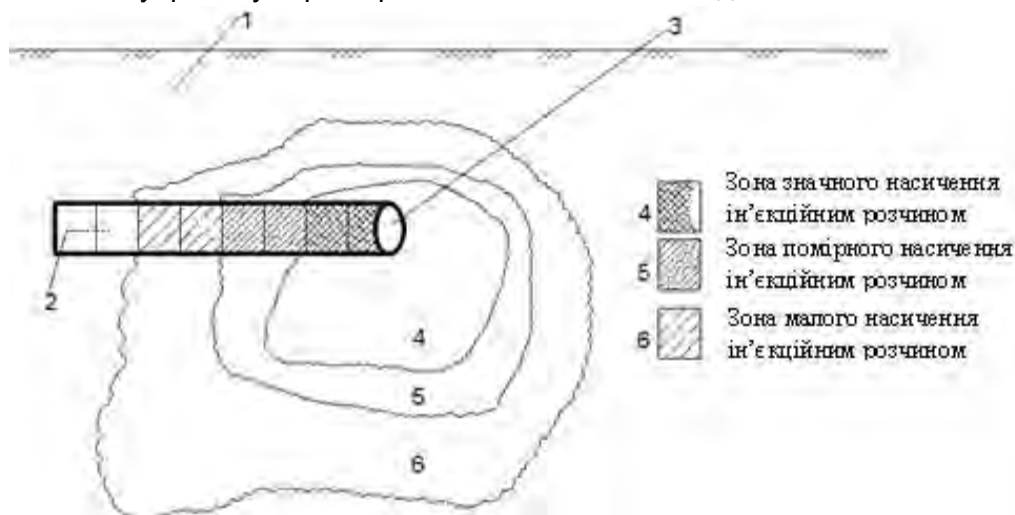


Рис. 1. Зони поширення ін'єкційного розчину в ґрунтовій товщі: 1 - товща ін'єкції, 2 - модельована лабораторним стендом ділянка товщі, 3 - свердловина горизонтального буріння, 4, 5, 6 - зони різного насичення розчином

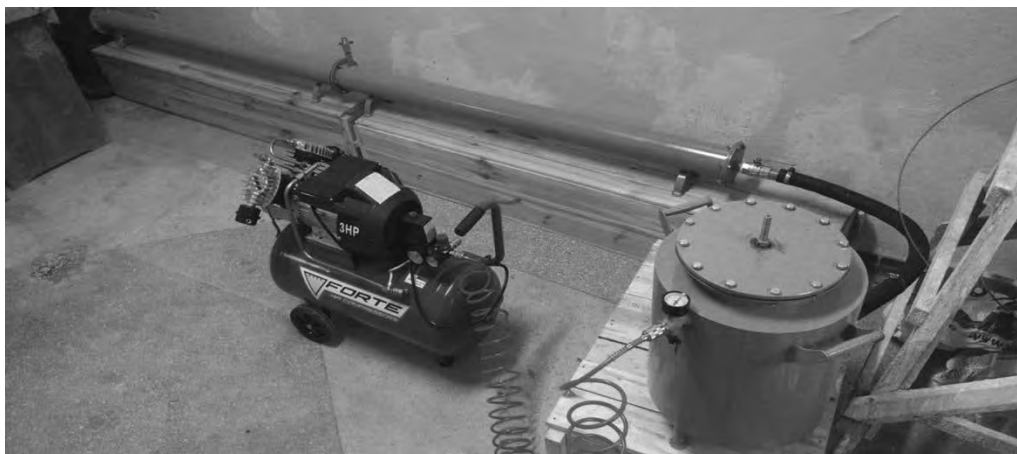


Рис. 2. Загальний вигляд лабораторного стенду

Для проведення експериментальних досліджень використана теорія планування експерименту. Відповідно до цієї теорії використаний 15-ти точковий план експериментальних досліджень. У ньому кожен з факторів змінюється на трьох різних рівнях. Вони умовно позначені (-1, 0 та +1).

Факторами, що надають найбільший вплив на досліджуваний показник, були визначені: концентрація бентоніту, тиск і тривалість ін'єкції.

$X_1$  - концентрація в складі розчину бентоніту, який надає піщаному ґрунту протифільтраційні властивості. Даний фактор є важливим, так як ґрунт основи перешкоджає проникненню розчину крізь ін'єкційну товщу. У зв'язку з цим концентрація розчину повинна бути достатньою, щоб утворився екран, що володіє максимальною протифільтраційною здатністю. Однак, існує фактор, що лімітує - в'язкість ін'єкційного розчину, який впливає на проникнення матеріалу в проміжки між дисперсними частинками піщаного ґрунту. Згідно розглянутих джерел [9], допустима в'язкість для глинистих і глиноцементних розчинів знаходиться в межах 26 - 43 с. для в'язкості, яка визначається віскозиметром «Воронка Маршу», об'ємом 1000 мл.

$X_2$  - тиск нагнітання (подачі) розчину в ґрунт основи. Тиск нагнітання впливає на дальність поширення складу ін'єкції в товщі ґрунту. Даний фактор є дуже важливим в економічному аспекті, так як сучасні промислові насоси дозволяють досягти значень тиску понад 100 атм. При цьому дозволяючи збільшити відстані між свердловинами, що здешевлює проект.

$X_3$  - час ін'єктування. Фактор тривалості дозволяє встановити пряму пропорційну залежність між часом ін'єкції і концентрацією діючих речовин розчину в розглянутій товщі, що впливає на протифільтраційні властивості ґрунту.

Таким чином, в роботі прийняті наступні чинники і рівні їх варіювання:

- Кількість бентонітового порошку ( $X_1$ ) -  $(40 \pm 30)$  г/л;
- Тиск ( $X_2$ ) - (2,3,5) атм.;
- Час ін'єкції ( $X_3$ ) -  $(60 \pm 50)$  хв.

При експериментальних дослідженнях був використаний лабораторний стенд, що

моделює поширення розчину в розглянутій товщі ґрунту. Під впливом змінних комбінацій технологічних параметрів розчин утворює модель захисного екрану з різною протифільтраційною здатністю на різновіддалені від місця введення складу відстані.

Заміряючи значення коефіцієнта фільтрації в певному перетині труби, можна визначити залежність протифільтраційних властивостей від використовуваних параметрів.

Обробка отриманих в ході експериментальних досліджень результатів проведена способом регресійного аналізу за допомогою сучасного програмного продукту «Comrex» [10-12]. За результатами цього аналізу була побудована експериментально-статистична модель залежності коефіцієнта фільтрації від технологічних параметрів пристрою захисного екрану (форм. 1).

За результатами аналізу залежності (форм. 1) можна зробити висновок, що вплив фактора «час ін'єктування» несуттєво в інженерному сенсі.

Розглянемо рис. 3. На ньому показано ранжування по низхідній значень коефіцієнта фільтрації, отриманих в результаті лабораторних досліджень. За допомогою такого ранжирування можна проаналізувати, які умови є найбільш оптимальними для отримання низьких значень коефіцієнта фільтрації в умовах лабораторного стенду.

Відзначимо, що згідно з оптимізованим планом, було проведено 5 експериментів, що містять значення концентрації бентоніту в розчині на рівні 40 г/л. При цьому більшість з них було проведено при робочих тисках, рівних  $X_2 = (-1; -0,33 (3))$ . Дані експерименти показали значення коефіцієнта фільтрації на найнижчому рівні. Також низькими значеннями коефіцієнта фільтрації відрізняються експерименти, в яких були використані комбінації низької концентрації розчину (тобто його низькою в'язкості) і високого тиску щодо меж факторного простору. Експерименти, в яких використовувався розчин високої в'язкості і малий тиск подачі, показали значення коефіцієнта фільтрації дещо вищий. Нарешті, найменш сприятливими виявилися комбінації високий вміст бентоніту в розчині і великого тиску; малого насичення розчину бентонітових порошком і малого тиску.

Невідповідності розстановки експериментів виявленим залежностям можна віднести на рахунок коригуючого впливу фактора  $X_3$  - часу ін'єктування.

На рис. 4 показано вплив концентрації бентоніту і тиску нагнітання на коефіцієнт фільтрації захисного екрану при фіксації часу нагнітання  $X_3 = 10$  хв. Такий рівень фактора  $X_3$  був обраний для виключення похибки при побудові залежності.

Аналіз графіка показує, що вплив концентрації бентоніту утворює залежність, близьку до параболічної. При цьому вплив тиску подачі розчину є обернено пропор-

ційним: зона мінімумів утворюється при найбільших значеннях тиску, зона максимумів - при найменших. У зоні мінімумів екстремум кривої спостерігається при значенні концентрації бентоніту  $X_2 = (-0,5; -0,4)$ , в зоні максимумів - при значенні  $X_2 = (+0,1; +0,2)$ . Таким чином, в разі короткочасної ін'єкції, при найбільшому тиску найбільш оптимальним слід визнати розчин концентрації 22-25 г/л., при найменшому - 43-46 г/л.. При цьому менш в'язкий розчин більш ефективний. Коефіцієнт фільтрації в даному разі відповідає 0,023 м/добу і 0,194 м/добу відповідно.

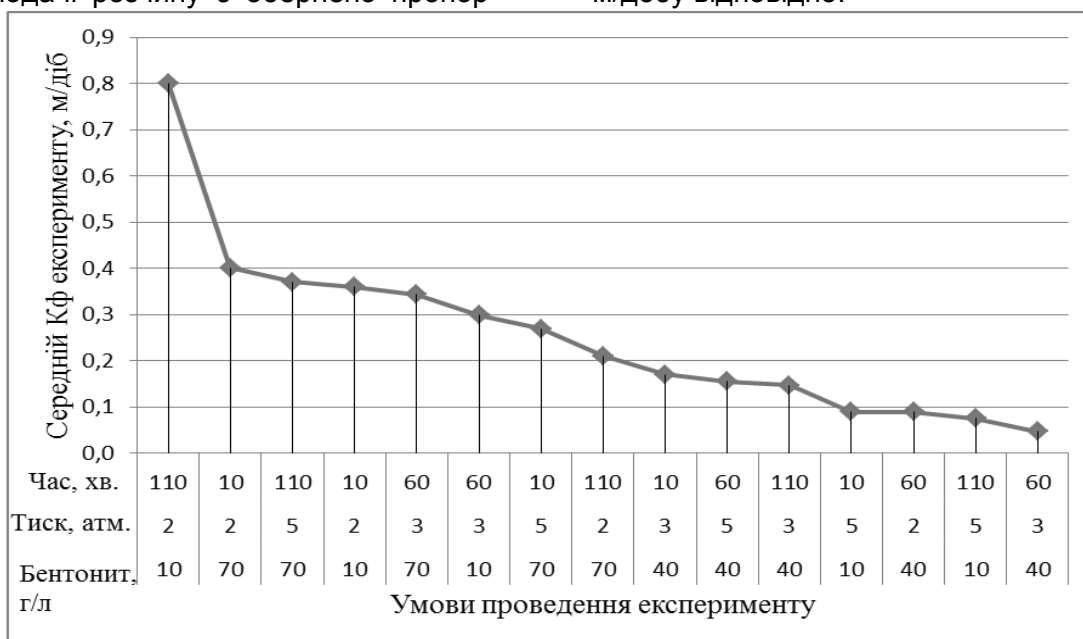


Рис. 3. Графік значень коефіцієнта фільтрації, усереднених по експериментам

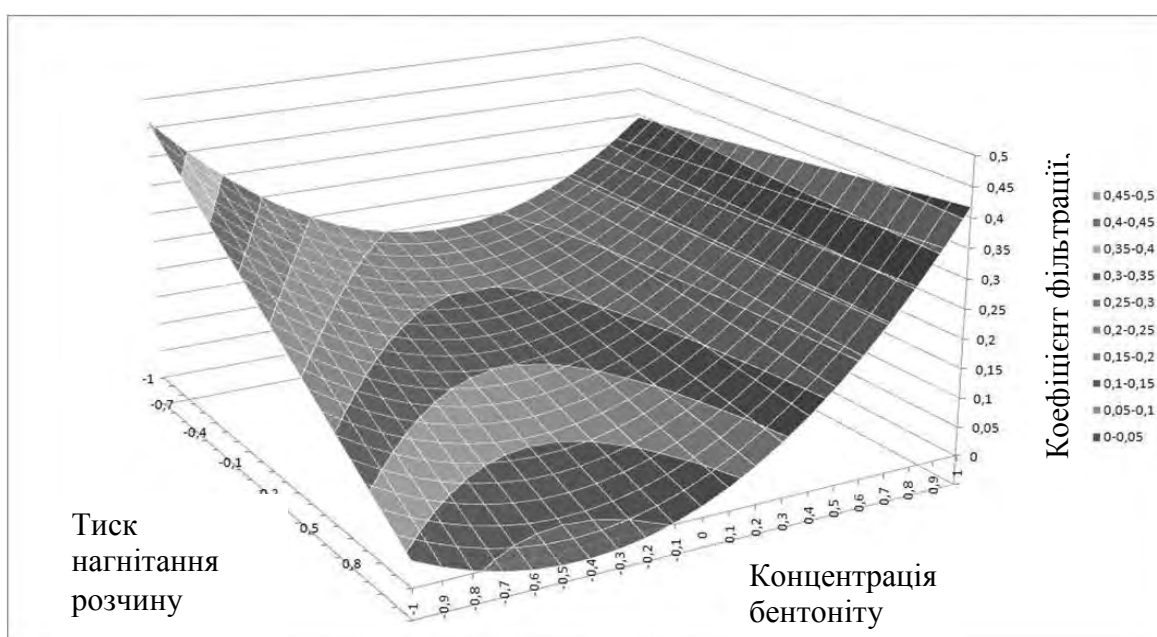


Рис. 4. Зміна коефіцієнта фільтрації захисного екрану під впливом концентрації бентоніту і тиску нагнітання при фіксації часу нагнітання  $X_3 = 10$  хв.

**Висновки.** 1. Проведені лабораторні дослідження дозволили визначити значення коефіцієнта фільтрації при різних рівнях технологічних факторів ін'єкування.

2. Побудовані шляхом регресійного аналізу експериментально-статистичні залежності дозволили визначити рівні технологічних факторів ін'єкування, при яких отримано оптимальний коефіцієнт фільтрації.

3. Оптимальне значення коефіцієнта фільтрації, рівне 0,023 м/добу, досягається при концентрації бентоніту, що дорівнює 22-25 г/л. і тиску подачі розчину на рівні 5 атм.

#### **СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ:**

1. Вальков В.Ф. Экология почв: Учебное пособие для студентов вузов. Часть 3. Загрязнение почв / В.Ф. Вальков, К.Ш. Казеев, С.И. Колесников – Ростов-на-Дону: УПЛ РГУ, 2004. – 54 с.

2. Чернобыльская катастрофа / НАН Украины; гл. ред. Барьяхтар В.Г. – К.: Наук. думка, 1995. – 560 с.

3. Чернобыль. Після аварійна програма будівництва. Монографія. – К.: "Іван Федорів", 1998. – 456 с.

4. Адамович А.Н. Закрепление грунтов и противofiltrационные завесы в гидроэнергетическом строительстве / А.Н. Адамович. – М.: Энергия, 1980. – 320 с.

5. Временные рекомендации по проектированию подземных сооружений с агрессивными и токсичными средами с учетом требований экологической безопасности. – М.: ЦБНТИ Минмонтажспецстрой СССР, 1991. – 80 с.

6. Пат. 2347034 С1 Российская Федерация, МПК Е 02 В 3/16. Способ защиты водных ресурсов с помощью горизонтальных (межпластовых) противofiltrационных завес и технология их сооружения / Ю.В. Пономаренко, А.А. Изотов, В.С. Кузькин, Н.А. Клименко; заявл. 30.07.2007; опубл. 20.02.2009, Бюл. № 5.

7. Пат. 2316068 С1 Российская Федерация, МПК G 21 F 9/20. Способ защиты природных вод от радиоактивных и токсичных веществ из хранилищ жидких отходов / Е.В. Захарова, Е.П. Каймин, Л.И. Констатинова, А.А. Зубков и др.; заявл. 16.03.2006; опубл. 27.01.2008, Бюл. № 3

8. Пат. 2211283 С1 РФ, МПК7 Е 02 D

5/56, 5/20, 7/22. Способ возведения противofiltrационной инженерно-защитной конструкции / А.Н. Басиев, М.В. Зелов, А.Г. Икусов; заявл. 21.12.2001; опубл. 27.08.2003.

9. Грунты. Лабораторні випробування. Загальні положення: ДСТУ Б В.2.1-3-96 (ГОСТ 30416-96).

10. Вознесенский В.А. Статистические методы планирования эксперимента в технико-экономических исследованиях / В.А. Вознесенский. – 2-ое изд. – М.: Финансы и статистика, 1981. – 263 с.

11. Вознесенский В.А. Численные методы решения строительно-технологических задач на ЭВМ / В.А. Вознесенский, Т.В. Ляшенко, Б.Л. Огарков. – К.: 1989. – 327 с.

12. Попов Ю.Д. Методи оптимізації / Ю.Д. Попов, В.І. Тюття, В.І. Шевченко // К.: Абрис, 1999. – 217 с.

#### **АННОТАЦИЯ**

*В работе проведен анализ результатов исследований процесса создания противofiltrационных экранов по иньекционной технологии. Используются регрессионные модели, реализованные в программном продукте «Сотрех». Определены технологические режимы иньекцирования при устройстве защитных экранов с помощью горизонтально-направленного бурения, при которых достигается оптимум коэффициента фильтрации.*

**КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА:** *противofiltrационные защитные экраны, горизонтально-направленное бурение, бентонит, коэффициент фильтрации, экспериментально-статистическое моделирование.*

#### **ANNOTATION**

*The paper analyzes the results of the research process for the creation of impervious screens injection technology. We used regression models, implemented in the software product «Complex». Defined process conditions at the injection device shields using horizontal directional drilling, which is achieved when the optimum filter coefficient.*

**KEYWORDS:** *impervious protective screens, horizontal directional drilling, bentonite, filtration coefficient, experimental and statistical modeling.*