

УДК 624.21.095

ДОСЛІДЖЕННЯ МІЦНОСТІ КОНСТРУКЦІЇ ВЕРТИКАЛЬНОГО ДРЕНАЖУ З ВИКОРИСТАННЯМ ГЕОТЕКСТИЛЮ

М. Г. БУГАЙ*, О. І. КРИВОНОГ* С. О. ДВОРНИК**

*Інститут гідромеханіки НАН України, Київ, **СП "Основа-Солсіф", Київ

Получено 20.06.2009

Наведено результати експериментальних досліджень міцності нової конструкції вертикального дренажу з використанням фільтра з волокнисто-пористого поліпропілену. Дренаж пропонується облаштувати у складі огорожі глибоких котлованів при будівництві високих будівель. Конструкція дренажу спирається на залізобетонні палі огорожі і складається з перфорованої ПВХ труби, обсыпки з щебеню або гальки та безшовного кожуха-фільтра з волокнистого поліпропілену. Досліджено фрагмент дренажу діаметром 500 мм, яка спирається на залізобетонні палі діаметром 800 мм в масштабі 1:1 при тиску на дренаж до 2 кг/см^2 , що відповідає максимальному тиску при глибині котловану до 22 м. Отримано конкретні рекомендації по конструкції та розташуванню дренажу, міцність якої буде забезпечена.

Приведены результаты экспериментальных исследований прочности новой конструкции вертикального дренажа с использованием фильтра из волокнисто-пористого полипропилена. Дренаж предлагается устроить в составе ограждения глубоких котлованов при строительстве высотных зданий. Конструкция дренажа опирается на железобетонные сваи ограждения и состоит из перфорированной ПВХ трубы, обсыпки из щебня или гальки и бесшовного кожуха-фильтра из волокнистого полипропилена. Исследован фрагмент дренажа диаметром 500 мм, которая опирается на железобетонные сваи диаметром 800 мм в масштабе 1:1 при давлении на дренаж до 2 кг/см^2 , что соответствует максимальному давлению при глубине котлована до 22 м. Получены конкретные рекомендации по конструкции и размещению дренажа, прочность которой будет обеспечена.

The outcomes of experimental studies of hardness of a new construction of vertical drain with usage of the screen from a fibrous-porous polypropylene are reduced. It is offered to arrange drain in makeup of a curbing of deep foundation pits at building altitude buildings. The construction drain rests on reinforced-concrete piles of a curbing and consists from perforated PVC of a tube, cushioning layer of breakstone or shingle and jointless housing-screen from a filamentary polypropylene. The piece drain a diameter of 500 mm is studied, which one rests on reinforced-concrete piles a diameter of 800 mm to scale 1:1 at stress on drain up to 2 kg/sm^2 , that will match to maximal stress at depth of foundation pit up to 22 m. The concrete guidelines on a construction and allocation drain are obtained, the hardness will be provided with which one.

ВСТУП

Останнім часом будівництво в містах України проводиться з максимальним використанням підземного простору для влаштування комплексів різного призначення, гаражів, паркінгів та ін. При цьому таке будівництво проводиться в межах забудованих територій поблизу старих будинків, архітектурних пам'яток, високих сусідніх будівель, тощо. Виїмки часто влаштовуються в підніжжі схилів, що впливає на стійкість прилеглих територій. Виїмки котлованів мають глибину до 15 і більше метрів, заглиблюються нижче рівня ґрунтових вод, змінюючи їхній режим і викликаючи значні зміни в напружено-деформованому стані будинків і споруд прилеглої забудови.

Огорожі котлованів у більшості споруджуються із залізобетонних паль діаметром 0.80 м з відстанню в осях через 1.0 – 1.2 м. Просвіт між палями заповнюється ґрунтоцементними палями (джетами). Дно котловану може дренажуватися по всій площі з організацією водовідливу. Виїмка котловану при цьому проводиться без попереднього водознижен-

ня. Вважається, що при наявності ґрунтових вод біля стінки, що огорожує котлован, дренажування буде відбуватися за рахунок нецільного примикання джетів до залізобетонних паль і додаткового перфорування ґрунтоцементних паль у процесі облицювання стінки котловану залізобетонними плитами. При цьому простір між плитою і залізобетонними палями заповнюється волокнистим фільтром, що притискається до поверхні паль і джетів спеціальними притисками. У дійсності при такій технології виникає проблема суфозійного виносу ґрунту в котлован.

Щоб покращити роботу огорожі котлованів, на наш погляд, будівництво необхідно вести з попереднім водозниженням. Для цього замість деяких джетів улаштувати дренаж з примусовим водовідливом на період будівництва котловану. В подальшому вертикальний дренаж з'єднати з пластовим дренажем дна котловану, а водовідлив відключити.

Кількість свердловин вертикального дренажу і розташування їх у плані визначається фільтраційним розрахунком у кожному конкретному випад-

ку з врахуванням геологічних і гідрогеологічних умов.

Простір між залізобетонними плитами облицювання і палями треба захистити волокнистим фільтром з полімерних волокон і заповнити гравієм або щебенем $d = 10 - 20$ мм (рис. 1).

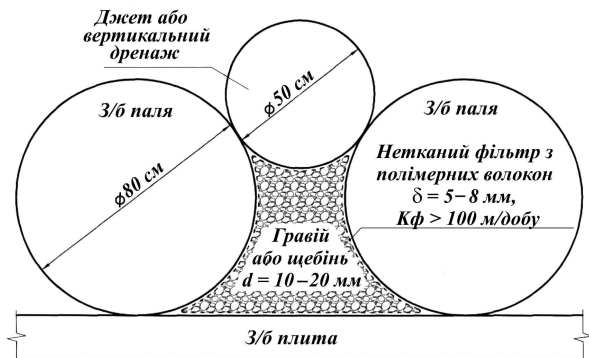


Рис. 1. Схема конструкції захисного фільтра між палями і джетами

1. КОНСТРУКЦІЯ ВЕРТИКАЛЬНОГО ДРЕНАЖУ

Досліджувались два типи конструкції фільтра вертикального дренажу: тип I і тип II.

Тип I – поперечний переріз фільтра вертикального дренажу складається з перфорованої пластмасової ПВХ труби зовнішнім діаметром 225 мм, товщиною стінки 10 мм, обсыпки з гравію або щебеню $d = 10 - 20$ мм і кожуха з волокнисто-пористого поліпропілену зовнішнім діаметром 50 см і товщиною $\delta = 10 - 15$ мм, діаметр елементарних волокон $d_{e.в} = 120 - 300$ мкм. Перфорація ПВХ труби – поздовжні щілини 8×15 мм через $10 - 15$ мм по периметру труби, ступінь перфорації – 20 %.

Тип II – поперечний переріз фільтра складається з перфорованої ПВХ труби діаметром 400 мм, товщиною стінки 15 мм, перфорація – отвори діаметром 20 мм, ступінь перфорації – 11.2 %. Фільтр – безшовний кожух з волокнисто-пористого поліпропілену товщиною ~ 20 мм. Фільтр двошаровий – зовнішній шар товщиною ~ 5 мм складається з волокон $d_{e.в} = 80 - 120$ мкм, внутрішній шар товщиною ~ 15 мм складається з волокон $d_{e.в} = 200 - 500$ мкм. Фільтр утворюється на поверхні труби в заводських умовах методом пневмоекструзії.

Мета досліджень – визначити міцність запропонованої конструкції дрени в залежності від відстані між залізобетонними палями, враховуючи

технологію будівництва котловану і максимально можливий тиск на дрена при будівництві котловану глибиною до 22 м.

Вважаємо, що вертикальний дренаж буде працювати як несучий елемент у складі конструкції огорожі котловану.

Тиск ґрунту на конструкцію елементів огорожі котлованів визначимо по залежності, яка наведена в [1]:

$$q_1 = \gamma h \xi = \gamma h \cdot tg^2 \left(45 - \frac{\varphi}{2} \right).$$

Тиск води визначимо за формулою

$$q_2 = \gamma_v h_v (1 - \psi \xi),$$

де $\xi = tg^2(45 - \varphi/2)$; h – глибина котловану; h_v – глибина ґрунтової води перед огорожею котловану; γ – щільність ґрунту; γ_v – щільність води; φ – кут внутрішнього тертя ґрунту; $\psi = 1 - n$; n – пористість ґрунту.

В таблиці 1 приведені результати розрахунку q_1 і q_2 для умов, коли котлован будується в піску при $\varphi = 30^\circ$, $n = 0.3$, $\gamma = 1.8$ т/м³.

Табл. 1. Результати розрахунку q_1 і q_2

h , м	q_1 , кг/см ²	h_v , м	q_2 , кг/см ²	$q_1 + q_2$, кг/см ²
5	0.30	5	0.38	0.68
7.5	0.45	7.5	0.57	1.02
10	0.61	10	0.70	1.31
15	0.91	15	1.15	2.06
20	1.20	20	1.53	2.73
25	1.48	25	1.92	3.40

На рис. 2 показано схему конструкції вертикального дренажу, який опирається на залізобетонні палі. Для цієї схеми (при $q = 0$) відстань між палями L і L_o можна визначити за залежностями, які отримані в результаті елементарних перетворень:

$$L = \frac{2(r_1 + r_2)(r_1 - \Delta)}{r_1},$$

$$L_o = L - 2r_1.$$

В таблиці 2 при $r_1 = 800 : 2 = 400$ мм і $r_2 = 500 : 2 = 250$ мм наведені значення L і L_o в залежності від Δ .

Відповідно технології будівництва котловану, можуть бути три розрахункові випадки для визначення міцності вертикального дренажу (рис. 3).

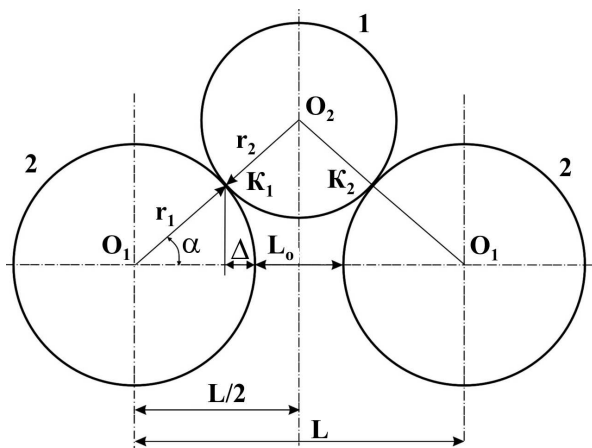


Рис. 2. Розрахункова схема для визначення Δ :
1 – вертикальний дренаж; 2 – залізобетонні паля

Табл. 2. Значення L і L_0 в залежності від Δ

Δ , мм	L , мм	L_0 , мм
30	1200	400
40	1170	370
50	1140	340
60	1110	310
70	1070	270
80	1040	240

З рис. 3 видно, що найбільш небезпечним для міцності конструкції дрени є випадок 2, коли нормальна робота дрени буде залежати не тільки від характеристик міцності кожуха, обсыпки та ПВХ труби, але й від Δ , яке зменшується при збільшенні q .

2. ТЕОРЕТИЧНІ ДОСЛІДЖЕННЯ. МОДЕЛЮВАННЯ РОБОТИ ДРЕНАЖУ З ВИКОРИСТАННЯМ ПЕОМ

Моделювання роботи дренажу в конструкції огорожі котловану виконано для нижньої частини котловану, де фільтр розташовано в межах шару піску. Боковий тиск ґрунту від ваги розташованих вище шарів задається у верхній частині моделі рівномірно-розподіленим навантаженням.

Дослідження роботи фільтру виконано для окремої частки – одного фільтру, який розташовано між двома буронабивними палями. Вид моделі з розбивкою на кінцеві елементи за програмою "Plaxis" показано на рис. 4.

Зовнішній діаметр фільтру прийнято 500 мм. Моделювання виконувалося для трьох відстаней L_0 між буронабивними палями – 300, 350 і 400 мм.

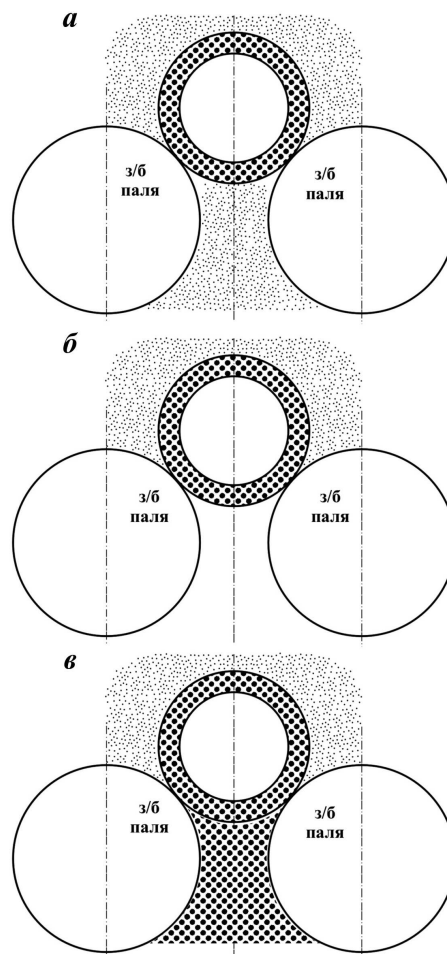


Рис. 3. Розрахункові випадки на міцність вертикального дренажу:
а – розрахунковий випадок 1; б – розрахунковий випадок 2;
в – розрахунковий випадок 3

На рисунках 5 – 8 наведені результати моделювання на ПЕОМ роботи фільтру, коли конструкція фільтру задавалась елементом *сітка (Grid)*. При такій постановці задачі пружно-деформований стан фільтру визначається більш коректно і віддзеркалює фізичну сутність роботи конструкції в ґрунті на контакт фільтр–паль. Розрахунки на ПЕОМ проведені для конструкції лотка, на якому виконувалося моделювання роботи фільтру у лабораторних умовах.

Результати моделювання наведені для навантаження, що передається ґрунтом на фільтр і дорівнює 200 кН/м^2 . При цьому на рисунках показані величини вертикальних деформацій, вертикальних і дотичних напруг у моделі, переміщень і зусиль у фільтрі та перфорованій трубі. Моделювання проводилося як для умов наявності ґрунту на ділянці між котлованом і фільтром, так і без ньо-

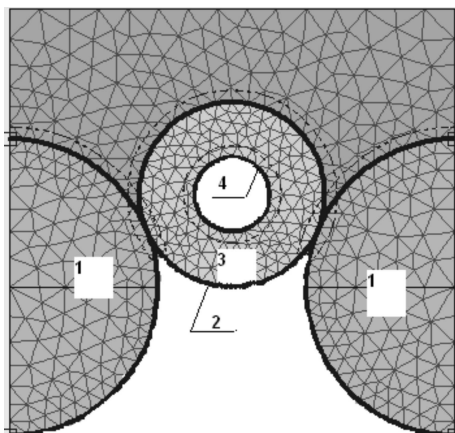


Рис. 4. Вид моделі фільтру:

1 – буронабивні палі; 2 – фільтрова оболонка з полімерних волокон; 3 – гравій діаметром 10 – 20 мм; 4 – перфорована труба з непластифікованого полівінілхлориду

го. Дані моделювання наведені вибірково. На рис. 5 – 8 представлені результати для випадку, коли облицювочна плита і ґрунт проміж фільтром і плитою відсутні.

Співставлення розрахункових і експериментальних величин проведено по даним переміщень. Значення величин, які вимірювались, і розрахованих на ПЕОМ різняться в межах 10 %.

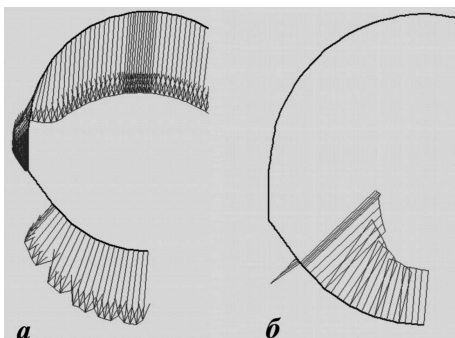


Рис. 5. Епюри вертикальних переміщень (а) і згинальних моментів (б) у дренажній трубі

3. ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНА УСТАНОВКА І МЕТОДИКА ДОСЛІДЖЕНЬ

Випробування на міцність конструкції дрени проводилось для фрагменту дрени довжиною 0.5 м в спеціальному ґрунтовому лотку $1 \times 1 \times 0.5$ м в масштабі 1:1, запроектваному і виготовленому у відділі гідродинаміки гідротехнічних споруд Інституту гідромеханіки НАН України.

На рис. 9 показано загальний вигляд установки

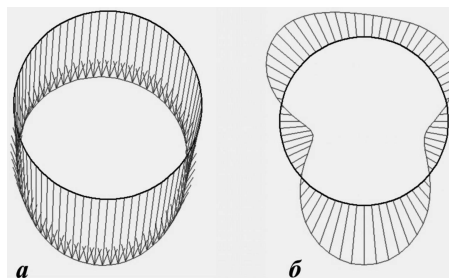


Рис. 6. Епюри вертикальних переміщень (а) і розтягуючих зусиль у фільтрі (б)

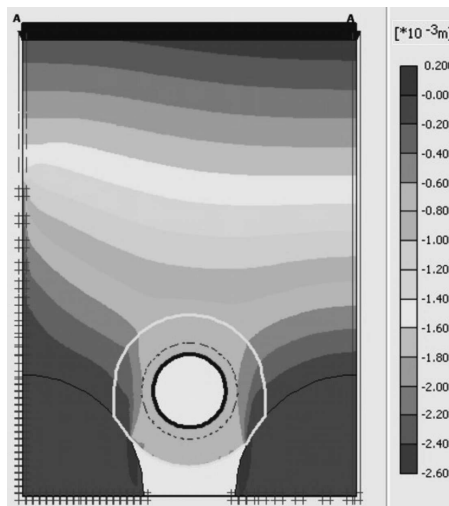


Рис. 7. Характер розподілу вертикальних переміщень у перерізі моделі

(а) та безшовний кожух експериментальних фільтрів (б), на рис. 10 – поперечний розріз моделі.

Одна з бокових сторін лотка зроблена з органічного скла товщиною 20 мм. На внутрішній стороні стінки з органічного скла нанесена координатна сітка. В середині перфорованої ПВХ труби вмонтовані індикатори переміщення Д1 і Д2.

Як ґрунт моделі використовували сухий пісок дрібнозернистий. Як обсыпку перфорованої ПВХ труби – керамзит фракції $d = 10-20$ мм (обкатані часточки) та щебінь $d = 10-20$ мм (гострокутні часточки). Тиск на ґрунт моделі змінювали від 0 до 2 kg/cm^2 , що відповідає максимальному тиску на фільтр вертикальної дрени на глибині 15 м при повному водонасиченні ґрунту.

Деформація поперечного перерізу моделі фіксувалась цифровою фотокамерою.

Досліди проводились для розрахункового випадку 2 і розрахункового випадку 3.

При обробці фотознімків фіксували такі величини (рис. 11):

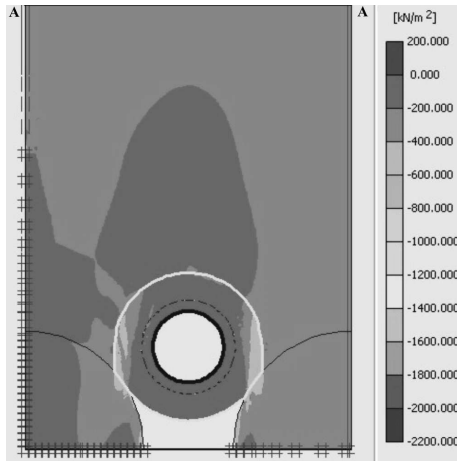


Рис. 8. Характер розподілу вертикальних напруг у перерізу моделі

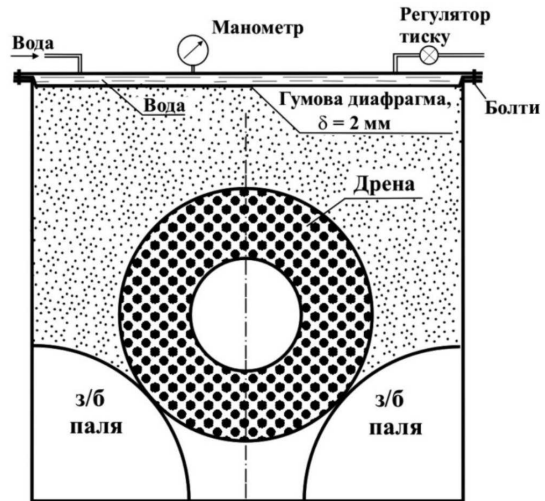


Рис. 10. Поперечний розріз моделі

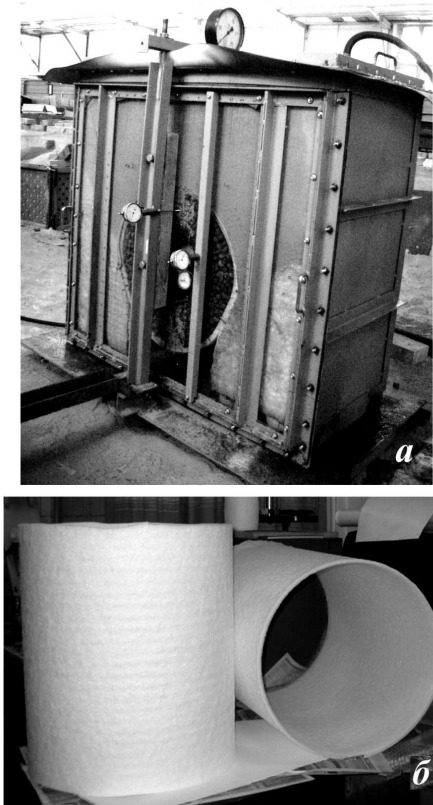


Рис. 9. Загальний вигляд установки (а) і безшовний кожух експериментальних фільтрів (б)

- діаметри D_x і D_y по внутрішньому контуру кожуха;
- діаметри D_1 і D_2 по внутрішньому контуру кожуха;
- діаметри d_x і d_y по внутрішньому контуру ПВХ труби;

- положення кожуха h_1 і ПВХ труби h_2 по зовнішньому контуру відносно лінії між центрами залізобетонних палей;
- значення Δ_1 і Δ_2 ;
- ширина смужки контактів K_1 і K_2 кожуха з поверхнею залізобетонної палі b_1 і b_2 ;
- довжина дуг по середній лінії кожуха $\cup K_1 A$, $\cup A K_2$ і $\cup K_1 B K_2$;
- зміщення кожуха S_1 і S_2 відносно контактів K_1 і K_2 на поверхні залізобетонних палей.

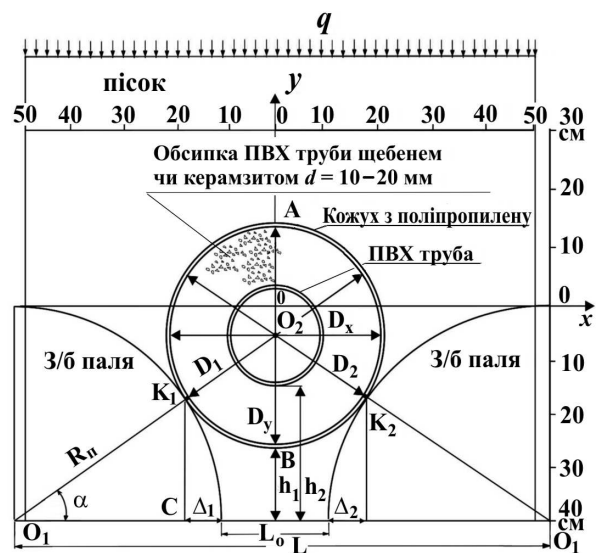


Рис. 11. Схема експериментальної установки

Зазначені вище параметри при зміні L_o і $q = 0 - 2 \text{ кг/см}^2$, а також візуальне обстеження кожуху і ПВХ труби після дослідів дозволяють зроби-

ти висновок про міцність кожуха і всієї конструкції вертикальної дрени.

4. РЕЗУЛЬТАТИ ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНИХ ДОСЛІДЖЕНЬ КОНСТРУКЦІЇ ВЕРТИКАЛЬНОГО ДРЕНАЖУ, ТИП І

На рис. 12 для прикладу розміщено фотографії поперечного перерізу дрени при $q = 0$ (а) і $q = 2 \text{ кг/см}^2$ (б) для дослідів № 26. З рис. 12 видно, що при збільшенні навантаження q кожух зміщується на S_1 і S_2 відносно контактів K_1 і K_2 на поверхні залізобетонних паль при $q = 0$.

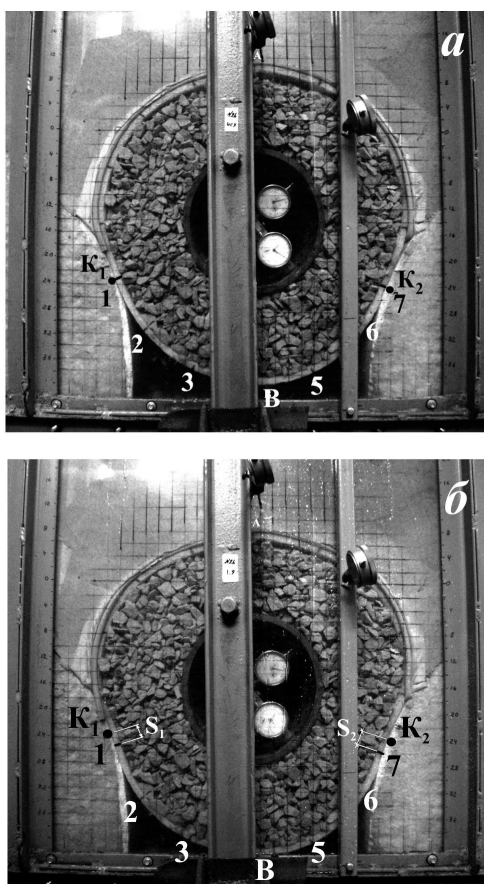


Рис. 12. Поперечний переріз дрени при $q = 0 \text{ кг/см}^2$ (а) і $q = 2.0 \text{ кг/см}^2$ (б)

Крім того, в досліді № 26 при $q = 0$ на кожусі і прилеглий частці щебеню була нанесена позначка 2. З рис. 12 (б) видно, що при $q = 2 \text{ кг/см}^2$ зміщення кожуха відносно захисного фільтру з щебеню не зафіксовано.

При зростанні q перфорована ПВХ труба деформується. При цьому змінюються d_x і d_y . Але, як показав аналіз методичних дослідів № 1 і № 2, ці де-

формації незначні і близькі до точності вимірювання лінійних розмірів на фотографіях ($\sim \pm 3 \text{ мм}$). Тому, починаючи з дослідів № 3, в ПВХ труби були вмонтовані датчики Д1 і Д2 для вимірювання деформації труби.

Досліди були проведені для двох розрахункових випадків 2 і 3, які виділені нами раніше. У випадку 2 простір між кожухом на ділянці між опорами K_1 і K_2 не заповнено захисним фільтром, у випадку 3 – заповнено захисним фільтром з щебеню або керамзиту. Досліди проведені при товщині кожуха $\delta = 10 \text{ мм}$ і $\delta = 15 \text{ мм}$.

Деформація перфорованої ПВХ труби

Під час збільшення навантаження на модель ПВХ труба деформується і переміщується в бік залізобетонних паль.

Для визначення переміщення ПВХ труби фіксувались величини h_2 .

На рис. 13 наведені експериментальні залежності $\Delta h_2 = f(q)$, де Δh_2 – зміна h_2 в порівнянні з h_2 при $q = 0$. Видно, що для розрахункового випадку 2 зміщення ПВХ труби більше, ніж для розрахункового випадку 3. Ці результати можуть бути використані при оцінці міцності конструкції дрени в цілому.

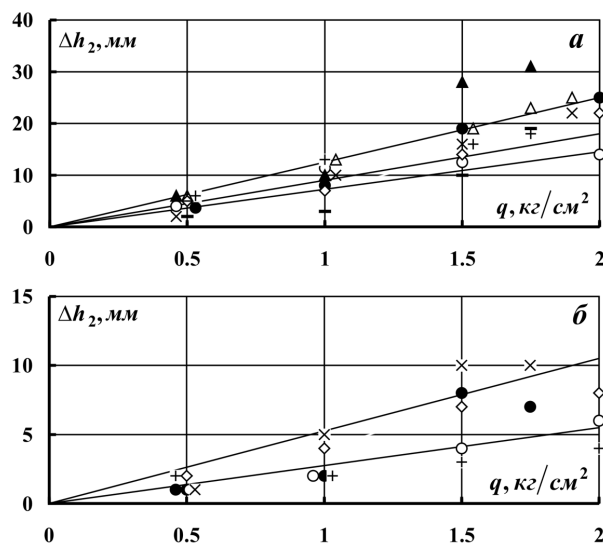


Рис. 13. Експериментальні залежності $\Delta h_2 = f(q)$ для розрахункових випадків 2 (а) і 3 (б) з обсіпкою ПВХ труби щебенем $d = 10 - 20 \text{ мм}$ при $\delta = 10 \text{ мм}$:

● – $L_0 = 300 \text{ мм}$, + – $L_0 = 320 \text{ мм}$,
× – $L_0 = 350 \text{ мм}$, △ – $L_0 = 370 \text{ мм}$;
та при $\delta = 15 \text{ мм}$: ○ – $L_0 = 300 \text{ мм}$, ◇ – $L_0 = 320 \text{ мм}$,
– – $L_0 = 350 \text{ мм}$, ▲ – $L_0 = 370 \text{ мм}$

Деформацію ПВХ труби в залежності від q і L_0 можна визначити, використовуючи експериментальні залежності $d_x = f(q)$ і $d_y = f(q)$ (рис.

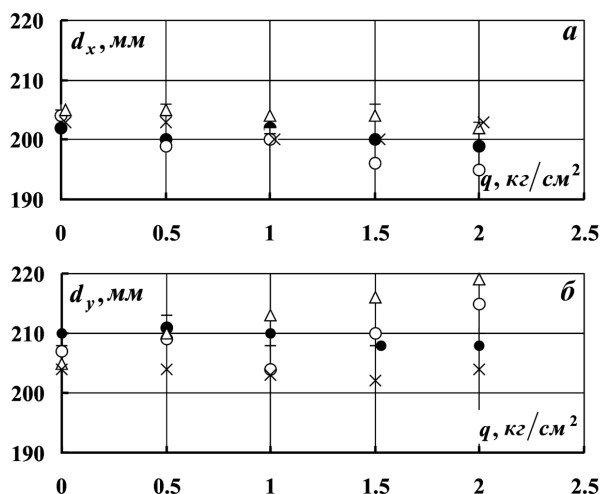


Рис. 14. Експериментальні залежності $d_x = f(q)$ (а) і $d_y = f(q)$ (б) для розрахункового випадку 2 з обсіпкою ПВХ труби щабелем і товщиною кожуха $\delta = 15$ мм:
 $\times - L_o = 260$ мм, $\bullet - L_o = 300$ мм, $+- L_o = 320$ мм,
 $\circ - L_o = 350$ мм, $\Delta - L_o = 370$ мм

14). З рис. 14 видно, що при збільшенні тиску d_x зменшується, а d_y збільшується.

Деформації ПВХ труби по d_x незначні і не перевищують 10 мм, а по d_y не перевищують 14 мм і при зовнішньому діаметрі труби 225 мм складають не більше 6.2 %, що допустимо для труб з пружно-пластичних матеріалів [2, 3].

Максимальні деформації ПВХ труби, зафіксовані датчиками, не перевищують 6 мм, тому деформації ПВХ труби по d_x і d_y (рис. 14) слід розглядати як максимально можливі.

При візуальному огляді труби після багаторазового використання її в дослідних ніяких ознак зруйнувань перемичок між щілинами перфорації не виявлено. Крім того, встановлено, що після розбирання моделі датчики переміщення повертаються до початкового положення. Це говорить про те, що ПВХ труба при $q \leq 2$ кг/см² працювала в пружній області.

Деформація кожуха з поліпропілену

При зростанні q вся дрена деформується і переміщується у напрямку до залізобетонних паль. При цьому зменшується h_1 .

На рис. 15 наведені експериментальні залежності $\Delta h_1 = f(q)$, де Δh_1 – зміна h_1 в порівнянні з h_1 при $q = 0$. Видно, що для розрахункових випадків 2 і 3 при $L_o = 300$ мм Δh_1 не більше 14 мм. При $L_o > 300$ мм для розрахункового випадку 3 h_1 змінюється мало, а для розрахункового випадку 2 при зростанні q і L_o величина Δh_1 може бути

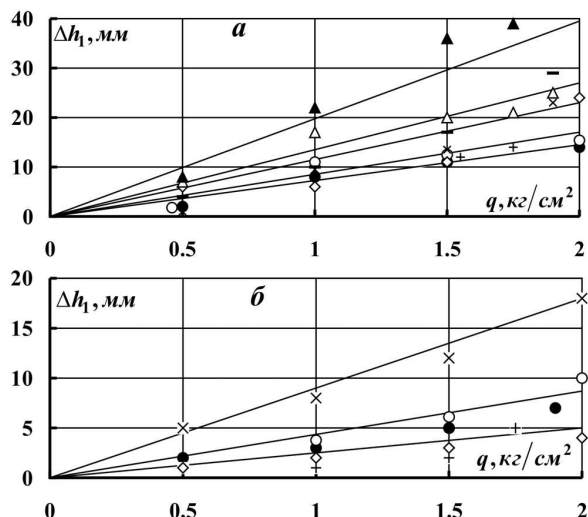


Рис. 15. Експериментальні залежності $\Delta h_1 = f(q)$ для розрахункових випадків 2 (а) і 3 (б) з обсіпкою ПВХ труби щабелем $d = 10 - 20$ мм при $\delta = 10$ мм:
 $\bullet - L_o = 300$ мм, $+- L_o = 320$ мм,
 $\times - L_o = 350$ мм, $\Delta - L_o = 370$ мм;
та при $\delta = 15$ мм: $\circ - L_o = 300$ мм, $\diamond - L_o = 320$ мм,
 $- - L_o = 350$ мм, $\blacktriangle - L_o = 370$ мм

значною аж до провалу між палями.

Довжина і форма кожуха при зростанні q постійно змінюється. На рис. 16 для прикладу наведені залежності $D_x = f(q)$ і $D_y = f(q)$ при $\delta = 15$ мм, обсіпка ПВХ труби – щабіль, випадок 2. З рис. 16 видно, що при зростанні q при $L_o = 260 - 350$ мм деформації кожуха незначні, а при $L_o = 370$ мм швидко зростають.

Для оцінки деформації кожуха (рис. 12, б) визначаємо коефіцієнт відносної деформації ϵ за такими залежностями:

для $\cup K_1 B K_2$

$$\epsilon = \frac{l - (S_1 + S_2) - l_o}{l_o}, \quad (1)$$

де l_o – довжина дуги $\cup K_1 B K_2$ при $q = 0$, l – довжина дуги $\cup K_1 B K_2$ при q ;

для $\cup K_1 A$

$$\epsilon = \frac{l + S_1 - l_o}{l_o}, \quad (2)$$

де l_o – довжина дуги $\cup K_1 A$ при $q = 0$, l – довжина дуги $\cup K_1 A$ при q ;

для $\cup A K_2$

$$\epsilon = \frac{l + S_2 - l_o}{l_o}, \quad (3)$$

де l_o – довжина дуги $\cup A K_2$ при $q = 0$, l – довжина дуги $\cup A K_2$ при q .

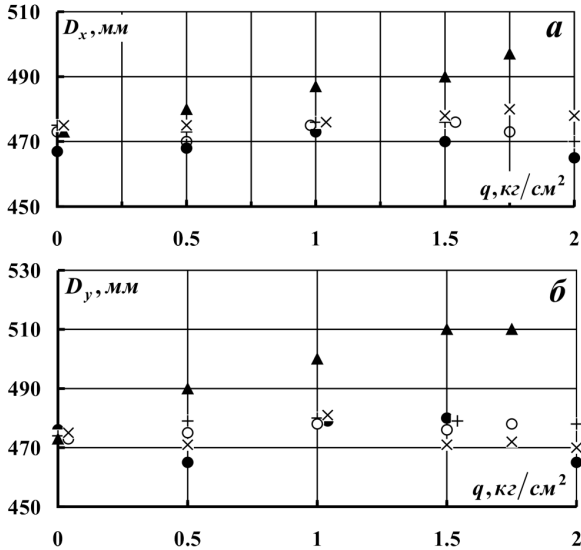


Рис. 16. Експериментальні залежності $D_x = f(q)$ (а) і $D_y = f(q)$ (б) для розрахункового випадку 2 з обсіпкою ПВХ труби щебенем і товщиною кожуха $\delta = 15$ мм:
 $\times - L_o = 260$ мм, $\bullet - L_o = 300$ мм, $+- L_o = 320$ мм,
 $\circ - L_o = 350$ мм, $\blacktriangle - L_o = 370$ мм

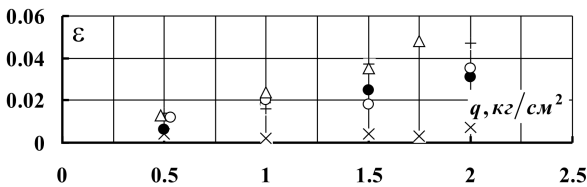


Рис. 17. Експериментальні залежності $\varepsilon = f(q)$ для розрахункового випадку 2 з обсіпкою ПВХ труби щебенем і товщиною кожуха $\delta = 15$ мм для UK₁BK₂:
 $\times - L_o = 260$ мм, $\bullet - L_o = 300$ мм, $+- L_o = 320$ мм,
 $\circ - L_o = 350$ мм, $\triangle - L_o = 370$ мм

На рис. 17 – 19 наведені експериментальні залежності $\varepsilon = f(q)$ для розрахункового випадку 2, а на рис. 20 – для розрахункового випадку 3.

Аналізуючи експериментальні залежності $\varepsilon = f(q)$, зазначимо таке.

Для розрахункового випадку 3 проведено 10 дослідів. Для ділянок кожуха UK₁A, UK₂ і UK₁BK₂ практично у всіх випадках відмічається збільшення довжини кожуха. Це говорить про те, що кожух працює при розтягуванні і його міцність буде визначатись міцністю при розтягуванні і при продавлюванні частками обсіпки ПВХ труби. В нашому випадку це щебінь $d = 10 - 20$ мм і керамзит $d = 10 - 20$ мм, який моделює продавлювання геотекстилю обкатаними частками обсіпки. При візуальному огляді кожуха після дослідів для випадку 3 були відмічені окремі ум'ятини на зовнішній поверхні кожуха глибиною не більше 5 мм в зоні

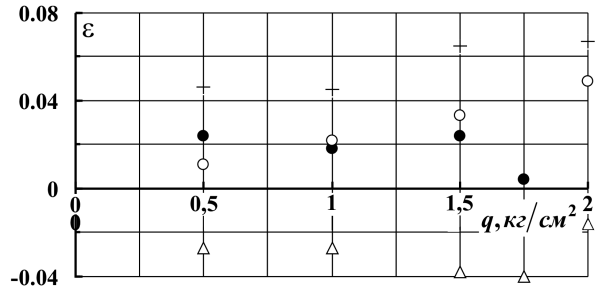


Рис. 18. Експериментальні залежності $\varepsilon = f(q)$ для розрахункового випадку 2 з обсіпкою ПВХ труби керамзитом і товщиною кожуха $\delta = 15$ мм для UK₁BK₂:
 $\times - L_o = 260$ мм, $\bullet - L_o = 300$ мм, $+- L_o = 320$ мм,
 $\circ - L_o = 350$ мм, $\triangle - L_o = 370$ мм

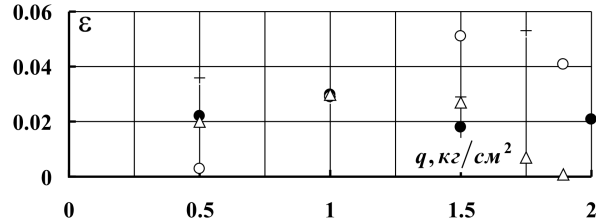


Рис. 19. Експериментальні залежності $\varepsilon = f(q)$ для розрахункового випадку 2 з обсіпкою ПВХ труби щебенем і товщиною кожуха $\delta = 10$ мм для UK₁BK₂:
 $\bullet - L_o = 300$ мм, $+- L_o = 320$ мм,
 $\circ - L_o = 350$ мм, $\triangle - L_o = 370$ мм

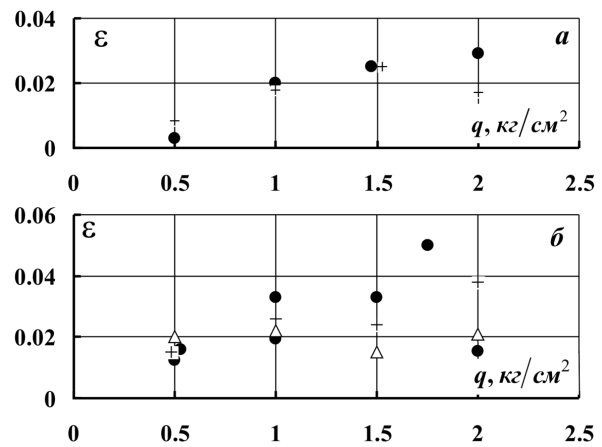


Рис. 20. Експериментальні залежності $\varepsilon = f(q)$ для розрахункового випадку 3 з обсіпкою ПВХ труби щебенем і товщиною кожуха $\delta = 15$ мм (а) і $\delta = 10$ мм (б) для UK₁BK₂:
 $\bullet - L_o = 300$ мм, $+- L_o = 320$ мм, $\triangle - L_o = 350$ мм

контакту конструкції з поверхнею залізобетонної палі внаслідок попадання на цей контакт матеріалу захисного фільтру (щебеню). Вважаємо, що для випадку 3 в системі огорожі котловану, а також для окремо розташованої вертикальної водозабір-

ної або водознижуючої свердловини конструкція дрени, яка досліджена, буде достатньо міцною при $q \leq 2 \text{ кг/см}^2$, $L_o \leq 300 \text{ мм}$ і $\delta \geq 15 \text{ мм}$. При $L_o = 300 \text{ мм}$ і $\delta = 15 \text{ мм}$ відносна деформація ε не перевищує 0.03, що менше ε при розриві зразків кожуха (рис. 22).

Для розрахункового випадку 2 проведено 16 дослідів. Для кожуха $\delta = 15 \text{ мм}$ при обсыпці ПВХ труби щебенем $d = 10 - 20 \text{ мм}$ при $L_o = 260 - 300 \text{ мм}$ відносна деформація ε при $q = 2 \text{ кг/см}^2$ не перевищує 0.03, що менше ε при розриві зразків кожуха (рис. 22). При $L_o > 300 \text{ мм}$ відносна деформація ε при $q = 2 \text{ кг/см}^2$ зростає до 0.06, а при обсыпці керамзитом при $q = 2 \text{ кг/см}^2$ і $L_o = 370 \text{ мм}$ деформація змінює знак і кожух працює при стисненні, а Δh_1 значно зростає.

Порівнюючи максимальні значення ε , які були в дослідях, зі значеннями ε при розриві зразків кожухів (рис. 22), бачимо, що вони майже однакові. Проте, незважаючи на значні деформації кожуха і всієї дрени при $L_o = 370 \text{ мм}$, цілісність кожуха збереглась і дозволяла використовувати його в інших дослідях.

Діаметр кожуха після розвантаження моделі практично не змінюється. При зовнішньому обстеженні ніяких ознак пошкодження кожуха не помічено.

Виходячи з того, що дрена повинна мати мінімальні деформації при $q = 2 \text{ кг/см}^2$ і бути міцною при продавлюванні щебенем $d = 10 - 20 \text{ мм}$, рекомендуємо при діаметрах залізобетонних паль 800 мм і кожуха дрени 500 мм відстань між пальями L витримувати не більше 1100 мм, а товщину кожуха – $\delta \geq 15 \text{ мм}$.

5. РЕЗУЛЬТАТИ ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНИХ ДОСЛІДЖЕНЬ КОНСТРУКЦІЇ ВЕРТИКАЛЬНОГО ДРЕНАЖУ, ТИП II

Дослідження на міцність конструкції дрени проводились для фрагменту дрени довжиною 0.5 м в масштабі 1:1 в ґрунтовому лотку $1 \times 1 \times 0.5 \text{ м}$ за методикою, описаною вище, для розрахункового випадку 2 при зміні тиску від 0 до 2.25 кг/см^2 і відстані між ґрунтоцементними пальями $L = 1020 \text{ мм}$, $L_o = 220 \text{ мм}$, $\Delta = 60 \text{ мм}$.

На рис. 21 наведені фотографії поперечного перерізу фільтру при тиску 0 кг/см^2 (а), 1.0 кг/см^2 (б) і 2.25 кг/см^2 (в).

Обробка фотографій показала таке.

При зміні тиску від 0 до 2.25 кг/см^2 деформації поперечного перерізу трубофільтру були незначні, пошкоджень кожуха не було, але по осі "у" вся кон-

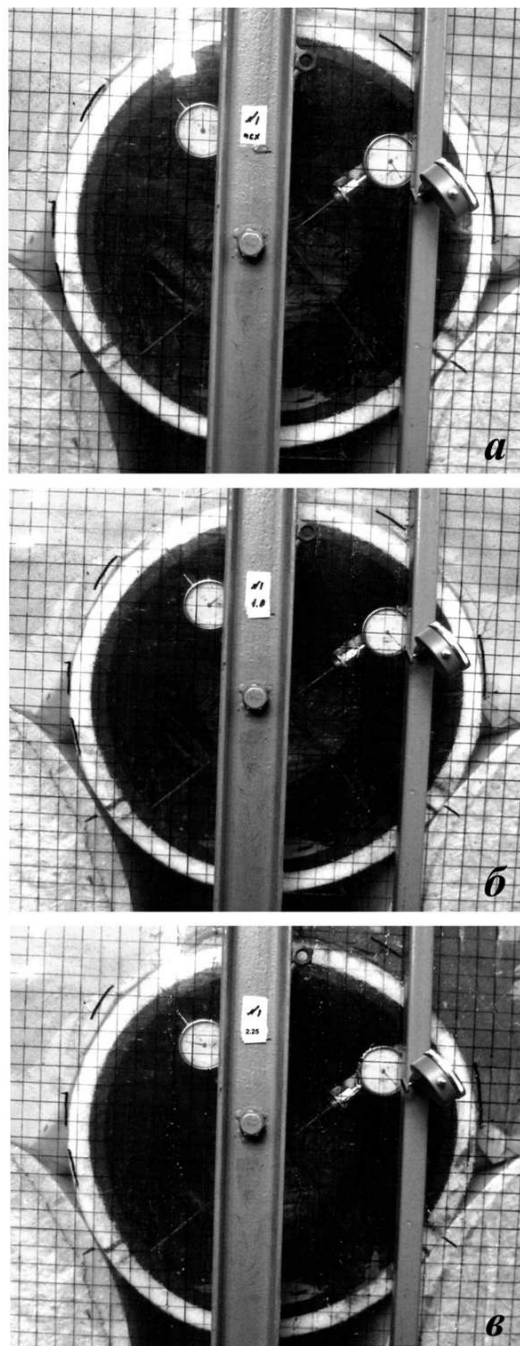


Рис. 21. Поперечний переріз фільтру:
а – при тиску 0 кг/см^2 ; б – при тиску 1.0 кг/см^2 ;
в – при тиску 2.25 кг/см^2

струкція фільтру змістилася донизу на $\sim 22 \text{ мм}$. При зменшенні тиску від 2.25 до 0 кг/см^2 положення фільтру майже не змінилось.

Вважаємо, що випробувана конструкція фільтру є достатньо міцною при боковому тиску на палеу огорожу котловану до 2.25 кг/см^2 . Такий

тиск на фільтр вертикального дренажу може бути при глибині котловану до 22 м.

При практичному застосуванні дослідженої конструкції дренажу в складі огорожі глибоких котлованів простір між фільтром, залізобетонними палями і плитами облицювання необхідно виконати так, як показано на рис. 1.

6. ФІЗИКО-МЕХАНІЧНІ І ФІЛЬТРАЦІЙНІ ВЛАСТИВОСТІ КОЖУХІВ З ВОЛОКНИСТО-ПОРИСТОГО ПОЛІПРОПІЛЕНУ

Кожух з волокнисто-пористого поліпропілену (ВПП) являє собою безшовну конструкцію у вигляді циліндра, отриману методом пневмоекструзії [4 – 7]. Дана технологія дозволяє одержувати пористий матеріал, діаметр волокон, пористість, товщина і геометричні розміри якого можуть мінятися в досить широких межах.

У даній роботі досліджувалася робота кожухів із ВПП із товщиною двошарової стінки 10 і 15 мм. При цьому зовнішній водоприймальний шар обох кожухів був товщиною близько 3.0 мм і складався з волокон, середній діаметр яких дорівнював 0.12 – 0.13 мм, а для внутрішніх шарів середній діаметр волокон складав 0.2 – 0.3 мм.

Внутрішні шари армують кожух. В дослідях використовувались кожухи з товщиною стінки 10 і 15 мм, армуючі шари в яких були товщиною 7 і 12 мм. Основний вплив на фільтраційні і захисні властивості кожухів робить зовнішній шар, параметри якого підлягають підбору до конкретних гідрогеологічних умов місця будівництва вертикального дренажу. У той самий час, внутрішній шар є визначальним при формуванні фізико-механічних характеристик кожухів (міцність, жорсткість, деформативність, тощо).

Деформація кожухів із ВПП при одноосьовому розтягненні. Для оцінки напруженого стану кожуха, який працює при розтягненні, були проведені випробування зразків кожуха на розрив. На рис. 22 наведені експериментальні залежності $\sigma = f(\varepsilon)$, де σ – напруга. Зразки для випробування вирізали по діаметру кожуха і для вирівнювання зразків треба було прикласти необхідну силу. Тому залежності $\sigma = f(\varepsilon)$ починаються не з 0. Порівнюючи значення ε при розриві зразків і $\varepsilon \approx 0.3$, досягнуте в дослідях для конструкції дренажу, яка рекомендується для дослідно-промислового впровадження (діаметр паль 800 мм, відстань між центрами паль $L \leq 1100$ мм при діаметрі кожуха 500 мм) бачимо, що коефіцієнт запасу міцності кожуха складає не менше 2.

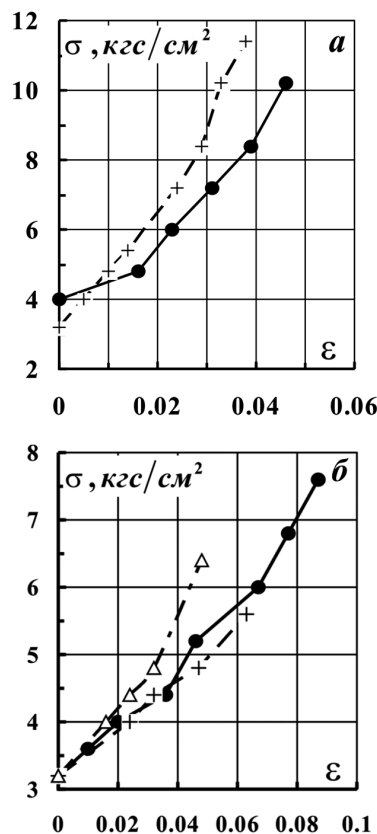


Рис. 22. Експериментальні залежності $\sigma = f(\varepsilon)$ при випробуванні на розрив матеріалу кожуха з поліпропілену:
 а – $\delta = 10$ мм: $\bullet - l_o = 129$ мм, $+ - l_o = 210$ мм;
 б – $\delta = 15$ мм: $\bullet - l_o = 195$ мм, $+ - l_o = 127$ мм,
 $\Delta - l_o = 126$ мм

Фільтраційні властивості кожухів із ВПП досліджувались на фільтраційних приладах типу Дарсі.

На рис. 23 приведені експериментальні залежності $K_f = f(P)$. Як бачимо, значення коефіцієнта фільтрації під дією тиску зменшуються при максимальному тиску приблизно на 20 – 32 % (більше значення – для кожуха товщиною 10 мм) і становлять при тиску більше 1.5 кг/см² для кожуха товщиною 15 мм приблизно 3200 м/добу, а для кожуха фільтра товщиною 10 мм – більше 1200 м/добу.

Захисні властивості кожуха з ВПП. Задача фільтра свердловини (у нашому випадку – кожуха з ВПП) полягає в тому, щоб захищати її від піскування, не піддаючись при цьому механічній кольматації і зберігаючи високу водопропускну здатність. У зв'язку з тим, що кожух із ВПП має складну об'ємну структуру і пори різного розміру і форми, підбір оптимальних параметрів такого фільтра до конкретних гідрогеологічних умов має

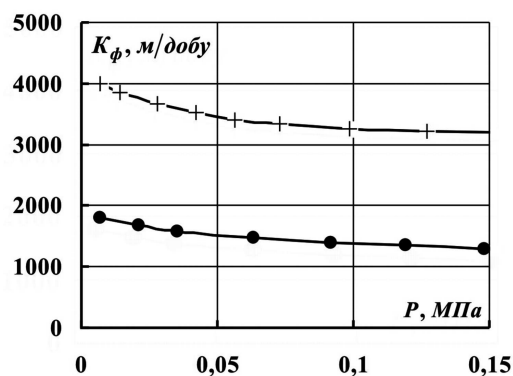


Рис. 23. Експериментальні залежності $K_{\phi} = f(P)$ для кожуха з ВПП товщиною $\delta = 10$ мм (●) і $\delta = 15$ мм (+)

свої особливості.

Середній діаметр елементарних волокон фільтра $d_{e,v}$ повинний дорівнювати або бути меншим d_{50} контактуючого з ним піску: $d_{e,v} \leq d_{50}$, де d_{50} – діаметр часток, менше якого в ґрунті утримується 50 % часток по вазі.

Товщина фільтра δ_{ϕ} повинна визначатися за такою формулою: $\delta = (10 - 30)d_{e,v}$.

Середній діаметр пори фільтра $d_{сер}^o$ повинний знаходитись в наступних межах: $d_{сер}^o = (1.0 - 1.4)d_{50}$.

При цьому менші значення $d_{сер}^o$ відповідають крупно- і середньозернистим піскам, а більші – дрібнозернистим.

Середній діаметр пор можна знайти, використовуючи залежність:

$$d_{сер}^o = 2.88 d_{e,v} \left(\frac{\delta}{d_{e,v}} \cdot \frac{\gamma}{\gamma_n} \right)^{-1.1} + d_{e,v},$$

де γ – густина фільтра, γ_n – густина матеріалу волокон.

Використовуючи вищенаведені залежності, були визначені параметри зовнішнього водоприймального шару кожухів із ВПП.

ВИСНОВКИ

1. Щоб покращити роботу огорожі глибоких котлованів, яка складається з залізобетонних паль діаметром 800 мм і ґрунтоцементних паль (джетів) діаметром 500 мм, пропонуємо облаштувати замість деяких джетів вертикальний дренаж спе-

ціальної конструкції з використанням безшовного фільтру з волокнисто-пористого поліпропілену. Простір між палями огорожі і залізобетонними плитами облицювання стінок котловану пропонуємо заповнити щебенем або галькою $d = 10 - 20$ мм з використанням нетканого геотекстильного матеріалу. Запропонована конструкція огорожі і пониження рівня ґрунтової води за допомогою вертикального дренажу забезпечить контактну стійкість прилеглого ґрунту в період будівництва і експлуатації котловану.

2. Експериментально досліджено дві конструкції вертикального дренажу тип I і тип II в складі огорожі котловану з залізобетонних паль діаметром 800 мм і ґрунтоцементних джетів діаметром 500 мм.

Рекомендовано наступне:

- при використанні дренажу тип I повинні бути відстань між залізобетонними палями $L_o \leq 300$ мм і товщина безшовного кожуха з волокнисто-пористого поліпропілену $\delta \geq 15$ мм,
- при використанні дренажу тип II повинні бути відстань між залізобетонними палями $L_o \leq 220$ мм і товщина безшовного волокнисто-пористого поліпропілену $\delta \geq 20$ мм.

1. Отрешко А. И., Ивянский А. М., Шмурнов К. В. Инженерные конструкции в гидромелиоративном строительстве. – М.: Сельхозгиз, 1955. – 552 с.
2. Хоружий П. Д., Крученко В. Д. Проблемы обеспечения эффективной работы дренажных противифльтрационных систем Каховского водохранища по защите от подтопления населенных пунктов // Водне господарство України. – 2002. – Вип. 3-4. – С. 63-64.
3. Крученко В. Д. Удосконалення конструкцій гравійних фільтрів для дренажних свердловин // Вісник Українського державного університету водного господарства та природокористування. Гідромеліорація та гідротехнічне будівництво. Рівне. – 2005. – Вип. 29. – С. 22-31.
4. Пивовар Н. Г., Бугай Н. Г., Фридрихсон В. Л., Кривоног А. И., Кривоног В. В. Дренаж с волокнистыми фильтрами для защиты территорий от подтопления. – Киев: Институт гидромеханики НАН Украины, 2000. – 332 с.
5. Пивовар Н. Г., Бугай Н. Г., Рычко В. А. Дренаж с волокнистыми фильтрами. – Киев: Наукова думка, 1980. – 214 с.
6. Бугай Н. Г., Кривоног А. И., Кривоног В. В., Фридрихсон В. Л. Гибкие крепления откосов земляных плотин гидротехнических сооружений с использованием геотекстиля // Прикладна гідромеханіка. – 2006. – 8(80), N 1. – С. 3-22.
7. ТУ У В.2.7 - 17.2 - 00311444 - 001:2006 Матеріали фільтрувальні геотекстильні Тексвод. – Киев: Укрметрестандарт, 2006. – 20 с.