

УДК 624.1

ОСОБЛИВОСТІ ВЛАШТУВАННЯ ФУНДАМЕНТІВ НА ПІДТОПЛЕНИХ І ПОТЕНЦІЙНО ПІДТОПЛЮВАНИХ ТЕРИТОРІЯХ

Канд. техн. наук О. І. Бондаренко, канд. геол.-мін. наук Г. Г. Стріжельчик,
канд. техн. наук І. В. Храпатова, аспіранти Є. П. Василенко, О. Є. Ляпін

FEATURES OF FOUNDATION ARRANGEMENT IN FLOODED AND POTENTIALLY FLOODED TERRITORIES

PhD (Tech.) O. I. Bondarenko, PhD (Geol.) G. G. Strizhelchik, PhD (Tech.) I. Khrapatova,
postgraduate student E. P. Vasylenko, postgraduate student O. E. Liapin

DOI: <https://doi.org/10.18664/1994-7852.210.2024.320679>



Анотація. Через збільшення глибини закладення фундаментів у разі будівництва підземних паркінгів і захисних укриттів почастишали випадки розкриття котлованами несподівано перезволожених ґрунтів м'якопластичної консистенції, хоча, за результатами інженерно-геологічних вишукувань, ґрунти знаходились у напівтвердому стані, і рівень ґрунтової води був зафіксований на глибині одного метра від дна майбутнього котловану. Тобто фактично змінилися властивості суглинистого ґрунту, який мав бути основою плитного фундаменту, і для продовження будівництва потрібно провести інженерну підготовку ґрунтової основи. Було запропоновано влаштування щебеневої подушки і гідроізоляцію фундаменту з використанням комплексної хімічно активної добавки «Навікон» проникної дії для захисту від ґрунтової води. Поєднання таких заходів дало змогу підвищити несучу здатність ґрунтової основи і одночасно відмовитися від стаціонарних дренажних споруд. Товщину подушки, кількість шарів, використання або невикористання вібраційного впливу за ущільнення подушки, кількість проходів тощо визначали на дослідній ділянці котловану, яка потім увійшла в склад загальної подушки. Як показали розрахунки та експериментальні ущільнення, малоповерхові споруди (двоповерхові) можна будувати на одношарових щебених подушках до 30 см товщиною, оскільки тиск від вийнятого ґрунту можна порівняти з тиском від споруди. При цьому осадка споруд, навіть на слабких ґрунтах, практично не відбувається.

Для багатоповерхових споруд (три і чотири поверхи) можна застосовувати двошарову щебенеvu подушку товщиною до 50 см: нижній шар – фракція 40-70 мм, верхній шар – фракція 20-40 мм.

Ключові слова: підтоплені території, інженерна підготовка, ґрунтові подушки.

Abstract. To address the challenges posed by unexpectedly waterlogged soils of soft-plastic and plastic consistency during the construction of underground parking lots and protective shelters, it is crucial to adopt effective foundation preparation methods. The most reliable approach involves the use of crushed stone cushions combined with formation drainage. However, the significant depth of the pits and the absence of gravity drainage often make this method impractical.

For low-rise buried structures, a crushed stone cushion up to 30 cm thick is sufficient. This thickness is effective because the mass of the excavated soil is comparable to the pressure exerted on the foundation's base. With a deformation modulus of 8-10 MPa, such a cushion ensures minimal settlement of structures, even on weak soils.

In the case of multi-storey buildings, a more robust solution is required. A two-layer crushed stone cushion, 50 cm thick, is recommended. The lower layer should consist of stones with a fraction size of 40-70 mm, while the upper layer should have a fraction size of 20-40 mm. After compaction, this cushion achieves a deformation modulus of 20-Additionally, the implementation of formation drainage systems, where feasible, can significantly enhance the effectiveness of these crushed stone cushions. These systems help manage water levels and prevent the accumulation of waterlogged soils, thereby maintaining the integrity and stability of the foundation over time.

In summary, while the preparation of foundations in waterlogged soils presents challenges, the strategic use of crushed stone cushions and formation drainage can provide effective solutions. For low-rise structures, a 30 cm thick cushion is adequate, whereas multi-storey buildings benefit from a two-layer cushion with a total thickness of 50 cm. These measures ensure that even in the presence of weak soils, the foundations remain stable and secure.

Keywords: flooded areas, engineering preparation, soil cushions.

Вступ. В останні роки через збільшення глибини закладення фундаментів у разі будівництва підземних паркінгів і захисних укриттів почастишали випадки розкриття котлованами несподівано перезволожених ґрунтів м'якопластичної консистенції [1], хоча, за результатами інженерно-геологічних вишукувань, ґрунти були напівтверді. Однією з причин такого явища може бути некоректне визначення рівня ґрунтових вод, який зазвичай стабілізується вище за відмітку появи води в розвідувальних свердловинах [2]. Часто не враховують висоту капілярного підняття води в ґрунті або межі максимальних коливань рівня ґрунтової води на період від виконання досліджень до початку будівництва [3].

Іноді з оцінюванням гідрогеологічних умов не виділяють території, що є потенційно підтоплюваними і не визначають фільтраційні характеристики ґрунтів за відсутності водоносного горизонту на момент проведення досліджень у складних інженерно-геологічних умовах [4-7].

У випадку, коли в котловані з'являється вода, роботи з улаштування фундаментів ускладнюються, доводиться проводити будівельне водозниження. Аналіз причин виникнення таких умов [7, 8], проведення геотехнічних досліджень і подальший моніторинг стану ґрунтів дають рекомендації з підвищення несучої здатності розуцільненої ґрунтової основи.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Найбільш ефективним способом вирішення проблем із надмірним зволоженням верхнього шару ґрунту після розкриття котловану є улаштування щелепних подушок разом із пластивим дренажем під плитним фундаментом [8]. Але частіше за все класичні варіанти дренажних споруд – променевий, кільцевий, вертикальний тощо [9-11] – не можуть бути застосовані через те, що процес осушення ґрунтової товщі дає активізацію суфозійних процесів, що послаблюють несучу здатність природної ґрунтової основи будівлі і навіть можуть призвести до утворення порожнин під фундаментом. Крім того, формується площинна зона депресії, тобто зниження рівня ґрунтової води на площі, яка значно перевищує площу споруди, що захищають, і призведе до зміни режиму ґрунтових вод на значній території.

Отже, ураховуючи, що маємо справу з заглибленими фундаментами, доведеться улаштовувати примусове відведення дренажної води, через що значно подорожчає будівництво. Можливі перерви в енергопостачанні можуть призвести до аварійних ситуацій. Самопливне водовідведення дренажної води з глибоких котлованів практично неможливо.

Також, крім високих експлуатаційних витрат і енергозалежності, реалізація такого типу захисту передбачає виконання великого об'єму будівельних, насамперед

земляних, робіт, що за стиснених умов забудови та наявності розгалуженої системи підземних комунікацій значно ускладнює процес будівництва. Необхідно застосування спеціальної будівельної і бурової техніки, постійне технічне обслуговування дренажної системи.

Визначення мети та завдання дослідження. Виходячи з фактичного стану ґрунтової основи майбутнього фундаменту (м'якопластична консистенція, знижена несуча здатність ґрунтової основи, високий рівень ґрунтової води) і аналізу розглянутих досліджень і публікацій, можна сформулювати, що потрібно одночасно вирішити питання підвищення несучої здатності ґрунтової основи плитного фундаменту принаймні до показників природного ґрунту до початку надмірного зволоження і розуцільнення і захистити підземну частину споруди від агресивного впливу ґрунтової води. При цьому використання стаціонарної дренажної системи, окрім будівельного водозниження, не є прийнятним.

Основна частина дослідження. Фільтраційний вихід ґрунтової води, спрямований вгору, зважаючи дія води призводять до розуцільнення верхнього шару ґрунтової основи і викликає активізацію суфозійних процесів. Інколи навіть може призвести до появи водоносного горизонту типу «верховодки». Рівень ґрунтових вод у добре проникних ґрунтах встановлюється у свердловинах глибиною до 12 м протягом декількох годин після проходки свердловини. У слабо проникних ґрунтах для цього потрібно не менше доби, тому для прогнозування можливого підвищення рівня ґрунтової води і переходу будівельної ділянки в категорію підтопленої треба фіксувати встановлений рівень.

Оцінити потенційну підтопленість території можна за різницею вологості в підшві та покрівлі ґрунтового шару. Значна різниця означає, що навіть за незначної зміни природних умов – улаштуванні котловану з тривалою перервою в будівельних роботах, зливі опаді,

промерзання ґрунту, вплив порового тиску та зважуючої дії води і відсутність тиску видаленого ґрунту на дно котловану, дає розуцільнення і спучування ґрунтів, причому будівельне водозниження не вирішує цю проблему. Такий процес відбувається і в глинистих і в супіщаних ґрунтах, але по-різному: від 25 до 10 см.

За складних інженерно-геологічних умов підготовку ґрунтової основи фундаментів слід проводити різними методами [12]. На ділянках, де основу складають пилюваті піски, супіски та суглинки, ефективна двошарова щєбенева подушка, ущільнена без вібраційної дії з укочуванням. Товщина подушки буде визначена глибиною втискання щєбеню в розуцільнений ґрунт і прогнозом коливання рівня ґрунтової води, оскільки тиск від вийнятого ґрунту можна порівняти з тиском по підшві фундаменту. При цьому осадка споруд, навіть на слабких ґрунтах, практично не відбувається. Штампові випробування подушки товщиною до 30 см (нижній шар із фракції щєбеню 20-40 мм, верхній шар – 10-20 мм) в інтервалі навантажень 0,1-0,3 МПа показали модуль деформації 8-10 МПа, що є достатнім для малоповерхових споруд (рисунок).

Для багатоповерхових споруд також можна застосовувати двошарову щєбєневу подушку товщиною до 50 см: нижній шар – фракція 40-70 мм, верхній шар – 20-40 мм. Модуль деформації такої подушки після ущільнення становить 20-25 МПа.

Слід зазначити, що результати розрахунків осадки багатоповерхових будівель і подальші спостереження за осадками показали близькі значення – 22 і 23 см, але тривалість осідання склала майже рік через наявність у нижній частині ґрунтової основи шару слабо проникних суглинків.

Висновки. Ґрунтова основа фундаменту, яка зазнала зниження несучої здатності за рахунок зволоження і фільтраційного розуцільнення, може бути відновлена заходами інженерної підготовки,

а саме втисканням щебеневого шару в природний ґрунт без улаштування дренажних систем.

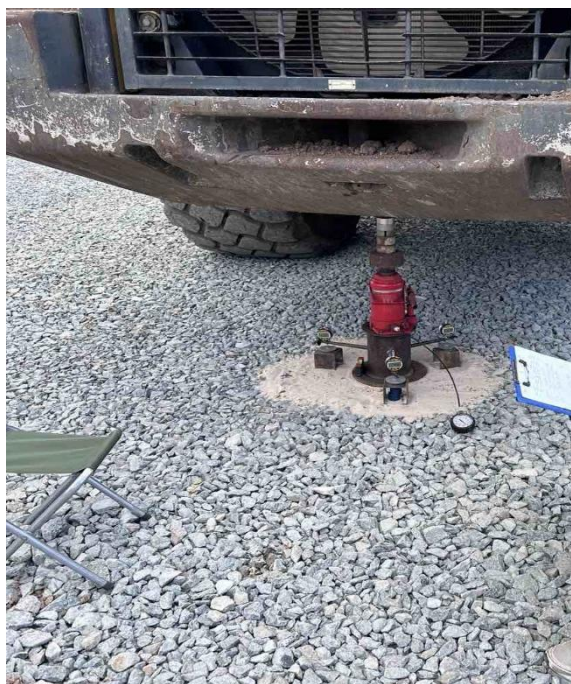


Рис. Штампові випробування подушки товщиною 30 см

Малоповерхові заглиблені споруди можна будувати на двошарових щебених

подушках до 30 см товщиною, оскільки тиск від вийнятого ґрунту можна порівняти з тиском по подошві фундаменту. Для багатоповерхових споруд можна застосовувати двошарову щебєневу подушку товщиною до 50 см.

Розрахункова осадка споруд, навіть на слабких ґрунтах, співпадає з фактичною – після ущільнення ґрунт під подушкою досягає природної щільності, при цьому з'являється ще вторинне зчеплення.

Слід зазначити важливу роль, яку виконують щебєневі подушки в зоні сезонних коливань рівня ґрунтової води і на територіях, що періодично підтоплюються, – подушка сприяє рівномірному розподілу напруг, пов'язаних із підніманням і зниженням рівня ґрунтової води.

Що стосується гідроізоляції підземної частини споруди, то використання комплексної хімічно активної добавки «Навікон» для захисту бетону від ґрунтової води дає довготривалий ефект, і можна застосовувати як із зовнішньої, так і внутрішньої поверхні. Крім того, можливий варіант внесення комплексної добавки безпосередньо для приготування бетонної суміші або за допомогою устаткування для торкретування поверхонь.

Список використаних джерел

1. Егупов В. Ю., Бондаренко А. И., Храпатова И. В. Особенности инженерно-геологических и гидрогеологических условий подтопленных территорий города Харькова. *Науковий вісник будівництва*. Харків: ХНУБА, 2013. № 73. С. 237-241.
2. ДБН В.1.1-45:2017. Будівлі і споруди в складних інженерно-геологічних умовах. Загальні положення. Київ: Мінрегіон України, 2017. 35 с.
3. ДБН В.1.1-25-2009. Захист від небезпечних геологічних процесів, шкідливих експлуатаційних впливів, від пожежі. Інженерний захист територій та споруд від підтоплення та затоплення. Київ: Мінрегіонбуд України, 2010. 52 с.
4. Стрижельчик Г. Г. Концептуальные вопросы борьбы с подтоплением городских территорий. *Екологія довкілля та безпека життєдіяльності*. 2003. № 6. С. 24–27.
5. Стрижельчик Г. Г., Єгупов В. Ю., Храпатова І. В., Сухов В. В. Інженерна геологія: навч. посіб. Харків: ХНУБА, 2017. 488 с.
6. Романюк Я. О., Чомко Д. Ф. Баражний ефект та ризики його виникнення в умовах урбанізованих територій. *The 9th International scientific and practical conference «Perspectives of contemporary science: theory and practice» (October 14-16, 2024) SPC “Sci-conf.com.ua”, Lviv, Ukraine. 2024. P. 489. ISBN 978-966-8219-88-7 (дата звернення: 12.11.2024).*

7. Строкаль В. П., Шевчук С. А. Затоплення та підтоплення територій: ризики для водної та продовольчої безпеки регіонального рівня. *Науково-практичний журнал. Екологічні науки*. № 4(49). С. 159-170. URL: <http://eco.j.dea.kiev.ua/archives/2023/4/21.pdf> (last access: 12.11.2024).
 8. Tabari H. Climate change impact on flood and extreme precipitation increases with water availability. *Sci Rep* 10, 13768 (2020). URL: <https://doi.org/10.1038/s41598-020-70816-2> (last access: 12.11.2024).
 9. Моликевич Р. С. Деякі аспекти новітнього підтоплення на Херсонщині. *Вісник Одеського національного університету. Географічні та геологічні науки*. 27(2(41)). С. 45–66. URL: [https://doi.org/10.18524/2303-9914.2022.2\(41\).268700](https://doi.org/10.18524/2303-9914.2022.2(41).268700) (дата звернення: 12.11.2024).
 10. Винников Ю. Л., Коваленко В. І., Литвиненко Т. В. Моделювання міграції води в ущільненому глинистому насипу. *Ресурсоекономні матеріали, конструкції, будівлі та споруди*. 2014. Вип. 29. С. 525-531. URL: http://nbuv.gov.ua/UJRN/rmkbs_2014_29_74.
 11. A probabilistic assessment of urban flood risk and impacts of future climate change /Wen Liu, Qi Feng, Bernard A. Engel, Tengfei Yu, Xin Zhang, Yuguo Qian. *Journal of Hydrology*. Vol. 618, March 2023, 129267 (last access: 12.11.2024).
 12. Серікова О. М. Прогнозування і управління рівнем ґрунтових вод для підвищення екологічної безпеки забудованих територій України: дис. ... канд. техн. наук. Харків, 2019. 166 с. URL: http://repositsc.nuczu.edu.ua/bitstream/123456789/10701/1/diss_Sierikova.pdf.
-

Бондаренко Олександр Іванович, кандидат технічних наук, доцент кафедри геотехніки, підземних споруд та гідротехнічного будівництва, Харківський національний університет міського господарства ім. О. М. Бекетова. ORCID iD: 0000-0002-5640-6486. Тел.: +38(050) 6518773. E-mail: oleksandr.bondarenko2@kname.edu.ua.

Стріжельчик Геннадій Георгійович, кандидат геолого-мінералогічних наук, професор кафедри геотехніки, підземних споруд та гідротехнічного будівництва, Харківський національний університет міського господарства ім. О. М. Бекетова. ORCID iD: 0009-0001-2053-3424. Тел.: +38 (050) 3004942. E-mail: hennadii.strizhelchik@kname.edu.ua.

Храпатова Ірина Вікторівна, кандидат технічних наук, доцент кафедри геотехніки, підземних споруд та гідротехнічного будівництва, Харківський національний університет міського господарства ім. О. М. Бекетова. ORCID iD: 0000-0003-3404-5349. Тел.: +38 (050) 4008157. E-mail: Iryna.Khrapatova@kname.edu.ua.

Василенко Євген Петрович, аспірант кафедри геотехніки, підземних споруд та гідротехнічного будівництва, Харківський національний університет міського господарства ім. О. М. Бекетова. ORCID iD: 0009-0002-9747-3471. Тел.: +38(066) 0913060, 0977237520. E-mail: Yehen.Vasylenko@kname.edu.ua.

Ляпін Олександр Євгенович, аспірант кафедри геотехніки, підземних споруд та гідротехнічного будівництва, Харківський національний університет міського господарства ім. О. М. Бекетова. ORCID iD: 0009-0007-4488-4599. Тел.: +38(098) 9435696. E-mail: oleksandr.liapin@kname.edu.ua.

Bondarenko Olexandr Ivanovych, PhD (Tech). Associate Professor of Department of Geotechnics, Underground Structures and Hydrotechnical Construction, O. M. Beketov National University of Urban Economy in Kharkiv. ORCID ID: 0000-0002-5640-6486. Tel.: +38(050) 6518773. E-mail: oleksandr.bondarenko2@kname.edu.ua.

Strizhelchik Hennadii H., PhD (Geol.-Mineral). Professor, Department of Geotechnics, Underground Structures and Hydrotechnical Construction, O. M. Beketov National University of Urban Economy in Kharkiv. ORCID ID: 0009-0001-2053-3424. Tel.: +38 (050) 3004942. E-mail: hennadii.strizhelchik@kname.edu.ua.

Khrapatova Iryna Viktorivna, PhD (Tech). Associate Professor of the Department of Geotechnics, Underground Structures and Hydrotechnical Construction, O. M. Beketov Kharkiv National University of Urban Economy. ORCID ID: 0000-0003-3404-5349. Tel.: +38 (050) 4008157. E-mail: Iryna.Khrapatova@kname.edu.ua.

Vasylenko Yevhen Petrovych, postgraduate student of the Department of Geotechnics, Underground Structures and Hydrotechnical Construction, O. M. Beketov Kharkiv National University of Urban Economy. ORCID ID: 0009-0002-9747-3471. Tel.: +38(066) 0913060, 0977237520. E-mail: Yehen.Vasylenko@kname.edu.ua.

Liapin Olexandr Yevhenovych, postgraduate student of the Department of Geotechnics, Underground Structures and Hydrotechnical Construction, O. M. Beketov Kharkiv National University of Urban Economy. ORCID ID: 0009-0007-4488-4599. Tel.: +38(098) 9435696. E-mail: oleksandr.liapin@kname.edu.ua.

Статтю прийнято 13.12.2024 р.