

УДК 624.131.37, 624.131.537

## ОБГРУНТУВАННЯ ЕФЕКТИВНИХ КОНТРУКЦІЙ ДРЕНАЖУ ДЛЯ ЗАХИСТУ ПРИЛЕГЛИХ ТЕРИТОРІЙ ВІД ПІДТОПЛЕННЯ ЗАГЛИБЛЕНИМИ СПОРУДАМИ

А. І. БІЛЕУШ, М. Г. БУГАЙ, В. Л. ФРІДРІХСОН, В. В. КРИВОНОГ,  
О. І. КРИВОНОГ

*Інститут гідромеханіки НАН України, Київ  
03680 Київ – 180, МСП, вул. Желябова, 8/4  
imggs@ukr.net*

Одержано 07.06.2016

Наведено конструктивні рішення дренажу для зменшення впливу нового будівництва на зміну гідрогеологічного режиму на прилеглий до ділянки забудови території. Рішення включають дренажно-водовідвідну систему і враховують конструкцію протизсувних стін, фундаментів забудови, а також її генеральний план та вертикальне планування. Запропоновані конструкції дренажу зменшують негативні наслідки баражного ефекту від заглиблених споруд.

**КЛЮЧОВІ СЛОВА:** дренаж, огорожі глибоких котлованів, баражний ефект

Приведены конструктивные решения дренажа для уменьшения влияния новостроек на изменение гидрогеологического режима на прилегающей к участку застройки территории. Решения включают дренажно-водоотводящую систему и учитывают конструкцию противооползневых стен, фундаментов сооружений, а также их генеральный план и вертикальную планировку. Предложенные конструкции дренажа уменьшают негативные последствия баражного эффекта от заглибленных сооружений.

**КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА:** дренаж, ограждения глубоких котлованов, баражний эффект

Constructive solutions to reduce the impact of drainage Straw-struction to change the hydrogeological regime of the area adjacent to the site for construction-site. Solutions include a drainage system and water taking into account the design uchi landslide walls, foundations of buildings, as well as their general plan and grading. The proposed design nucleus-Nazha reduce the negative effects of the barrage effect of co-experimen- buried.

**KEY WORDS:** drainage, fences deep trenches, barrage effect

### ВСТУП

При будівництві споруд питання впливу їх заглиблених частин на динаміку рівнів ґрунтових вод є суттєвим. Різка зміна рівнів ґрунтових вод загрожує безпечній експлуатації будинків і споруд існуючої забудови.

Заглибленими спорудами вважаються підземні споруди, що улаштовуються відкритим способом, верхня позначка яких знаходиться на рівні поверхні землі.

Часто будівництво споруд з заглибленими приміщеннями ведеться в умовах тісної міської забудови, будинки і споруди якої попадають у зону впливу і зазнають додаткових деформацій у зв'язку зі зміною гідрогеологічних умов – підвищення або зниження рівня ґрунтових вод (РГВ) [1].

Глибокі котловани впливають на гідрогеологічні умови прилеглих територій більш інтенсивно, чим при масовій малоповерховій забудові, крім того, істотно інтенсифікують гідрогеологічні й інженерно-геологічні процеси, вплив яких, як правило, не враховується в умовах стандартної забудови.

Інтенсивне зниження РГВ при будівництві глибоких котлованів приводить до формування різко нестационарного режиму ґрунтових вод. Поблизу тимчасових установок, що знижують рівень ґрунтових вод, пластових й інших дренажів, палювих і шпунтових огорожень формуються гідродинамічні зони з високими швидкостями фільтрації, що може викликати (або підсилити) процеси механічної або хімічної суфозії з наступними фільтраційними деформаціями ґрунтів, підземних і наземних споруджень, аваріями на підземних комунікаціях і прилеглих об'єктах. Спорудження глибоких котлованів на схилових ділянках без захисних споруд може привести до зсувів [2, 3].

Ступінь і характер впливу глибоких котлованів на гідрогеологічні умови прилеглих територій визначаються сукупністю конкретних природних і техногенних факторів на підставі гідрогеологічних вишукувань, загальними завданнями яких на всіх стадіях проектування є оцінка гідрогеологічних умов і прогноз їх змін у часі [4, 5].

По даним гідрогеологічних вишукувань виконуються прогноз підйому рівня підземних вод (переважно по методу аналогій) і даються рекомендації

з локальних захисних і попереджувальних гідротехнічних заходів з урахуванням наявного досвіду експлуатації заведеної території.

## 1. ТИПИ СУЧАСНИХ ОГОРОЖ ГЛИБОКИХ КОТЛОВАНІВ І ПРИЧИНИ ПІДТОПЛЕННЯ ТЕРИТОРІЙ

При зведенні нових і реконструкції житлових, суспільних і промислових будинків має місце тенденція до збільшення корисного об'єму за рахунок пристрою і перебудови підземного простору. Для улаштування значної за обсягом підземної частини використовують сучасні технології споруджень стінок огорожі котлованів у вигляді "стіни в ґрунті" опор і стін з буронабивних паль у сполученні з анкерами або без них.

Зона впливу таких споруд на гідрогеологічні умови прилеглих територій складає, за наближеними оцінками, 2–3 характерних лінійних розміри споруди, що орієнтована нормально до напрямку руху природного фільтраційного потоку.

При моделюванні впливу заглиблених споруд на гідрогеологічні умови необхідна гідрогеологічна схематизація на основі вихідної інформації щодо існуючих відміток РГВ, побудови геологічних розрізів у вертикальних перетинах, планової неоднорідності ґрунтів, умов бічного живлення фільтраційних потоків на зовнішніх границях області фільтрації, інтенсивності природного інфільтраційного живлення, а також розташування додаткових джерел техногенного живлення і їх інтенсивності.

Така гідрогеологічна схематизація дає можливість перейти до обрання математичної моделі, на основі якої проводять дослідження прогнозних значень РГВ та обґрунтовують інженерні захисні споруди.

Наслідком перекриття фільтраційного потоку підземних вод перешкодою у вигляді заглиблених підземних споруд є підняття ґрунтових вод (баражний ефект), для запобігання якого необхідно застосовувати інженерно-гідротехнічні заходи.

При відсутності або неефективності систем інженерного захисту вплив заглиблених споруд у період експлуатації на гідрогеологічні умови прилеглих територій відбувається у формі підтоплення, що призводить до порушення побутових умов населення й господарської діяльності в межах згаданих територій.

Найбільший вплив на гідрогеологічні умови прилеглих територій у період будівництва підземних споруджень у глибоких котлованах в умовах щільної міської забудови вчиняють протифільтра-

ційні й протизсувні стінки, а також системи тимчасового зниження РГВ. У період експлуатації найбільший вплив на рівень ґрунтових вод вчиняє непроникний контур споруди і система підземного дренажу для захисту прилеглих територій від підтоплення й інших небезпечних процесів.

При проектуванні захисних інженерних споруд для запобігання або ліквідації підтоплення територій огорожами котлованів слід виконувати вимоги СНіП 2.06–14 та ДБН В.2.4–1 і посібників до них [2, 6–9].

## 2. ВПЛИВ ГІДРОГЕОЛОГІЧНИХ УМОВ РОЗТАШУВАННЯ ВЕРТИКАЛЬНОГО ДРЕНАЖУ НА ВИБІР ОСНОВНИХ КОНСТРУКТИВНИХ СХЕМ І ВІДСТАНЕЙ МІЖ ДРЕНАМИ

Досить розповсюдженим випадком будівництва заглиблених котлованів в умовах розчленованого рельєфу м. Києва є розташування будівельних майданчиків у основі схилів балок і ярів. У таких випадках приплив до котловану з боку високих відміток має переважно односторонній характер. Для забезпечення стійкості бортів схилів поблизу таких котлованів з боку високих відміток передбачається будівництво стінок різних конструкцій. На більшості об'єктів для запобігання баражному ефекту заздалегідь будують дренажні споруди, які суміщають з огорожею глибоких котлованів. Для зниження баражного ефекту в площині стінок передбачається будівництво дренажних споруд, які в ряді випадків з'єднані з пластовим дренажем. Останній можна розглядати як колектор, з якого дренажні води надходять у міську або спеціалізовану систему водовідведення.

Нижче наведено окремі конструкції дренажних споруд, які запроєктовано та побудовано у м. Києві з метою запобігання баражного ефекту від забудов.

### 1. Система дренажних споруд, яка складається з пристінного, пластового і горизонтальних трубчатих дренажів.

Конструкцію пристінного дренажу показано на рис.1.

Конструкцію пластового дренажу і вузол з'єднання пластового дренажу з пристінним показано на рис. 2.

Пристінний дренаж складається з двох шарового фільтра, який влаштовують з сипучих матеріалів – щебеню діаметром 5...20 мм, та середньозернистого піску. Матеріал фільтра засипають в обсадні труби, діаметром 600 та 500 мм. Шар піщаного фільтра товщиною 60 мм розділено із шаром ще-

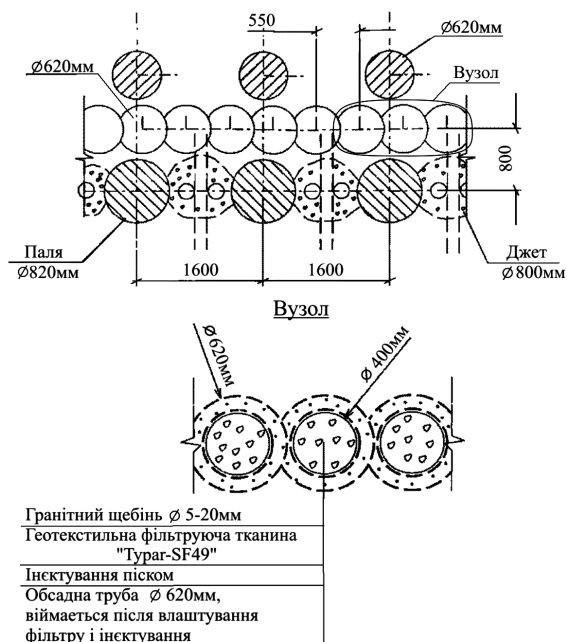


Рис. 1. Конструкція пристінного дренажу

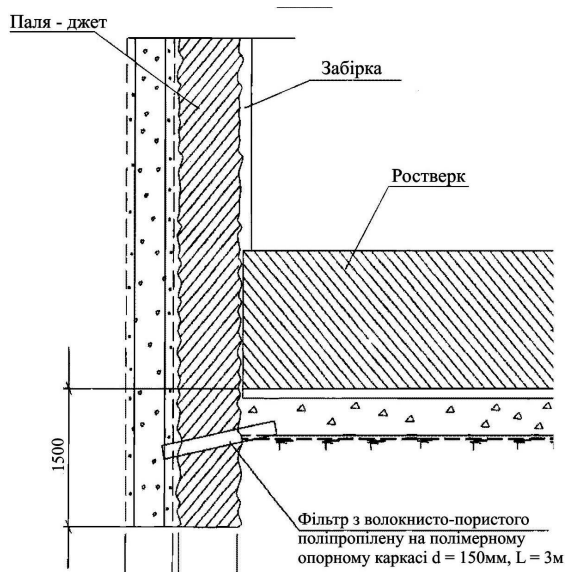


Рис. 2. Вузол з'єднання пластового дренажу з пристінним дренажем

беню фільтруючою тканиною Турар SF-49. Гранулометричний склад фільтра з піску в проекті розробник не вказав.

Пластовий дренаж запроєктовано зі щебеню діаметром 20...40 мм шаром 400 мм. Шар щебеню укладають на фільтруючу тканину Турар SF-49. В пластовому дренажі через певні відстані запроєктовано горизонтальний трубчатий дренаж з

склопластикових дренажних трубофільтрів діаметром 150 мм.

Недоліком такої конструкції є недостатньо надійний захист котловану від фільтраційного виносу ґрунту через вузол з'єднання пластового дренажу з пристінним та висока трудомісткість улаштування.

## 2. Конструкція пристінного дренажу, яка суміщена з кріпленням котловану без улаштування пластового дренажу (рис. 3).

Вважається, що при наявності ґрунтових вод біля стінки, яка огорожує котлован, дренажування буде відбуватися за рахунок улаштування між палами дренажної мембрани, яка відводить фільтраційну воду у водовідвідну трубу, улаштовану по всьому периметру споруди.

Якщо в основі котловану залягає прошарок добре проникних ґрунтів, дана конструкція не дає можливість понизити градієнти на виході фільтраційного потоку в котлован, що створює умови для випору ґрунту. Результати моделювання роботи такого дренажу показано на рис. 4, з якого видно, що поблизу огороження котловану спостерігаються значні градієнти фільтраційного потоку  $I = 3.8...5.0$ , що перевищують допустимий.

## 3. Захисна огорожа глибоких котлованів з вертикальними дренами

Авторами розроблено конструкцію захисної огорожі глибокого котловану в умовах високого рівня ґрунтових вод, яка виключає можливість виносу ґрунту в котлован і зменшує градієнти фільтраційного потоку до допустимих.

Для цього замість деяких джетів в огорожу котловану введено вертикальний дренаж, що включає водозабірні свердловини, які з'єднано з пластовим дренажем фільтром-чулком, заповненим фільтруючим матеріалом, який при тиску набуває геометричної форми простору між елементом кріплення залізобетонних плит облицювання котловану до залізобетонних паль і захисною огорожею котловану (рис. 5) [10].

Водозабірні свердловини включають фільтр, що містить перфоровану трубу, фільтруючу обшивку і кожух з волокнисто-пористого матеріалу.

Моделювання роботи дренажу, представленого на рис. 5 в добре проникних ґрунтах, показано на рис. 6, з якого видно, що поблизу огорожі котловану спостерігаються градієнти фільтраційного потоку  $I = 1.4...1.5$ , що не перевищують допустимих.

Кількість свердловин вертикального дренажу і розташування їх у плані визначається фільтраційним розрахунком у кожному конкретному випадку з врахуванням геологічних і гідрологічних умов. На період будівництва котловану свер-

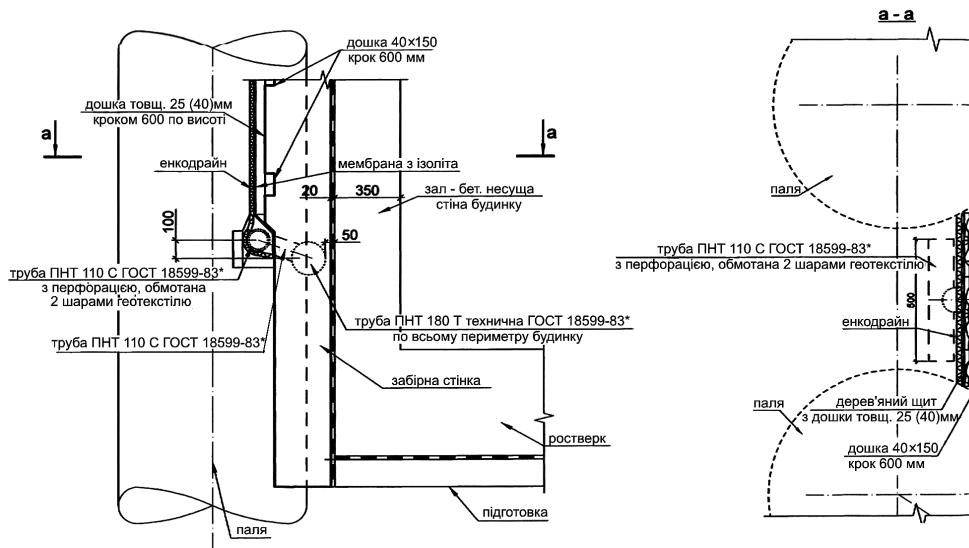


Рис. 3. Конструкція дренажу, яка суміщена з кріпленням котлованів

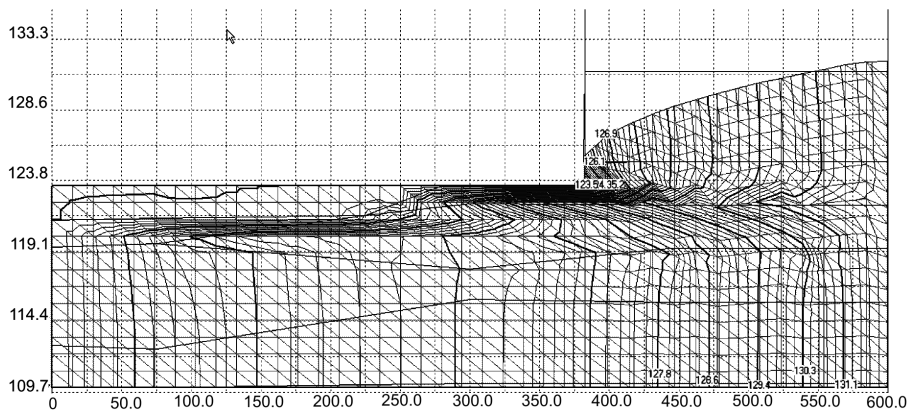


Рис. 4. Гідродинамічна сітка фільтраційного потоку поблизу глибокого котловану при наявності прошарків добре проникних ґрунтів

дловини працюють з примусовим водовідливом. В подальшому вертикальний дренаж з'єднують з пластовим дренажем в основі котловану, а водовідлив відключають.

Для захисту контакту паля-дрена від виносу піску в котлован рекомендуємо простір між древною або джетями, палями і плитами облицьовки котловану заповнювати щебенем або гравієм  $d = 10...20$  мм з використанням плоского матеріалу з полімерних волокон, який використовують для захисту горизонтальних трубчатих дренажів [11], товщиною  $\geq 5$  мм.

### 3. ВИБІР КОНСТРУКТИВНИХ РІШЕНЬ ДРЕНАЖУ ДЛЯ ЗНЯТТЯ БАРАЖНОГО ЕФЕКТУ

При влаштуванні дренажу для зменшення впливу будівництва на зміну гідрогеологічного режиму на прилеглий до ділянки забудови території необхідно забезпечити рівень водоносного горизонту близьким до природного. Конструктивні рішення дренажу повинні включати дренажно-водовідвідну систему, яка враховує конструкцію протизсувних стін, фундаментів забудови, а також її генеральний план та вертикальне планування.

Вибір конструктивних рішень дренажу проводять на основі розрахунків на ПК. Математична модель на етапі планування інженерних споруд

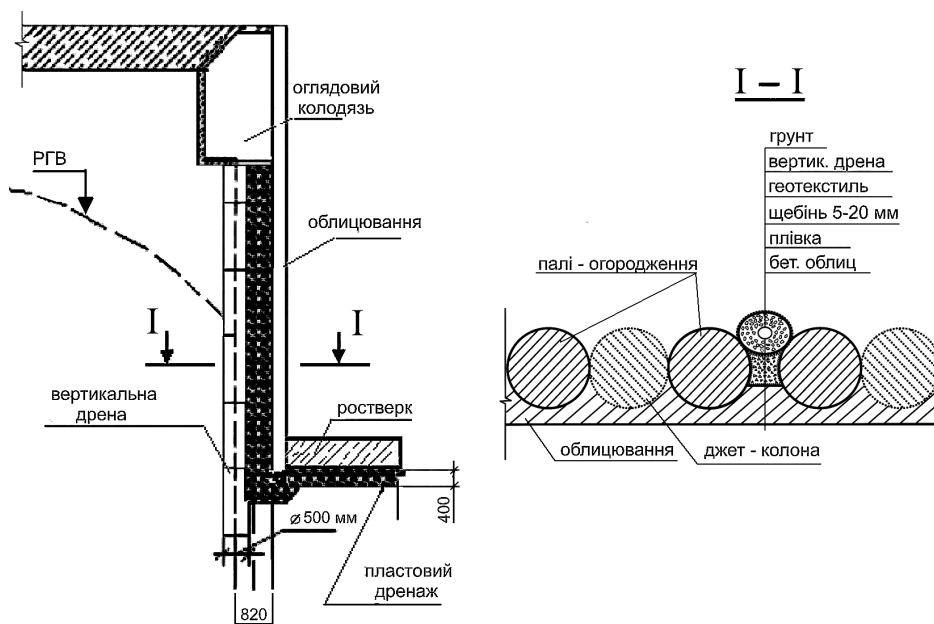


Рис. 5. Конструкція захисного фільтру між палями

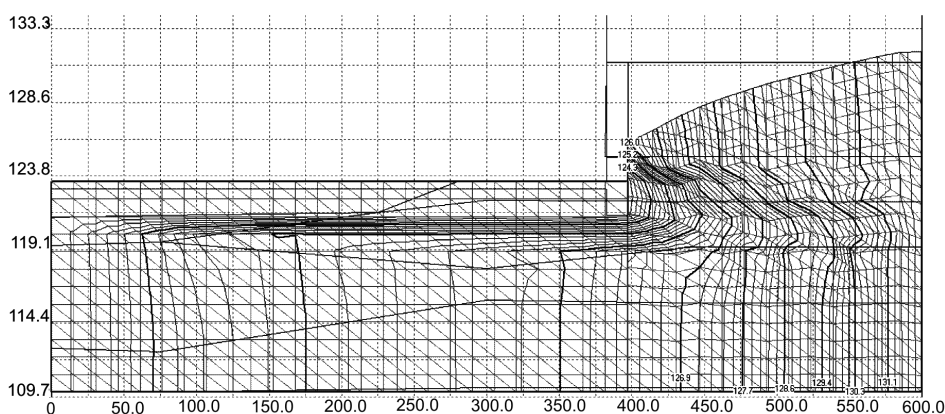


Рис. 6. Положення еквіпотенціалей і кривої депресії по розрізі I-I при улаштуванні дренажу за рекомендованою схемою

необхідна для вирішення задачі по оптимальному вибору інженерних дренажних споруд поблизу ділянки забудови з метою захисту прилеглих територій від підтоплення.

Математична модель фільтрації ґрунтових вод базується на фундаментальних рівняннях руху й нерозривності маси рідини, а також експериментальних співвідношеннях, що виражають закон опору (у випадку лінійної фільтрації – це закон Дарсі).

Найчастіше для вибору оптимальних конструкцій інженерних дренажних споруд використовується програмний комплекс PMWIN 5.3

(MODFLOW) (Chiang, W.-H. and W. Kinzelbach) [12]. Комплекс дозволяє моделювати тривимірний потік ґрунтових вод з використанням модульних тривимірних кінцево-різницевого елементів. Вказана програма розроблена Геологічною службою США. Для моделювання фільтрації ґрунтових вод з метою вибору оптимальних інженерних дренажних споруд від підтоплення також можуть бути використані програми, які розроблено в Інституті гідромеханіки НАН України В.С. Кривозом [2].

Для розв'язання задачі і моделювання динаміки потоку ґрунтових вод на контурах моделі по-

винні бути задані граничні умови – це умови першого чи другого роду. Коли поблизу ділянки досліджень розташовані відкриті водойми, водотоки (наприклад, р. Либідь), діючі дренажні споруди (наприклад, протизсувні галереї) та ін., де зафіксовані рівні води чи витрати дренажів, то контури моделі досліджень суміщають з водотоками чи дренажними системами. По таким контурам моделі досліджень граничні умови задаються просто. Але не завжди при схематизації району досліджень на контурах моделі можуть бути водойми, ріки чи дренажні системи. В таких випадках деякі з науково-дослідних установ, що проводять дослідження впливу будівництва на зміну гідрогеологічного режиму на прилеглих до ділянки забудови територіях, граничні умови на контурах моделі досліджень приймають на основі даних інженерно-геологічних вишукувань у межах плями забудови. Слід зауважити, що такий підхід неправильний. Задавши в якості граничних умов рівні ґрунтових вод чи лінії тока на основі таких даних під ділянкою забудови, отримують неправильні рішення. За такими рішеннями баражний ефект набагато занижено, а вибрана для досліджень модель не дає можливості обґрунтовано вибрати конструктивні рішення дренажу для зняття баражного ефекту.

Для отримання задовільних рішень задачі динаміки потоку ґрунтових вод моделювання слід здійснювати на моделі, яка по площі значно більша за пляму забудови. Задаючи послідовно на певних відстанях від контуру плями забудови граничні умови, отримують ряд рішень. За границю моделі приймається така найменша відстань від плями забудови, при збільшенні якої похибка в рішеннях не перевищує 3...5 %. Складність такого підходу полягає в необхідності мати дані інженерно-геологічних вишукувань за межами ділянки забудови.

Коли підземний контур протяжний, то приводячи на основі фільтраційних опорів дренажні споруди до лінійних, рішення задачі динаміки потоку ґрунтових вод можливо отримувати на ПК для інженерно-геологічних розрізів (рис. 4, 6).

Моделювання РГВ проводять для 2-3 варіантів дренажних споруд, які забезпечують заходи для зменшення впливу підземних заглиблених споруд на довкілля.

Для впровадження в будівництво вибирають один з них на основі техніко-економічного обґрунтування.

Нижче приведені конструктивні рішення дренажу для зняття баражного ефекту, які запропоновані авторами для деяких об'єктів м. Києва.

#### 1. Дренажні геомембрани в поєднанні з

#### пластовим дренажем

Конструкція водонепроникної протизсувної стіни включає буронабивні палі та джети (рис. 7).

Дренажну геомембрану улаштовують неширокими смужками між буронабивними палями першого з боку котловану ряду палей по периметру стіни. Верх дренажної мембрани назначають вище найвищої позначки. Геомембрану гідравлічно поєднано з пластовим (або лінійним) дренажем, який скидає дренажний стік у міську водовідвідну систему.

Дренажна геомембрана у своєму складі має фільтраційний шар – нетканий геотекстиль, який непроникний для ґрунту і захищає водовідвідні канали мембрани. В залежності від величини тиску ґрунту використовують геомембрани різних конструкцій: DELTA-TERRAXX, DELTA-MS20 та ін.

При улаштуванні дренажної геомембрани необхідно забезпечити щільне прилягання смужки геомембрани фільтруючою частиною до ґрунту з метою унеможливлення виникнення суфозії ґрунту по контакту фільтруючий геотекстиль-ґрунт. Кріплення геомембрани до палей проводять за допомогою еластичного жгута. З боку залізобетонної заборки геомембрану необхідно захистити міцною водонепроникною плівкою від проникнення цементного розчину при влаштуванні бетонної заборки. Ширина плівки, яку фіксують на палях планками, повинна бути більшою на 10...15 см ширини смужки геомембрани (рис. 8).

#### 2. Дренажно-водовідна система, яка складається з водозбірних колодязів у поєднанні з пластовим дренажем

Ця конструкція може бути запропонована у випадку присутності в межах неоднорідного водоносного пласту добре водопроnikного шару ґрунту, який залягає на невеликій відстані від поверхні землі. Колодязі споруджуються з боку припливу ґрунтових вод та пластового дренажу.

На дні колодязя укладають шар геотекстильного матеріалу, поверх якого влаштовують перехідний зворотній фільтр. Рівень води в колодязі підтримується водовідвідною трубою, по якій вода з колодязя відводиться в пластовий дренаж і формує (регулює) РГВ близьким до рівня, зафіксованого на початку будівництва. Конструктивні параметри колодязя показано на рис. 9.

У випадку, коли неоднорідні у профілі шаруваті ґрунти в межах водоносного пласта глибини закладання колодязя при відношенні коефіцієнтів фільтрації суміжних шарів  $K_1/K_2 > 20$  не можуть бути приведені до однорідної товщі, фільтраційний розрахунок колодязів та визначення їх розта-

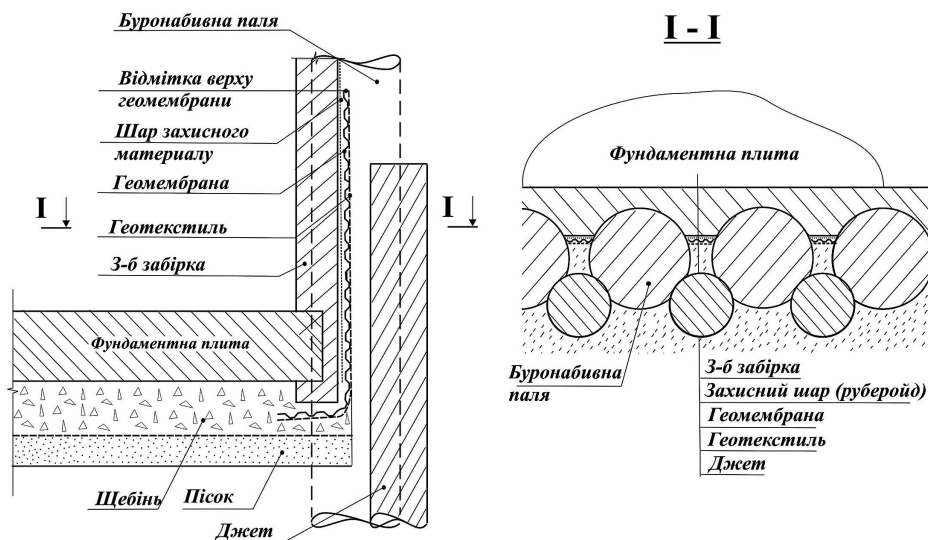


Рис. 7. Конструкція дренажу з геомембранами для зняття баражного ефекту

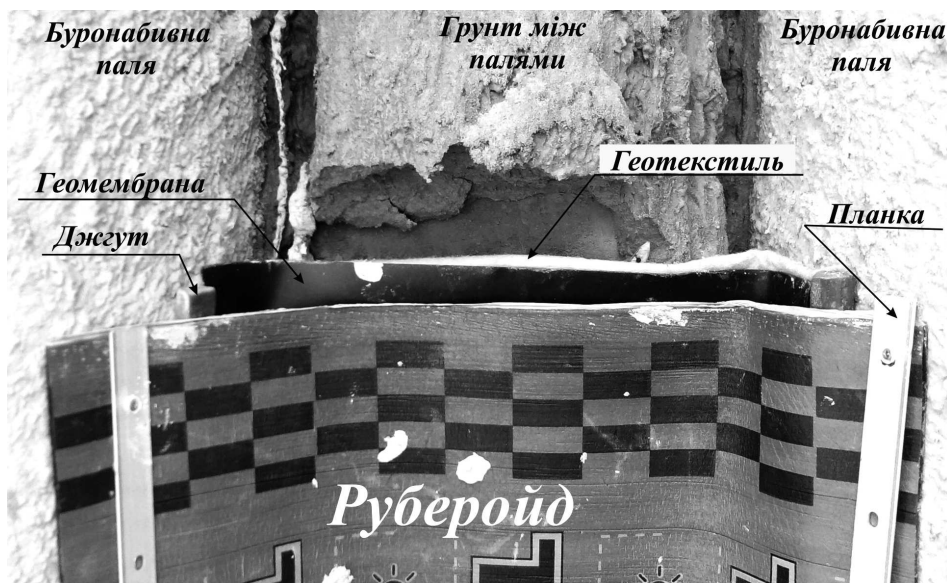


Рис. 8. Конструктивні елементи улаштування дренажної геомембранами між палями

шування в плані виконують по формулам напірного руху підземних вод [13].

## ВИСНОВКИ

1. Вибір оптимальних конструкцій дренажних споруд для стабілізації рівнів ґрунтових вод поблизу будівництва заглиблених споруд слід проводити на основі моделювання на ПОМ динаміки рівнів ґрунтових вод поблизу забудови.

Для моделювання роботи інженерних дрена-

жних споруд використовуються програмний комплекс PMWIN 5.3 (MODFLOW) або програми, які розроблено в Інституті гідромеханіки НАН України.

2. Для забезпечення гарантованого захисту прилеглих до заглиблених споруд територій необхідно передбачити:

- систему дренажних споруд для стабілізації баражного ефекту;
- водовідвід поверхневих дощових та талих вод з майданчику як під час будівництва, так і експлу-



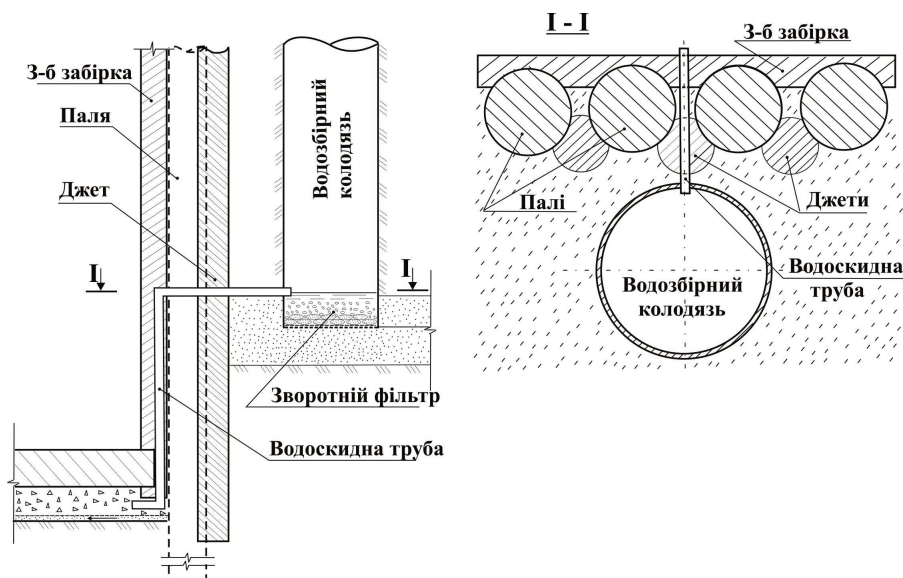


Рис. 9. Конструктивні елементи дренажу з водозбірних колодезів в поєднанні з пластовим дренажем для зняття баражного ефекту

атації побудованої будівлі.

3. Найбільш ефективною конструкцією для зниження впливу баражного ефекту є влаштування в межах водонепроникної стіни пристінного дренажу з використанням геомембран, які поєднуються з пластовим дренажем.

4. До початку робіт по водозниженню слід влаштувати наглядові свердловини для спостереження за режимом і характеристиками вод водоносного горизонту. Для спостереження в часі за динамікою рівнів ґрунтових вод та деформаціями прилеглих до ділянки забудови будинків вести по програмі Міністерства інвестицій і будівництва України.

1. Никифорова Н.С. Обеспечение сохранности существующей застройки при строительстве заглубленных сооружений // Современные проблемы фундаментостроения: Сб. тр. межд. науч. конф. в 4ч. Волгоград, ВолгГАСА.– 2001.– Ч.1.– С. 41-47.
2. Олейник А.Я., Кремез В.С. Методические рекомендации по расчетам защиты территорий от подтопления.– ИГМ НАНУ; Укрگیпродхоз К: 1988, Ч.1.– 32 с.
3. Алексеев В.С., Аронштам М.Г., Астрова Н.Г., Муфтахов А.Ж. Подтопление территорий грунтовыми водами при строительстве и их инженерная защита.– Итоги науки и техники. Гидрогеология и инженерная геология. М. – ВИНТИ: 1982, Т. 8.– 112 с.
4. Рекомендации по выбору исходных данных для модели прогноза процесса подтопления городских территорий, ПНИИС Госстроя СССР.– М.: Стройиздат, 1986.– 136 с.
5. Сологаев В. И. Расчет подтопления застраиваемых территорий с учетом влияния свайных

оснований.– М.: Автореф. дисс. на соиск. степени канд. техн. наук, 1987.– 20 с.

6. ВНД 33-2.3-05-2001 Гідрогеологічні вишукування та дослідження для проектування інженерного захисту територій від підтоплення.– К.: Держкомітет України в справах містобудування і арх-ри, 2001.– 20 с.
7. Закон України. Порядок взаємодії органів Державного комітету України по водному господарству і Міністерства екології та природних ресурсів України з питань здійснення контролю за раціональним використанням, охороною та відтворенням водних ресурсів, затверджений спільним наказом від 29.02.01 р. № 13/21 К.–Держкомітет України в справах містобудування і арх-ри:2001.– 30 с.
8. Посібник до ДБН В.2.4-1 Гідрогеологічні та гідравлічні розрахунки дренажу.– К.: Держкомітет України в справах містобудування і арх-ри, 2001.– 25 с.
9. Посібник до ДБН В.2.4-1 Методи розрахунків плоскої фільтрації.– К.: Держкомітет України в справах містобудування і арх-ри, 2001.– 28 с.
10. Бугай М.Г., Білеуш А.І., Дворнік С.О. та ін. Патент України на корисну модель UA 32582. Захисна огорожа глибоких котлованів.– К.: Бюл. N 10, 2008.– 5 с.
11. ТУ У В.2.7-17.2-00311444-001 Матеріали фільтрувальні геотекстильні "Тексівод".– К.: Держкомітет України в справах містобудування і арх-ри, 2006.– 10 с.
12. Chiang, W.-H., W. Kinzelbach PMWIN 5.3 (MODFLOW).– 1998.– 87 р.
13. Аравин В.И., Нумеров С.И. Фильтрационные расчеты гидротехнических сооружений.– Л.–М.: Гос. изд-во лит-ры по строительству и архитектуре, 1955.– 292 с.