



УДК 624.15



ШУМІНСЬКИЙ В.Д.

Канд. технічних наук, провідний науковий співробітник, ДП «Державний науково-дослідний інститут будівельних конструкцій», м. Київ, Україна, e-mail: shumikvd@gmail.com, тел.: +38 (095) 040-72-07, ORCID: 0000-0001-9270-6649



СТЕПАНЧУК С.В.

Старший науковий співробітник, ДП «Державний науково-дослідний інститут будівельних конструкцій», м. Київ, Україна, e-mail: serij19071982@gmail.com, тел.: +38 (097) 645-38-70, ORCID: 0000-0002-5591-1827



СЛОБОДЯНИК І.О.

Науковий співробітник, ДП «Державний науково-дослідний інститут будівельних конструкцій», м. Київ, Україна, e-mail: irina.slobodyanik@gmail.com, тел.: +38 (050) 224-69-51, ORCID: 0000-0003-2857-7066



СТЕПАНЧУК Н.В.

Молодший науковий співробітник, ДП «Державний науково-дослідний інститут будівельних конструкцій», м. Київ, Україна, e-mail: nataskas666@gmail.com, тел.: +38 (097) 209-66-69, ORCID: 0000-0003-2562-7013



КОСТЕЦЬКА С.М.

Провідний інженер, ДП «Державний науково-дослідний інститут будівельних конструкцій», м. Київ, Україна, e-mail: niiskgts@gmail.com, тел.: +38 (067) 138-40-28, ORCID: 0000-0002-1799-6006

ОЦІНКА СТІЙКОСТІ СХИЛУ ТА ГІДРОГЕОЛОГІЧНОГО РЕЖИМУ НА ПЕРІОД БУДІВНИЦТВА ТА ЕКСПЛУАТАЦІЇ АДМІНІСТРАТИВНО-ГРОМАДСЬКОГО КОМПЛЕКСУ ПО вул. І. МАЗЕПИ, 1 В м. КИЄВІ

АНОТАЦІЯ

Ущільнення забудови сучасних мегаполісів примушує здійснювати будівництво на територіях зі складними рельєфом, інженерно-геологічними умовами і небезпечними геологічними процесами.

На прикладі проектування адміністративно-громадського комплексу виконана оцінка стійкості схилу прилеглої території в період будівництва та впливу гідрогеологічного режиму на комплекс після завершення будівництва, а також визначено приток води в котлован та фільтраційні параметри підземного потоку на майданчику будівництва.

Оцінка стійкості схилу виконувалась з урахуван-

ням будівництва адміністративно-громадського комплексу для природного стану ґрунтів та при повному їх водонасиченні.

Розрахунок притоку води в котлован заснований на теорії фільтрації, що розроблена Н.Н. Павловським.

Фільтраційна міцність ґрунту при виході ґрунтових вод в котлован оцінюється на основі розрахунків та експериментальних досліджень ґрунтів при діючих на майданчику будівництва градієнтах напору та особливостей конструкцій.

З ціллю аналізу впливу комплексу після закінчення будівництва на гідрогеологічний режим виконано чисельне моделювання руху



підземних вод. Моделювання виконувалось за допомогою обчислювальної програми, що розраховує тримірний фільтраційний потік, баланс водних мас, масоперенос та дозволяє визначити всі необхідні параметри ґрунтового потоку, а також побудувати карту гідроізогіпс для існуючих рівнів ґрунтових вод та їх прогнозованого підйому на 1,5 м та візуалізувати отримані результати. Ці розрахунки дозволяють оцінити можливість підтоплення існуючих будівель на прилеглий території в результаті виникнення «баражного ефекту», що викликаний заглибленням підземної частини комплексу нижче рівня ґрунтових вод.

Представлені результати досліджень можуть бути використані при прийнятті технічних рішень щодо підвищення стійкості схилу з урахуванням будівництва, а також вибору конструктивних методів захисту від фільтраційного випору ґрунту в котловані при будівництві та захисту фундаментів і підземних конструкцій від підтоплення підземними водами в результаті зміни гідрогеологічного режиму.

КЛЮЧОВІ СЛОВА: нове будівництво, складні інженерно-геологічні умови, розрахунки стійкості схилу, водонасичення ґрунтів, розрахунок притоку води в котлован, перевірка фільтраційної міцності ґрунту, випір ґрунту, розрахунок планової фільтрації.

ОЦЕНКА УСТОЙЧИВОСТИ СКЛОНА И ГИДРОГЕОЛОГИЧЕСКОГО РЕЖИМА НА ПЕРИОД СТРОИТЕЛЬСТВА И ЭКСПЛУАТАЦИИ АДМИНИСТРАТИВНО-ОБЩЕСТВЕННОГО КОМПЛЕКСА ПО УЛ. И. МАЗЕПЫ, 1 В Г. КИЕВЕ

ШУМИНСКИЙ В.Д. Канд. технических наук, ведущий научный сотрудник, ГП «Государственный научно-исследовательский институт строительных конструкций», г. Киев, Украина
e-mail: shumikvd@gmail.com,
тел.: +38 (095) 040-72-07,
ORCID: 0000-0001-9270-6649

СТЕПАНЧУК С.В. Старший научный сотрудник, ГП «Государственный научно-исследовательский институт строительных конструкций», г. Киев, Украина
e-mail: serij19071982@gmail.com,
тел.: +38 (097) 645-38-70,
ORCID: 0000-0002-5591-1827

СЛОБОДЯНИК И.Ю. Научный сотрудник, ГП «Государственный научно-исследовательский институт строительных конструкций», г. Киев, Украина
e-mail: irina.slobodyanik@gmail.com,

тел.: +38 (050) 224-69-51,
ORCID: 0000-0003-2857-7066

СТЕПАНЧУК Н.В. Младший научный сотрудник, ГП «Государственный научно-исследовательский институт строительных конструкций», г. Киев, Украина,
e-mail: nataskas666@gmail.com,
тел.: +38 (097) 209-66-69,
ORCID: 0000-0003-2562-7013

КОСТЕЦКАЯ С.Н. Ведущий инженер, ГП «Государственный научно-исследовательский институт строительных конструкций», г. Киев, Украина,
e-mail: niiskgts@gmail.com,
тел.: +38 (067) 138-40-28,
ORCID: 0000-0002-1799-6006

АННОТАЦИЯ

Уплотнение застройки современных мегаполисов вынуждает осуществлять строительство на территориях со сложными рельефом, инженерно-геологическими условиями и опасными геологическими процессами.

На примере проектирования административно-общественного комплекса выполнена оценка устойчивости склона прилегающей территории в период строительства и влияния гидрогеологического режима на комплекс после окончания строительства, а также определен приток воды в котлован и фильтрационные параметры подземного потока на участке строительства.

Оценка устойчивости склона выполнялась с учетом строительства административно-общественного комплекса для природного состояния ґрунтов и при полном их водонасыщении.

Расчет притока воды в котловане основан на теории фильтрации, разработанной Н.Н. Павловским.

Фильтрационная прочность ґрунта при выходе ґрунтовых вод в котлован оценивается на основании расчетов и экспериментальных исследований ґрунтов при действующих на участке строительства градиентах напора и особенностей конструкций.

С целью анализа влияния комплекса после завершения строительства на гидрогеологический режим выполнено численное моделирование движения подземных вод. Моделирование выполнялось при помощи вычислительной программы, которая рассчитывает трехмерный фильтрационный поток, баланс водных масс, массоперенос и позволяет определить все необходимые параметры ґрунтового потока, а также построить карту гидроизогипс для существующих уровней ґрунтовых вод и их прогнозируемого подъема на 1,5 м и визуализировать полученные результаты. Эти расчёты позволяют оценить возможность



подтопления существующих зданий на прилегающей территории в результате возникновения «баражного эффекта», вызванного заглублением подземной части комплекса ниже уровней грунтовых вод.

Представленные результаты исследований могут быть использованы при принятии технических решений по увеличению устойчивости склона с учетом строительства, а также по выбору конструктивных методов защиты от фильтрационного выпора грунта в котловане при строительстве и защите фундаментов и подземных конструкций от подтопления подземными водами в результате изменения гидрогеологического режима.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА: новое строительство, сложные инженерно-геологические условия, расчеты устойчивости склона, водонасыщение грунтов, расчет притока воды в котлован, проверка фильтрационной прочности грунта, выпор грунта, расчет плановой фильтрации.

THE ASSESSMENT OF THE SLOPE STABILITY AND HYDROGEOLOGICAL REGIME DURING THE STAGES OF DESIGNING AND OPERATION OF THE ADMINISTRATIVE-PUBLIC COMPLEX AT 1 I. MAZEPA ST. IN KYIV

SHUMYNSKY V.D. PhD, Lead Researcher, State Enterprise «State Research Institute of Building Constructions», Kyiv, Ukraine, e-mail: shumikvd@gmail.com, tel.: +38 (095) 040-72-07, ORCID: 0000-0001-9270-6649

STEPANCHUK S.V. Senior Researcher, State Enterprise «State Research Institute of Building Constructions», Kyiv, Ukraine, e-mail: serij19071982@gmail.com, tel.: +38 (097) 645-38-70, ORCID: 0000-0002-5591-1827

SLOBODIANIK I.Yu. Researcher, State Enterprise «State Research Institute of Building Constructions», Kyiv, Ukraine, e-mail: irina.slobodyanik@gmail.com, tel.: +38 (050) 224-69-51, ORCID: 0000-0003-2857-7066

STEPANCHUK N.V. Junior Researcher, State Enterprise «State Research Institute of Building Constructions», Kyiv, Ukraine, e-mail: nataskas666@gmail.com, tel.: +38 (097) 209-66-69, ORCID: 0000-0003-2562-7013

KOSTETSKA S.M. Lead Engineer, State Enterprise «State Research Institute of Building Constructions»,

Kyiv, Ukraine,
e-mail: niiskgts@gmail.com,
tel.: +38 (067) 138-40-28,
ORCID: 0000-0002-1799-6006

ABSTRACT

The dense built-up environment of modern megacities forces to carry out construction in areas with complex engineering-geological conditions and terrains and dangerous geological processes.

Using the example of designing an administrative-public complex, the assessment of the adjacent territory slope stability during the construction and of the hydrogeological regime influence on the complex after completion of construction was made. Also, the inflow to the pit and the filtration parameters of the underground flow at the construction site were determined.

The assessment of slope stability was carried out for the natural condition of soils and with their full water saturation taking into account the construction of the administrative-public complex.

The calculation of the water inflow in the pit was based on the theory of filtration developed by N. N. Pavlovski.

The filtration strength of the soil when the groundwater entered the pit was assessed on the basis of the calculations and experimental researches of soils with pressure gradients and of construction features at the construction site.

In order to analyse the impact of the complex on the hydrogeological regime after completion of construction, the numerical simulation of the groundwater movement was performed. The simulation was performed using a computational program that calculated a three-dimensional filtration flow, water mass balance and mass transfer and allowed determining all the required parameters of the ground flow. It also allowed building a map of hydroisohyses for the existing groundwater levels and their predicted rise of 1.5 m, and visualizing the results. These calculations made it possible to estimate the possibility of flooding of existing buildings in the adjacent territory because of the occurrence of the “damming effect” caused by the deepening of complex underground part below the groundwater level.

The presented research results can be used in making technical decisions for the increase of the stability of the slope taking into account the construction, as well as the selection of constructive methods of protection against filtration soil bulging in the pit during the construction and the protection of foundations and underground structures from groundwater flooding because of changes in a hydrogeological regime.

KEY WORDS: a new building, the complex engineer-geological conditions, the calculation of the slope stability, a full water saturation of soils,



the calculation of the water inflow in the pit, a check of the soil filtration strength, a soil bulging, the planned filtration calculation

ВСТУП

Ущільнення забудови сучасних мегаполісів примушує здійснювати будівництво на територіях зі складними рельєфом, інженерно-геологічними умовами і небезпечними геологічними процесами. Для забезпечення надійної роботи комплексу, що проектується, слід оцінити стійкість прилеглої схилу в період будівництва, вплив гідрогеологічного режиму після завершення його будівництва, а також визначити приток води в котлован та, при необхідності, застосувати заходи щодо підвищення стійкості схилу, захист від фільтраційного випору ґрунту на дні котловану в процесі будівництва комплексу та підземних конструкцій від можливого підтоплення підземними водами у результаті зміни гідрогеологічного режиму.

Мета роботи – оцінка стійкості схилу на прилеглої території під час будівництва, впливу гідрогеологічного режиму на період експлуатації адміністративно-громадського комплексу, а також виконання фільтраційних розрахунків на період будівництва та розрахунків планової фільтрації в період експлуатації комплексу.

МЕТОДИКА ДОСЛІДЖЕНЬ

Виконання розрахунків стійкості схилу з використанням методу Г.М. Шахунянца та аналізу зміни напружено-деформованого стану (далі – НДС) масиву ґрунту по моделі Мора-Кулона з врахуванням впливу гідрогеологічного режиму на період будівництва та експлуатації комплексу; визначення фільтраційних параметрів

підземного потоку на ділянці будівництва; розробка рекомендацій щодо забезпечення стійкості схилу та запобігання перезволоженню ґрунтів.

ЗАГАЛЬНІ ДАНІ

Адміністративно-громадський комплекс з паркінгом розташований по вул. І. Мазепи, 1 у м. Києві. На рис. 1 показано генплан ділянки будівництва.

Комплекс, що проектується, відноситься до значного класу наслідків (відповідальності) ССЗ і складається з чотирьох будівель: 1 - 4 - відповідно 14-ти, 17-ти, 5-ти та 10-ти поверхові офісні будівлі [1].

ІНЖЕНЕРНО-ГЕОЛОГІЧНІ ТА ГІДРОГЕОЛОГІЧНІ УМОВИ ДІЛЯНКИ БУДІВНИЦТВА

У геоморфологічному відношенні майданчик будівництва знаходиться на водороздільному плато правого берега р. Дніпро. Північно-східна частина майданчику закінчується крутим схилом долини р. Дніпро. У результаті виконаних інженерно-геологічних досліджень [2] виділено наступні інженерно-геологічні елементи (наведені для розрізу 10-10, рис. 1), [3]: ІГЕ-1 – насипний шар; ІГЕ-2 – супісок лесовидний, просідний, твердий та пластичний; ІГЕ-2а – супісок лесовидний, непросідний, текучий; ІГЕ-3 – суглинок, тугопластичний; ІГЕ-4 – пісок пілуватий; ІГЕ-5 – супісок пластичний; ІГЕ-6 – глина напівтверда; ІГЕ-7 – супісок пластичний; ІГЕ-8 – суглинок тугопластичний і м'якопластичний; ІГЕ-9 – суглинок м'якопластичний; ІГЕ-10 – глина тверда і напівтверда; ІГЕ-11 – глина тверда і напівтверда; ІГЕ-12 – пісковик зцементований; ІГЕ-13 – супісок твердий; ІГЕ-14 – пісок пілуватий.

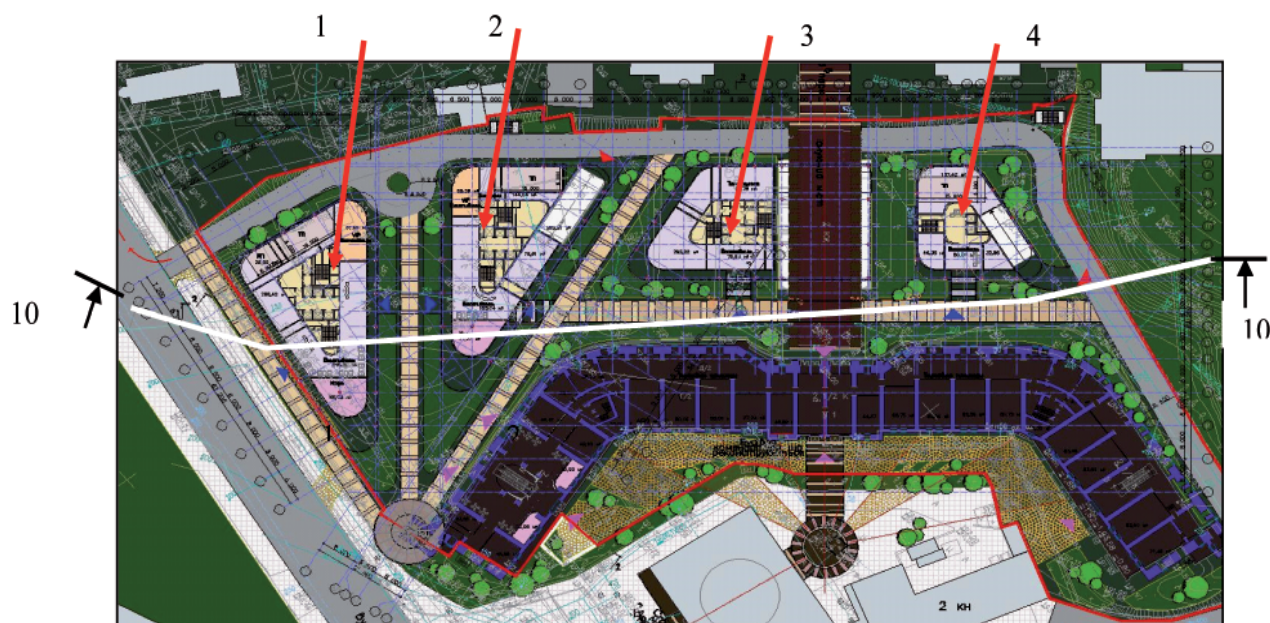


Рис. 1. Генплан ділянки будівництва



Ділянка будівництва має складні інженерно-геологічні умови, що обумовлені:

- а) наявністю в товщі лесових просідаючих ґрунтів від власної ваги при замочуванні (ІГЕ-2). Сумарна просадка лесової товщі при повному водонасиченні становить 5,2 - 6,9 см;
- б) розташуванням ділянки будівництва біля схилу.

Гідрогеологічні умови ділянки характеризуються наявністю двох водоносних горизонтів. Підземні води першого від поверхні безнапірного водоносного горизонту зустрінуті на глибині 6,3 - 11,5 м (абс. відмітки 175,19 - 180,38 м). Другий напірний водоносний горизонт залягає в інтервалі 33 - 35 м (абс. відмітки 152,8 - 154,0 м).

Максимальний рівень підземних вод з врахуванням сезонного коливання приймається на 1,5 м вище зустрінутого під час вишукувань.

На момент проведення інженерно-геологічних вишукувань фізико-геологічні процеси на території майданчика будівництва (зсувонебезпечні явища, ріст ярів, ерозійні процеси тощо) відсутні.

ОЦІНКА СТІЙКОСТІ СХИЛУ

Оцінка стійкості схилу виконувалась з урахуванням будівництва адміністративно-громадського комплексу для перерізу 10-10 (рис. 1), за допомогою двох методів:

- 1) за методом блоків (метод Г. М. Шахунянца);
- 2) за аналізом зміни НДС ґрунтів схилу.

Розрахунки виконувались для схилу з урахуванням статичних та фільтраційних навантажень.

РОЗРАХУНОК СТІЙКОСТІ СХИЛУ ЗА МЕТОДОМ Г.М. ШАХУНЯНЦА

Метод розрахунку стійкості схилу Г.М. Шахунянца базується на розв'язанні плоскої задачі по заданому перерізі при наявності в масиві схилу фіксованої поверхні ковзання [4].

Врахування сейсмічного впливу при розрахунку стійкості схилу здійснюється додаванням до розрахункових зусиль сейсмічної сили. Утримуючі

споруди влаштовуються при недостатній стійкості схилу (коефіцієнт стійкості менший за нормований для даного класу наслідків (відповідальності) споруди, $k_{st} < k_{sn}$) [4].

На рис. 2 приведена схема до розрахунків стійкості схилу для розрізу 10-10 під час будівництва. За результатами розрахунків стійкості схилу визначено, що коефіцієнт запасу стійкості для перерізу 10-10 складає $k_{st} = 3,23$ (в природному стані), що більше нормативного значення $k_{sn} = 1,25$ (для значного класу наслідків СС3), і $k_{st} = 1,16$ (в стані повного водонасичення ґрунту), що менше нормованого значення k_{sn} .

РОЗРАХУНОК СТІЙКОСТІ СХИЛУ ЗА АНАЛІЗОМ НАПРУЖЕНО-ДЕФОРМОВАНОГО СТАНУ (НДС) ҐРУНТІВ

Розрахунки по оцінці стійкості схилу за змінами НДС масиву ґрунту виконували по моделі Мора-Кулона. Ця модель включає наступні параметри: параметри жорсткості (E), коефіцієнт Пуассона (ν_w), питоме зчеплення (c), кут тертя (φ) і кут дилатансії (ψ), об'ємна вага ґрунту в сухому (γ_{unsat}) і водонасиченому (γ_{sat}) станах, коефіцієнти фільтрації k_{fx} і k_{fy} .

Аналітично-графічний аналіз зміни НДС ґрунтів виконувався з використанням прикладних програм із застосуванням методів статистичного опрацювання результатів досліджень. Граничні умови в нижній частині моделі представлені у вигляді суцільного защемлення, а вертикальні стінки – у вигляді шарнірних опор.

Розрахункова схема по оцінці стійкості схилу за зміною НДС масиву ґрунту з урахуванням фаз будівництва представлена на рис. 3.

Розрахунок стійкості схилу виконаний методом Φ - c -reduction (φ - c -приведення), що використовується для визначення коефіцієнту стійкості. Параметри міцності контролювалися загальним множником ΣM_{sf} . Цей параметр поетапно збільшується, поки напруження в ґрунті не досягнуть руйнівних значень.

Розрахунок виконувався з урахуванням послідовності зведення об'єкта методом «top-

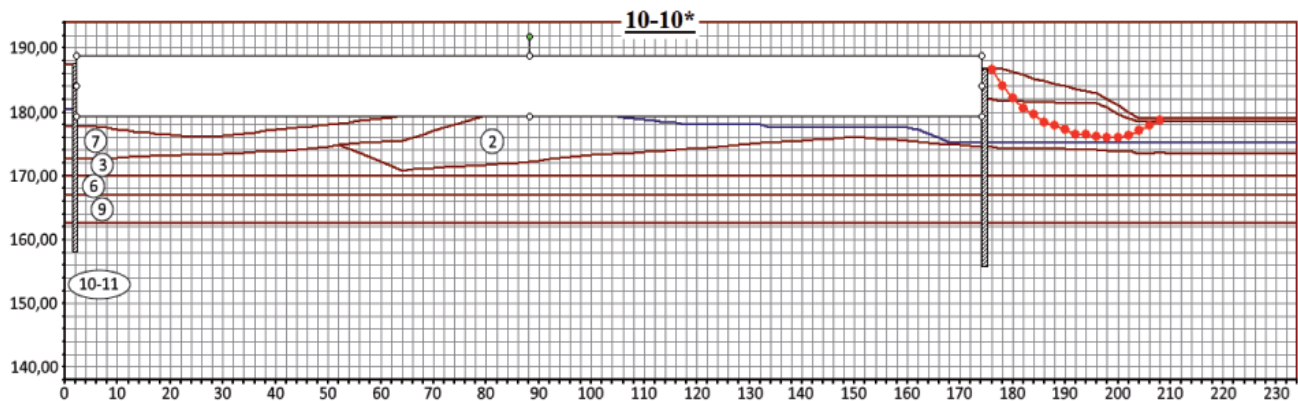


Рис. 2. Схема до розрахунку стійкості схилу за методом Г.М. Шахунянца

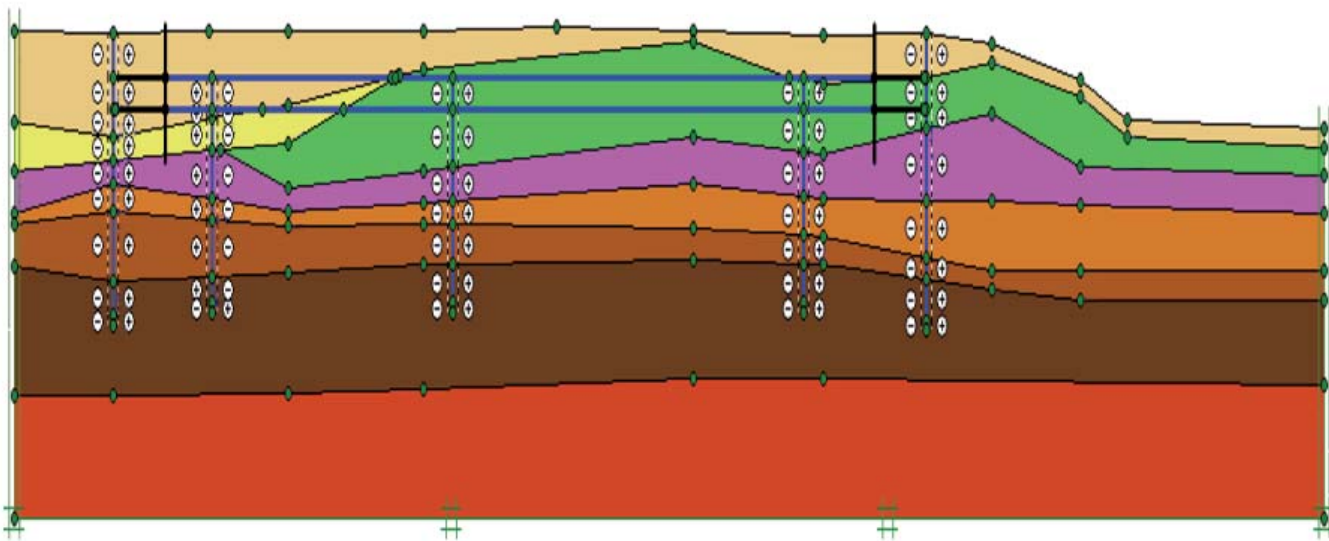


Рис. 3. Схема для розрахунку стійкості схилу в період будівництва комплексу (зведення об'єкта за фазами)

down» за наступними фазами:

Фаза 1 – масив ґрунту в природному стані; фаза 2 – з палями основного ряду (огородження котловану); фаза 3 – екскавація ґрунту до відм. -9,30 м; фаза 4 – влаштування паль $\varnothing 620$ мм для тимчасових металевих стійок із двотавра 30К3; фаза 5 – влаштування плити перекриття на відм. -9,30 м і встановлення на цьому рівні розпірних елементів з труб; фаза 6 – екскавація ґрунту до відм. -12,60 м; фаза 7 – влаштування плити перекриття на відм. -12,60 м і встановлення на цьому рівні розпірних елементів з труб; фаза 7 – визначення коефіцієнту стійкості схилу, прилеглого до ділянки будівництва.

За результатами розрахунків за зміною НДС коефіцієнт стійкості схилу в природному стані $k_{st} = 2,57$, що більше нормативного значення $k_{sn} = 1,25$, та коефіцієнт стійкості схилу при повному водонасиченні ґрунтів $k_{st} = 1,11$, що менше нормованого значення k_{sn} [4].

ВИЗНАЧЕННЯ ПРИТОКУ ВОДИ В КОТЛОВАН

Методика розрахунку базується на теорії фільтрації в однорідних ґрунтах, що розроблена М. Павловським [5, 6] для випадку необмеженої потужності водопроникної основи. На рис. 4 приведена схема до розрахунку притоку води в котлован. Огороження котловану приймаємо водонепроникним із

паль $\varnothing 820$ мм (основний ряд).

При визначенні фільтраційної витрати води, що надходить в котлован, прийнята одностороння схема, при якій вода надходить з однієї сторони. Рівень води на рис. 4 прийнятий з урахуван-

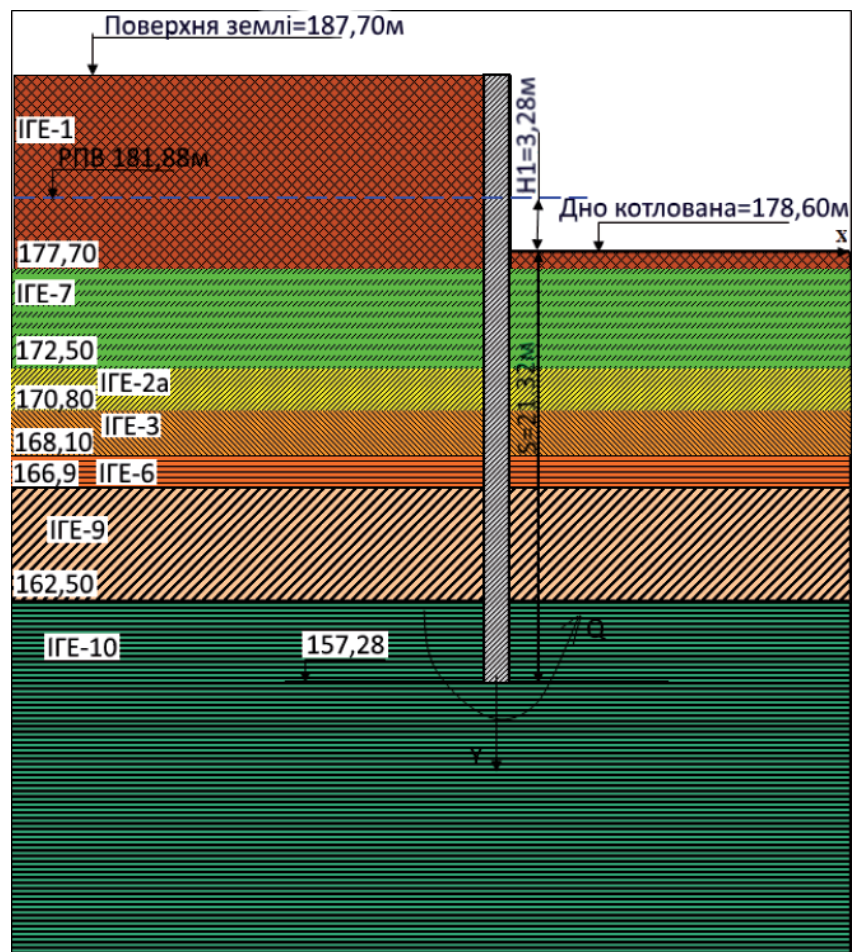


Рис. 4. Схема до розрахунку притоку води в котлован



ням прогнозованого підйому на 1,5 м.

Розподіл швидкостей фільтраційного потоку в місці його виходу в котлован в рівні дна визначається за рівнянням:

$$v = kH \frac{1}{\pi} \cdot \frac{1}{\sqrt{s^2 + x^2}}, \quad 0 \leq x \leq \infty. \quad (1)$$

де k – коефіцієнт фільтрації ґрунту основи дна котловану, м/добу; H – напір на огороження котловану, $H_1 = 3,28$ м (рис. 4); S – заглиблення огороження котловану у вигляді паль, рівне 21,32 м.

Швидкості фільтраційного потоку будуть мати максимальне значення при виході води в котлован по контакту огороження з ґрунтом дна котловану при значенні $x = 85,0$ м.

Питома фільтраційна витрата, що надходить в котлован зі сторони огороження котловану, визначається з врахуванням залежності

$$K_{cp} = \frac{\sum_{i=1}^{n=8} K_i}{n} \quad \text{за формулою:}$$

$$q = kH \frac{1}{\pi} \text{Arch}\left(-\frac{x}{s}\right), \quad -\infty \leq x \leq -s. \quad (2)$$

Загальна фільтраційна витрата, що надходить в котлован по його периметру, визначається за формулою:

$$Q = q \cdot B, \quad (3)$$

де B – периметр котловану, в межах якого діє напір H ($B = 190$ м), q – питома витрата, що надходить в котлован, м²/добу.

Для оцінки діапазону фільтраційних витрат, що надходять в котлован, виконувались розрахунки за формулами 1 - 3 при напорі на огороження котловану $H=3,28$ м для середньозваженого коефіцієнту фільтрації $k_1=0,512$ м/добу і заглибленні огороження котловану $S=21,32$ м. Додатково виконані розрахунки для коефіцієнту фільтрації $k_2=0,001$ м/добу (для ІГЕ -10).

Результати розрахунку по визначенню фільтраційної витрати, що надходить в котлован з двох сторін: для $k_1=0,512$ м/добу питома і загальна фільтраційні витрати відповідно $q=1,12$ та $Q=106,4$ м, для $k_2=0,001$ м/добу питома і загальна фільтраційні витрати відповідно $q=0,002$ та $Q=0,38$ м. Таким чином, можливий приток води в котлован за умови нещільності прилягання ґрунту до огороження котловану та нещільності огороження складає $Q \approx 110$ м³/добу.

ПЕРЕВІРКА ФІЛЬТРАЦІЙНОЇ МІЦНОСТІ ҐРУНТУ

Фільтраційну міцність ґрунту основи оцінюють на основі розрахунків і експериментальних досліджень ґрунтів при діючих на ділянці будівництва градієнтах напору з урахуванням

напружено-деформованого стану споруди і її основи, особливостей конструкцій, методів дії і умов експлуатації.

При оцінці місцевої фільтраційної міцності ґрунту необхідно виконати умову

$$I_{est,m} \leq \frac{1}{\gamma_n} \cdot I_{cr,m}, \quad (4)$$

де $I_{est,m}$ – діючий середній градієнт напору в розрахунковій області фільтрації; $I_{cr,m}$ – критичний середній градієнт напору; γ_n – коефіцієнт надійності по відповідальності споруд, що для споруд класу наслідків (відповідальності) СС3, рівний 1,25.

При цьому в глинистих ґрунтах мають місце спеціальні види фільтраційних деформацій ґрунтів - фільтраційний випір. Із умови граничної рівноваги призми глинистого ґрунту з одиничною площею в основі визначається критичний градієнт напору $I_{cr,m}$ на випір за формулою:

$$I_{cr,m} = \left(\frac{\gamma}{\gamma_w} - 1 \right) \cdot (1 - n), \quad (5)$$

де γ і γ_w – відповідно щільність ґрунту і води, рівні 11,5 кН/м³ (для ІГЕ-1) і 10 кН/м³; n – пористість ґрунту (ІГЕ-1), рівна 0,67.

Тоді $I_{cr,m} = (11,5/10-1) \cdot (1-0,67) = 0,05$.

Перевірка фільтраційної міцності ґрунту проводиться в місцях виходу фільтраційного потоку в котлован (рис. 4). Огороження котловану прийнято з буронабивних паль діаметром 0,82 м. Відмітки занурення паль в ґрунт становлять 157,28 м.

Діючий градієнт $I_{est,m}$ визначається будь-яким способом, за допомогою якого можна визначити частину діючого напору Δh , що втрачений на ділянці ΔL в місці виходу фільтраційного потоку в котлован. Фактичний середній градієнт напору в місці виходу фільтраційного потоку в котлован визначається за формулою:

$$I_{est,m} = H / \Delta L, \quad (6)$$

де $\Delta h = H$ – втрата діючого напору на огороженні з двох сторін котловану, м; $H=3,28$ м; ΔL – довжина, в межах якої втрачається напір H на довжині $L=46,74$ м.

Тоді фактичний градієнт в місцях виходу фільтраційного потоку в котлован буде рівний (рис. 4):

$$I_{est,m} = H / \Delta L = 3,28/46,74 = 0,07.$$

Для отриманих значень $I_{cr,m}$ і $I_{est,m}$ перевіряємо виконання умови (4).

$0,05 \leq (1/1,25) \cdot 0,07 = 0,05$ – умова виконується. Таким чином, в місці виходу фільтраційного потоку в котлован фільтраційного випору не буде.



РОЗРАХУНОК ПЛАНОВОЇ ФІЛЬТРАЦІЇ НА ДІЛЯНЦІ БУДІВНИЦТВА ПРИ ПРОГНОЗОВАНОМУ ПІДЙОМІ РІВНІВ ПІДЗЕМНИХ ВОД НА 1,5 М.

Для аналізу впливу будівництва комплексу на зміну гідрогеологічного режиму виконане чисельне моделювання руху підземних вод. Розрахунки виконувалися за допомогою програми, що забезпечує розрахунки тривимірного фільтраційного потоку, балансу водних мас та масопереносу і дозволяє визначати всі необхідні параметри потоку й масиву ґрунту, а також дозволяє візуалізувати отримані результати.

Вирішувалася задача фільтрації, у якій визначалися параметри фільтраційного потоку, положення рівнів підземних вод при наявності проєктованого комплексу на шляху руху підземних вод.

Розрахунки виконані для ділянки розміщення комплексу – 330'220'30 м, крок дискретизації змінний. Граничними умовами є положення поверхні водоносних горизонтів, що визначалися за допомогою інтерполяції рівнів підземних вод по окремих шарах виконаних при інженерно-геологічних вишукуваннях.

Оцінка впливу будівництва комплексу на гідрогеологічний режим території проводилася на основі виконаних розрахунків. Були виконані розрахунки при наявності перешкоди (будівлі, що проєктується) на шляху фільтраційного потоку з урахуванням існуючої забудови при прогнорованому підйомі рівня підземних вод на 1,5 м.

На рис. 5 представлена карта гідроізогіпс з урахуванням розміщення комплексу, що проєктується. На рис. 6 показаний розріз з поло-

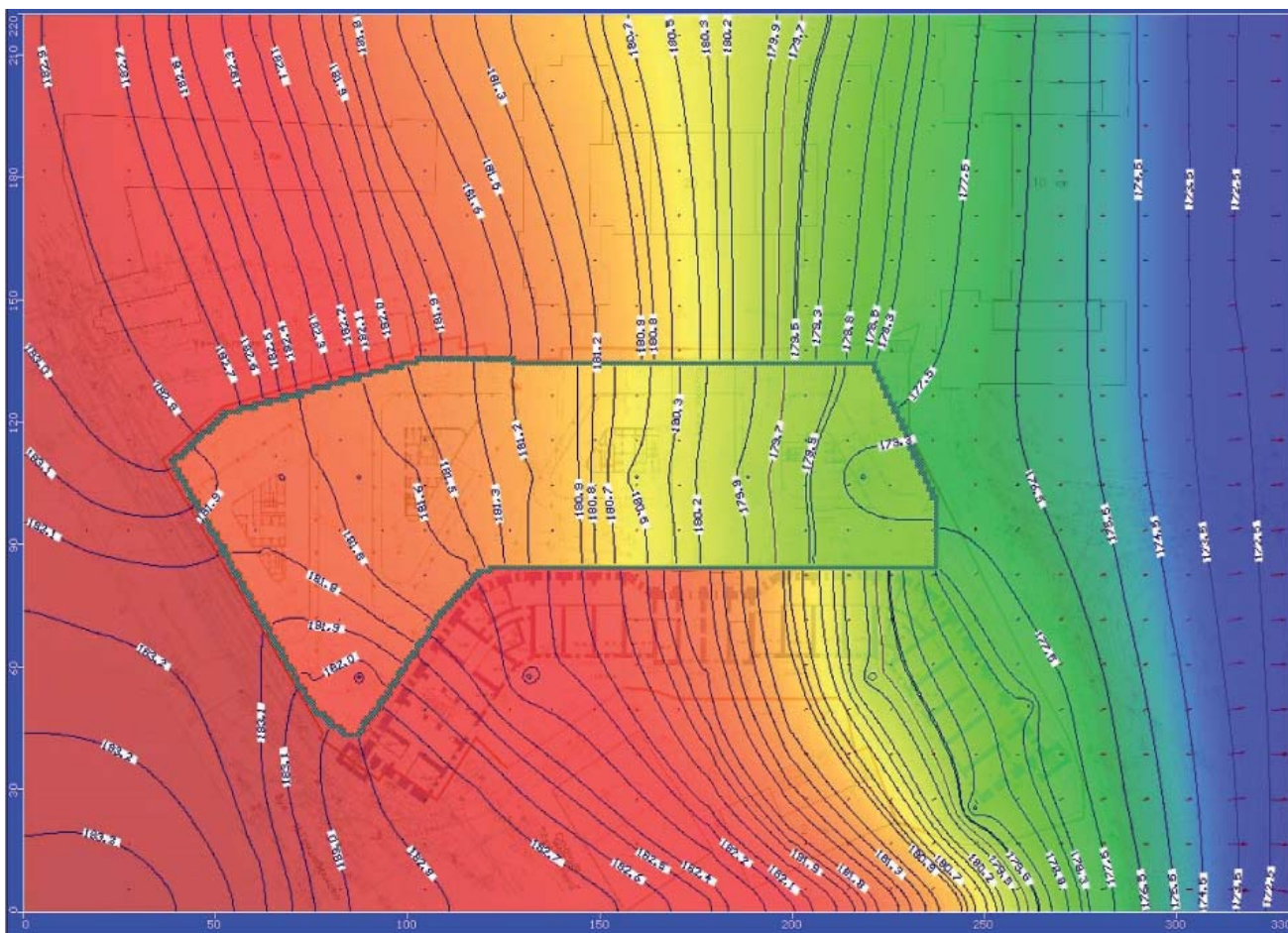


Рис. 5. Карта гідроізогіпс із урахуванням розміщення комплексу, що проєктується, при прогнорованому підйомі рівнів підземних вод на 1,5 м

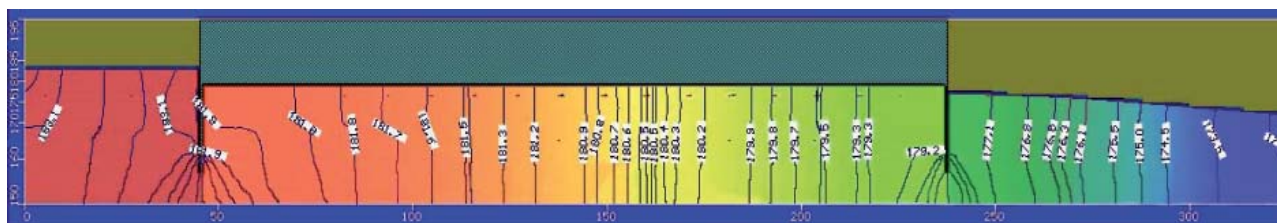


Рис. 6. Розріз з урахуванням розміщення комплексу



женням ліній гідроізогіпс.

Аналіз розрахунку планової фільтрації свідчить, що зміна рівня підземних вод (баражний ефект) буде спостерігатися на відстані понад 50 м перед проєктованим комплексом. При прогнозованому підвищенні рівня підземних вод, після зведення комплексу гідрогеологічний режим на прилеглий території зміниться, але підвали існуючих будинків не будуть підтоплені. Фундаменти запроєктованих будинків будуть підтоплені, тому необхідно передбачити заходи щодо гідроізоляції підземної частини комплексу, що проєктується.

При прогнозованому підйомі ґрунтових вод на 1,5 м можливе замочування просідних ґрунтів основи (ІГЕ-2), що може призвести до додаткових осідань ґрунту і деформацій існуючих будівель.

ВИСНОВКИ

За результатами аналізу інженерно-геологічних, гідрологічних умов ділянки будівництва, а також результатами розрахунків стійкості схилу та оцінки гідрогеологічного режиму отримано:

1. У період сезонного коливання рівня підземних вод можна очікувати його підняття на 1,5 м вище зустрінутого в період вишукування. Зміна рівня підземних вод буде спостерігатися на відстані більше 50 м перед проєктованим комплексом.
2. За результатами розрахунків стійкості схилу з урахуванням будівництва отримано наступні результати.

Згідно методу Г.М. Шахунянца мінімальний коефіцієнт запасу стійкості для перерізу 10-10 складає $k_{st} = 3,23$ (в природному стані), що більше нормативного значення $k_{sn} = 1,25$ (для значного класу наслідків СС3), і $k_{st} = 1,16$ (в стані повного водонасичення ґрунтів), що менше нормованого значення k_{sn} .

Згідно методу аналізу зміни НДС ґрунту мінімальний коефіцієнт запасу стійкості для перерізу 10-10 складає $k_{st} = 2,57$ (в природному стані), що більше нормативного значення $k_{sn} = 1,25$, і $k_{st} = 1,11$ (в стані повного водонасичення ґрунтів), що менше нормованого значення k_{sn} .

Результати розрахунків, виконані за двома методами (Г.М. Шахунянца та за аналізом зміни НДС ґрунту) з урахуванням будівництва адміністративно-громадського комплексу свідчать, що схил знаходиться в стійкому стані для ґрунтів у природному стані і в стані критичної рівноваги при повному водонасиченні ґрунтів. Коефіцієнт стійкості схилу значно зменшується при повному водонасиченні ґрунтів, що може статися у результаті інтенсивного випадіння атмосферних опадів, танення снігу та повного замочування ґрунтів, що потребує відповідних заходів щодо регулювання поверхневого та підземного стоків (шляхом влаштування дренажу).

Для виключення замочування ґрунтів слід виконати регулювання поверхневого (поверхневе водовідведення) та підземного (влаштування дренажу) стоків.

3. Для підвищення стійкості схилу та надійності експлуатації комплексу слід запроектувати протизсувні (утримуючі) споруди, виконати розрахунки протизсувних споруд та огороження котловану з урахуванням навантажень від схилу, етапів будівництва об'єкту, сейсмічності ділянки будівництва та їх коригування.
4. За результатами гідрогеологічних розрахунків (визначення притоку води в котлован та перевірки фільтраційної міцності ґрунту, розрахунку планової фільтрації на ділянці будівництва при прогнозованому підйомі рівнів підземних вод з урахуванням комплексу, що проєктується) отримано наступне.

При виконанні водонепроникного огороження вода в котлован надходить не буде. За умови нещільності прилягання ґрунту до огороження котловану, нещільності самого огороження та основи можливий притік води в котлован близько $Q = 110 \text{ м}^3/\text{добу}$.

У результаті розрахунку фільтраційної міцності ґрунту основи виявлено, що в місці виходу фільтраційного потоку в котлован фільтраційного випору не буде.

За результатами розрахунків планової фільтрації при прогнозованому підвищенні рівня підземних вод, після зведення комплексу гідрогеологічний режим на прилеглий території зміниться, підвали існуючих будинків не будуть підтоплені. Фундаменти запроєктованих будинків будуть підтоплені. При прогнозованому підйомі ґрунтових вод на 1,5 м можливе замочування просідаючих ґрунтів основи (ІГЕ-2), що може призвести до додаткових осідань ґрунту і деформацій існуючих будівель.

5. Необхідно передбачити заходи щодо гідроізоляції підземної частини комплексу, що проєктується.

БІБЛІОГРАФІЧНИЙ СПИСОК

1. Звіт про науково-технічну роботу. Оцінка впливу будівництва багатофункціонального адміністративно-громадського комплексу по вул. І. Мазепи, 1 у Печерському районі м. Києва на гідрогеологічний режим прилеглої території та стійкість схилу. - Кн. 2. - Київ : ДП НДІБК, 2013. - 55 с.
2. Інженерні вишукування для будівництва: ДБН А.2.1-1-2008. - [Чинні від 2008-07-01]. - Київ: ДП «Укрархбудінформ», 2008. - II, 72 с. - (Буд. норми України).
3. Звіт про інженерно-геологічні вишукування під споруди багатофункціонального



адміністративного комплексу. Будівництво багатофункціонального адміністративно-громадського комплексу з апартаментами та паркінгом, з реконструкцією та реставрацією з пристосуванням пам'ятки архітектури "Миколаївські ворота з прилеглими будівлями (1846-1850 років)" по вул. Івана Мазепи, 1 у Печерському районі м. Києва. – Київ: ДП МО України «ЦПІ», 2012. – 12 с.

4. Інженерний захист територій, будівель і споруд від зсувів та обвалів. Основні положення: ДБН В 1.1-46:2017. – [Чинні від 2017-11-01]. – Київ: ДП «Укрархбудінформ», 2017. – IV, 47 с. - (Буд. норми України).
5. Гидротехнические сооружения; Под ред. Н.П. Розанова. – М.: Агропромиздат, 1985. – 432 с.
6. Гидротехнические сооружения. Справочник проектировщика; Под ред. В.П. Недриги. – М.: Стройиздат, 1983. – 544 с.

Стаття надійшла до редакції 25.10.2018.