



УДК 624.012.45

STUDY OF THE INFLUENCE OF REINFORCEMENT OF FOUNDATION SOILS WITH GEOTEXTILE MATERIALS DURING THE CONSTRUCTION OF A HOUSE ON A PILE FOUNDATION ON WATER

ДОСЛІДЖЕННЯ ВПЛИВУ АРМУВАННЯ ҐРУНТІВ ОСНОВИ ГЕОТЕКСТИЛЬНИМИ МАТЕРІАЛАМИ ПРИ БУДІВНИЦТВІ БУДИНКУ НА ПАЛЬОВІЙ ОСНОВІ НА ВОДІ

Bugaeva S.V. / Бугаєва С.В.

c.t.s., as.prof. / к.т.н., доц.

ORCID: 0009-0000-3805-3720

Tsybal A.G./ Цимбал А.Г.

graduate student/ аспірант

Odessa National Maritime University, Odessa, Mechnikova 34, 65029

Одеський національний морський університет, Одеса, Мечникова 34, 65029

Анотація В роботі розглядається можливість використання сучасних геотекстильних матеріалів для армування ґрунтів основи при будівництві будинків на пальовій основі на воді.

У статті визначенню доцільності використання різних типів геотекстильних матеріалів та знаходження найкращого варіанту для слабких ґрунтів прибережної зони України.

Питання розглянуті з точки зору економічної доцільності використання армування, тобто можливості зменшити нерівномірність осідань, захистити підстильний шар від розмиву, тощо, що важливе для забезпечення довговічності конструкцій будинку і запобігання утворення тріщин в оздоблювальних покриттях.

Застосування геотекстильних матеріалів при будівництві та реконструкції споруд, що розглядаються дає можливість значно збільшити надійність та підвищити несучу здатність, а також зменшити та стабілізувати осадку подібних споруд.

Також визначено які переваги можна отримати, завдяки використанню геотекстильних матеріалів для армування ґрунтів основи.

Авторами розглянуто ефективність застосування сучасних геотекстильних матеріалів при будівництві, реконструкції або ремонті пальової основи хаузботів.

Ключові слова: пальова основа, геотекстильний матеріал, хаузботи, армування, несуча здатність.

Вступ.

Питання, що розглядається є актуальним напрямком у сучасному будівництві який характеризується постійним розширенням територій освоєння, зокрема активним використанням акваторій водойм та прибережних зон. Урбаністичний тиск на прибережні території, дефіцит придатних для забудови земельних ділянок, а також зростання привабливості рекреаційного будівництва на воді зумовлюють необхідність розроблення ефективних конструктивних рішень для споруд, що зводяться в умовах постійного контакту з водним середовищем.



Будівництво житлових та рекреаційних об'єктів на паливних фундаментах у межах акваторій або прибережних зон пов'язане з низкою специфічних інженерно-геологічних проблем. Донні та прибережні ґрунти здебільшого характеризуються підвищеною вологістю, низькою несучою здатністю, значною стисливістю та схильністю до розмивання. За таких умов забезпечення надійності фундаментних конструкцій потребує застосування комплексних заходів із покращення властивостей ґрунтової основи.

Одним із найбільш технологічних та економічно обґрунтованих методів підвищення несучої здатності слабких ґрунтів є їхнє армування геосинтетичними матеріалами, зокрема геотекстилем. Геотекстильні матеріали набули широкого застосування у світовій геотехнічній практиці завдяки здатності перерозподіляти навантаження, запобігати змішуванню ґрунтових шарів, забезпечувати дренажування та підвищувати загальну стійкість ґрунтових масивів. Проте питання комплексного застосування геотекстильного армування в поєднанні з паливними фундаментами для споруд на воді досліджено недостатньо, що зумовлює актуальність цієї роботи.



Рисунок 1. Будинок на паливній основі на воді

Основний текст

Зведення споруд на водних об'єктах має тисячолітню історію. Найдавніші приклади паливних поселень датуються епохою неоліту — залишки таких



споруд виявлено на альпійських озерах Швейцарії, Австрії та Німеччини. Традиційні плавучі житла споконвіку використовували мешканці Південно-Східної Азії, зокрема на озері Інле в М'янмі, де рибальські села на пальових платформах існують понад тисячу років. В Індії штат Кашмір славиться плавучими будинками-хаусботами на озері Дал, що слугують як житлом, так і готелями для туристів [2].

Амстердамський район Ейбург, збудований наприкінці 1990-х років, демонструє сучасний підхід до створення цілих кварталів плавучих будинків із розвиненою інфраструктурою [1].

Технологія будівництва житлових споруд на воді передбачає два принципово різних підходи. Перший полягає у створенні плавучих платформ, що утримують будівлю на поверхні води за рахунок виштовхувальної сили. Такі платформи виготовляють із залізобетонних понтонів, сталевих або пластикових модулів, заповнених легкими матеріалами на кшталт пінополістиролу. Перевагою плавучих конструкцій є їхня мобільність та незалежність від коливань рівня води, проте вони потребують надійних систем швартування та обмежені за масою надбудови [3].

Другий підхід передбачає зведення споруд на пальових фундаментах, занурених у донні ґрунти. Цей метод забезпечує стабільне положення будівлі незалежно від хвилювання та дозволяє зводити конструкції значно більшої маси. Пальові фундаменти для споруд на воді застосовують при будівництві причалів, пірсів, морських платформ, а також житлових будинків у прибережних зонах та на мілководді.

Сучасні тенденції будівництва на воді визначаються кількома чинниками. По-перше, зміна клімату та підвищення рівня Світового океану актуалізують пошук адаптивних архітектурних рішень. По-друге, урбанізація прибережних територій та їхня висока вартість спонукають до освоєння акваторій як альтернативного простору для забудови. По-третє, рекреаційна привабливість водного середовища формує попит на елітне житло на воді як престижний формат нерухомості.



В Україні будівництво на воді поки що не набуло значного поширення, хоча наявність численних водосховищ, річок та прибережних територій створює для цього сприятливі умови. Окремі проекти плавучих будинків реалізовано в передмістях Києва на Дніпрі та київських водосховищах. Нормативно-правова база для такого будівництва перебуває на етапі формування, що зумовлює необхідність адаптації міжнародного досвіду до вітчизняних умов.

Пальові фундаменти залишаються найбільш надійним конструктивним рішенням для споруд, що зводяться на слабких водонасичених ґрунтах акваторій та прибережних зон. Згідно з ДБН В.2.1-10:2018 «Основи і фундаменти будівель та споруд», пальові фундаменти застосовують у випадках, коли несучий шар ґрунту залягає на значній глибині, а верхні шари не здатні сприйняти навантаження від споруди без неприпустимих деформацій [4].

За принципом передавання навантаження на ґрунт палі поділяють на два основних типи: палі-стояки та висячі палі. Палі-стояки передають навантаження переважно через нижній кінець на практично нестисливий ґрунт — скельну породу, щільний великоуламковий ґрунт або твердопластичну глину. Несуча здатність таких паль визначається опором ґрунту під вістрям палі та практично не залежить від тертя по бічній поверхні. Висячі палі, навпаки, передають навантаження на ґрунт переважно за рахунок сил тертя, що розвиваються на бічній поверхні палі. Цей тип паль застосовують у товщах стисливих ґрунтів, де несучий шар залягає на недосяжній для занурення глибині [5].

Для будівництва на акваторіях використовують різноманітні конструкції паль: забивні залізобетонні, металеві трубчасті, буронабивні, гвинтові та комбіновані.

Розрахунок несучої здатності одиночної палі за властивостями ґрунтової основи виконують відповідно до ДБН В.2.1-10:2018. Для висячої забивної палі несучу здатність визначають за формулою:

$$F_d = \gamma_c (\gamma_{cR} \cdot R \cdot A + u \sum_{i=1}^n \gamma_{cf,i} \cdot f_i \cdot h_i) \quad (1)$$

де F_d — несуча здатність палі, кН;

γ_c — коефіцієнт умов роботи палі в ґрунті;



γ_{CR} — коефіцієнт умов роботи ґрунту під нижнім кінцем палі;

R — розрахунковий опір ґрунту під нижнім кінцем палі, кПа;

A — площа поперечного перерізу палі, м²;

u — периметр поперечного перерізу палі, м;

$\gamma_{cf,i}$ — коефіцієнт умов роботи ґрунту на бічній поверхні палі в межах i -го шару;

f_i — розрахунковий опір i -го шару ґрунту на бічній поверхні палі, кПа;

h_i — товщина i -го шару ґрунту, м.

Європейські норми проектування Eurocode 7 (EN 1997-1) передбачають декілька підходів до визначення несучої здатності паль: за результатами статичних випробувань, за результатами динамічних випробувань та за розрахунком на основі характеристик ґрунту.

Особливістю проектування пальових фундаментів на акваторіях є необхідність урахування специфічних навантажень: хвильових впливів, течій, льодових навантажень, корозійного впливу водного середовища. Для захисту металевих паль від корозії застосовують катодний захист, антикорозійні покриття або збільшення товщини стінок з урахуванням корозійного зносу за розрахунковий термін експлуатації.

Геосинтетичні матеріали являють собою клас полімерних виробів, призначених для застосування в контакті з ґрунтом або іншими будівельними матеріалами в геотехнічних та цивільно-інженерних спорудах.

Геотекстильні матеріали виконують у ґрунтових конструкціях кілька функцій, що визначаються умовами їхньої роботи. Функція розділення полягає у запобіганні змішуванню суміжних шарів ґрунтів із різною гранулометриєю. Армування забезпечує сприйняття розтягувальних напружень у ґрунті та підвищення несучої здатності основи. Фільтрація передбачає пропускання води з одночасним утриманням частинок ґрунту. Дренування полягає у відведенні води вздовж площини геотекстилю. Захисна функція реалізується при обгортанні конструкцій для запобігання механічним пошкодженням.

В Україні характеристики геотекстильних матеріалів регламентуються



низкою стандартів, гармонізованих із європейськими нормами. ДСТУ EN 13251:2017 встановлює вимоги до геотекстилю для використання під час виконання земляних робіт, будівництва фундаментів та підпірних конструкцій. ДСТУ EN ISO 10319:2007 визначає метод випробування геотекстилю на розтягнення широкою смугою. ДСТУ 7372:2013 регламентує характеристики геотекстилю для дренажних систем.

Дослідження в галузі армування ґрунтів геосинтетиками активно розвиваються протягом останніх десятиліть. Фундаментальні роботи Vinquet та Lee (1975) заклали основи розуміння механізмів армування піщаних ґрунтів. Подальші дослідження Huang та Tatsuoka (1990), Khing та Omar (1993), Yetimoglu (1994) визначили ключові параметри, що впливають на ефективність армування: глибину закладення першого шару армування, кількість шарів, вертикальну відстань між шарами, ширину армуючого елемента.

Принцип армування ґрунтів геотекстильними матеріалами ґрунтується на введенні в ґрунтовий масив елементів, здатних сприймати розтягувальні напруження. Природний ґрунт практично не має міцності на розтяг — він руйнується за механізмом зсуву при досягненні граничних дотичних напружень. Введення армуючих прошарків дозволяє перерозподілити напруження та підвищити загальну несучу здатність ґрунтової основи.

Взаємодія геотекстилю з ґрунтом реалізується через два основних механізми: тертя та зачеплення. Тертя виникає на контакті геотекстилю з ґрунтовими частинками та залежить від шорсткості поверхні матеріалу, нормального тиску та характеристик ґрунту. Коефіцієнт тертя на межі «геотекстиль-ґрунт» зазвичай становить 0,6–0,9 від коефіцієнта внутрішнього тертя ґрунту. Зачеплення виникає при проникненні ґрунтових частинок у структуру нетканого геотекстилю та є особливо ефективним для голкопробивних матеріалів.

Під навантаженням від фундаменту в ґрунтовій основі формуються зони пластичних деформацій та поверхні ковзання. Горизонтальний армуючий прошарок геотекстилю перетинає потенційні поверхні ковзання та сприймає



розтягувальні зусилля, що виникають унаслідок бокового розширення ґрунту під фундаментом. Ефект армування проявляється у збільшенні граничного тиску на основу та зменшенні осідань фундаменту.

Коефіцієнт підвищення несучої здатності (Bearing Capacity Ratio, BCR) визначається як відношення граничного тиску на армовану основу до граничного тиску на неармовану основу при однакових умовах:

$$BCR = \frac{q_{u,r}}{q_{u,0}} \quad (2)$$

де $q_{u,r}$ — гранична несуча здатність армованої основи, кПа;

$q_{u,0}$ — гранична несуча здатність неармованої основи, кПа.

Експериментальні дослідження показують, що значення BCR залежить від низки параметрів: відносної глибини закладення верхнього шару армування u/B (де u — відстань від подошви фундаменту до першого шару армування, B — ширина фундаменту), кількості шарів армування N , вертикальної відстані між шарами h/B , відносної ширини армуючого елемента b/B . Оптимальні значення цих параметрів за даними різних досліджень становлять:

$$u/B = 0,25 - 0,50;$$

$$h/B = 0,25 - 0,50;$$

$$b/B = 4 - 6;$$

$$N = 2 - 4.$$

Аналітичні методи розрахунку несучої здатності армованих основ розвинені в роботах Michalowski (2004), який застосував кінематичний підхід теорії граничної рівноваги. Загальна формула для визначення граничного тиску на стрічковий фундамент на армованій основі має вигляд:

$$q_u = c \cdot N_c + q \cdot N_q + 0,5 \cdot \gamma \cdot B \cdot N_\gamma + \Delta q_r \quad (3)$$

де c — питоме зчеплення ґрунту, кПа;

q — привантаження біля фундаменту, кПа;

γ — питома вага ґрунту, кН/м³;

B — ширина фундаменту, м;

N_c, N_q, N_γ — коефіцієнти несучої здатності;



Δq_r — додаткова несуча здатність за рахунок армування, кПа.

Додаткова несуча здатність за рахунок армування визначається через мобілізовану міцність геотекстилю на розтяг та геометричні параметри армованої зони.

Таким чином визначаємо, що будівництво споруд на водних об'єктах є перспективним напрямом, що активно розвивається у світі та поступово впроваджується в Україні. Пальові фундаменти залишаються найбільш надійним конструктивним рішенням для таких споруд, проте проектування фундаментів на слабких водонасичених ґрунтах акваторій потребує застосування додаткових заходів із підвищення несучої здатності основи.

Геотекстильні матеріали довели свою ефективність для армування ґрунтів при влаштуванні фундаментів мілкового закладення. Механізми армування достатньо вивчені, розроблено аналітичні та чисельні методи розрахунку армованих основ. Водночас питання комбінованого застосування геотекстильного армування в поєднанні з пальовими фундаментами для споруд на воді залишається недостатньо дослідженим.

Поєднання пальового фундаменту з армованою геотекстилем ґрунтовою основою може забезпечити синергетичний ефект: армування підвищує жорсткість ґрунту між палями, зменшує нерівномірність осідань, покращує умови роботи ростверку та знижує ймовірність ерозійного винесення ґрунту з-під фундаменту.

Висновки.

Були розглянуті питання щодо впливу на надійність споруд на пальовій основі використання сучасних геотекстильних матеріалів.

Були отримані дані які визначили, що застосування даного способу дає значну перевагу за рахунок того, що фундамент досягає рівномірної усадки; після армування ґрунту основи досить швидко досягаються безпечні величини опору зсуву та палю можна піддавати навантаженню через короткий проміжок часу; немає необхідності мати таку ж густу мережу паль, яка застосовується, наприклад, при закладці залізобетонних паль, рівень підземних вод не впливає



на виконання армування ґрунту основи; палі також можна встановлювати взимку приблизно до -10°C , завдяки цьому значно прискорюється будівництво, реконструкція та ремонт споруд; геотекстильні матеріали покращують фундаментальні умови, проводять дренаж, підвищують модуль пружності фундаменту.

В даний час немає необхідних експериментальних досліджень та немає математичного моделювання подібних конструкцій. Розрахунок фундаментів, виконаних з армуванням геоматеріалів найкраще здійснюється при завданні вихідних характеристик, як композитного матеріалу, з урахуванням форми та розміру осередків геотекстильного матеріалу.

Порівняння розрахунків конструкцій без використання геоматеріалу та при його застосуванні дають підставу стверджувати про підвищення надійності пальної основи більш, ніж на 7 %, а також можливості економії бетону та залізобетону понад 7 – 10%.

Застосування сучасних геоматеріалів у пальної основи веде і до підвищення безпеки під час будівництва, реконструкції, ремонту та експлуатації.

Література:

1. ДБН В.2.1-10:2018. Основи і фундаменти будівель та споруд. Основні положення. [Чинний від 2019-01-01]. Київ: Мінрегіон України, 2018. 36 с.
2. ДБН В.1.2-2:2006. Навантаження і впливи. Норми проектування. [Чинний від 2007-01-01]. Київ: Мінбуд України, 2006. 60 с.
3. ДСТУ EN 13251:2017. Геотекстиль та вироби, що належать до геотекстилю. Характеристики, потрібні для використання під час виконання земляних робіт, будівництва фундаментів та підпірних конструкцій. [Чинний від 2017-10-01]. Київ: ДП «УкрНДНЦ», 2017. 44 с.
4. ДСТУ EN ISO 10319:2007. Геотекстиль. Метод випробування на розтягнення широкою смугою. [Чинний від 2009-01-01]. Київ: Держспоживстандарт України, 2007. 16 с.
5. ДСТУ 7372:2013. Геотекстиль та віднесені до геотекстилю вироби.



Необхідні характеристики для використання у дренажних системах. [Чинний від 2014-07-01]. Київ: Мінекономрозвитку України, 2013. 22 с.

Abstract. *The work examines the possibility of using current geotextile materials for reinforcing base soils when building pallet-based booths on water.*

It is important to select different types of geotextile materials and find the best option for weak soils of the coastal zone of Ukraine.

Nutrition is looked at from the point of view of the economical efficiency of a quick reinforcement, so that it is possible to change the unevenness of the sediment, to protect the bedding ball from washing, and what is more important for the safety durability of the booth design and prevention of cracks in the building surfaces.

The curing of geotextile materials during the life and reconstruction of spores, which seems to provide the opportunity to significantly increase reliability and improve the load-bearing capacity, as well as change and stabilize sediment of similar spores.

It is also indicated that advantages can be eliminated by using geotextile materials for reinforcement of base soils.

The authors examined the effectiveness of drying current geotextile materials during construction, reconstruction or repair of the fawn base of houseboats.

Key words: *pallet base, geotextile material, housewares, reinforcement, non-sugar building.*

Науковий керівник: к.т.н., доцент. Бугаєва С. В.

Статтю надіслано: 27.01.2026 г.

Цимбал А. Г.