

УДК 69.001.5

DOI: 10.30977/BUL.2219-5548.2022.98.0.128

ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНЕ ВИЗНАЧЕННЯ ТИСКУ ҐРУНТУ НА ПІДПІРНУ СТІНУ РАЦІОНАЛЬНОЇ КОНФІГУРАЦІЇ

Калмиков О. О.

Харківський національний університет міського господарства
імені О.М. Бекетова

Анотація. У сучасній практиці експериментальних досліджень відсутні сталі методики з визначення бічного тиску ґрунту на криволінійну поверхню. Результатами попередніх теоретичних досліджень визначено раціональну конфігурацію підпірної стіни, яка має криволінійну форму. Описано розроблену методику з визначення бічного тиску ґрунту на криволінійну поверхню. На базі розробленої методики запроєктовано та виготовлено експериментальну установку. Наведено результати експериментальних досліджень, які достатньою мірою підтвердили коректність отриманих теоретичних даних.

Ключові слова: експериментальна установка, бічний тиск ґрунту, криволінійна поверхня.

Вступ

У галузі наукових досліджень будівельних конструкцій класичною практикою є підтвердженням теоретичних результатів постановкою та реалізацією експерименту. Зазвичай експериментальні дослідження будівельних конструкцій виконуються з використанням класичних та широко апробованих методик. Однак у певних випадках відомі постановки експериментів не можуть бути застосовані задля перевірки теоретичних результатів. До одного з таких випадків відноситься визначення бічного тиску ґрунту на криволінійну поверхню. У роботі [1] викладено теоретичний підхід визначення раціональної геометрії підпірної стіни, який побудовано шляхом розгляду підпірної стіни і масиву сипучого, що нею утримується, як єдиної системи. Як результат зазначеного дослідження виявлена раціональна конфігурація підпірної стіни, яка має криволінійну форму. Задля визначення фактичного розподілу тиску ґрунту на отриману конфігурацію підпірної стіни необхідна розробка окремої методики, постановка та реалізація експерименту.

Аналіз публікацій

Для визначення фактичного тиску ґрунту на бічну поверхню проведення експериментальних досліджень є особливо важливим, що зумовлено складністю процесів, що відбуваються при деформуванні дискретних середовищ у порівнянні з твердими та рідкими. Постановка експерименту є основним способом перевірки коректності застосування різних припущень, що використовуються в теоретичних дослідженнях. Паралельно з розвитком

теоретичних принципів розподілу бічного тиску в сипучих середовищах, а також розробкою нових методів розрахунку конструкцій, що сприймають бічний тиск від сипучого середовища, ставилися експерименти, метою яких ставало підтвердження отриманих результатів.

Більшість експериментів із визначення тиску сипучого середовища на бічну поверхню, зокрема ґрунту на підпірну стіну, виконано в модельних лотках. Подібні дослідження розглядалися та аналізувалися у роботах чималої кількості вітчизняних вчених протягом багатьох років, серед них: І.Я. Лучковський, З.В. Цагарелі, А.І. Приліжаєв, І.В. Яропільський, К. Терцаги, Г.А. Дуброва та багато інших [2-5]. У зазначених експериментах дослідники мали справу з плоскою поверхнею, що сприймає бічний тиск від сипучого середовища. Площі досліджуваних поверхонь у відомих випробуваннях коливаються в широких межах - від декількох десятків дм² до декількох м². Однак, проаналізувавши результати виконаних експериментів, можна зробити висновок: якісний характер розподілу тиску по висоті бічної поверхні практично не залежить від розмірів моделі.

По мірі накопичення досвіду проведення експериментів із визначення тиску сипучого середовища на бічну поверхню удосконалювалася система вимірювання для подібних випробувань. Як показано Г.Є. Лазебником, для отримання надійних результатів вимірювань необхідне застосування датчиків з великою чутливістю [6]. Дана обставина пов'язана з малою величиною тиску сипучого середовища при проведенні експериментів в модельних лотках-ящиках.

Досліджень, присвячених експериментальному визначенню бічного тиску ґрунту на криволінійну поверхню, в літературних джерелах зустрічається значно менше. Більшість з них присвячено визначенню тиску ґрунту на циліндричні шахти [7], що принципово відрізняється від характеру розподілу бічного тиску ґрунту на підпірні стіни, навіть якщо стіна має криволінійну геометрію. Раніше мною було розроблено власну методику із визначення тиску ґрунту на бічну поверхню, відмінну від площини [8], на базі якої поставлено експеримент.



Рис. 1. Експериментальна установка із визначення бічного тиску ґрунту на бічну поверхню, яка зумовлює прямокутну епюру розподілу тиску

Дана методика застосовувалась для визначення тиску ґрунту на бічну поверхню, яка зумовлює трансформацію епюри бічного тиску з трикутної в прямокутну [9, 10]. Однак недоліком цієї методики є те, що при її застосуванні виготовляється модельна установка для конкретної геометрії підпірної стіни. Тобто, зміна конфігурації підпірної стіни по мірі проведення експерименту унеможливується, що не задовольняє вимогам, продиктованим теоретичними результатами [1].

Мета та постановка завдання

Метою експерименту є визначення фактичного розподілу бічного тиску сипучого на криволінійну поверхню, яку отримано в результаті теоретичних досліджень [1].

Для досягнення поставленої мети необхідно виконати такі завдання:

- розробити методику формування дослідної криволінійної поверхні підпірної стіни;

- на базі розробленої методики спроектувати та побудувати експериментальну установку з визначення бічного тиску сипучого на поверхню довільної конфігурації;

- поставити експериментальне дослідження та зіставити отримані результати з теоретичними даними.

Експериментальне визначення тиску ґрунту на підпірну стіну

Проаналізувавши можливі варіанти формування універсальної криволінійної поверхні, найбільш доцільним і в той же момент таким, що відповідає висунутим обмеженням, для подальшого опрацювання прийнятий спосіб формування поверхні з листового, податливого матеріалу (оргскло, акрил, сталь). Надання листу заданої форми і в одночасно його фіксацію в просторі можливо забезпечити системою рухомих упорів по всій ширині листа. Для апробації подібної методики формування поверхні виконана тестова установка, що являє собою каркас розмірами $500 \times 1000 \times 1000$ мм, виконаний з бруса 50×50 мм (рис. 2). Уздовж двох протилежних вертикальних граней каркасу між вертикальними ребрами встановлені напрямні, виконані зі стрижнів з різьбленням М8, які розташовані з кроком 150 мм по вертикалі (5 напрямних на кожен грань). На кожній парі протилежних напрямних одного рівня встановлені горизонтальні поперечна планка з бруса $\varnothing = 20$ мм. Планка вільно ходить уздовж напрямних, а її фіксація у конкретному положенні здійснюється за допомогою притискної гайки. У каркас по діагоналі поміщався лист акрилу товщиною 5 мм, який спочатку мав плоску форму. Попарно переміщаючи притискні гайки по двох напрямних кожного рівня горизонтальні бруси поміщалися в позиції необхідних координат, що лежать на заданій криволінійній поверхні, тим самим надаючи листу акрилу задану конфігурацію. За рахунок надання листу акрилу, в результаті його деформування, попереднього напруження, формована поверхня мала достатню жорсткість для забезпечення необхідної деформативності.

Виконана апробація описаного способу формування криволінійної поверхні лягла в основу проектування випробувальної установки із визначення бічного тиску сипучого на криволінійну поверхню.

При призначенні розмірів випробувальної установки основними вважалися такі фактори. Задля повного виключення впливу тертя сипучого об стінки установки на результати

випробувань співвідношення горизонтального і вертикального розмірів досліджуваної поверхні повинно бути близько 1: 1. З метою врахування тиску від повного обсягу призми обвалення на досліджувану поверхню співвідношення горизонтального і вертикального розмірів установки повинно бути не менше ніж 1: 1,5. Також при призначенні генеральних розмірів установки враховувався досвід сучасних досліджень даного напрямку і створення подібних установок, а саме: 1650×783×584 мм - США [11]; 2050 × 600 × 1400 мм - Японія [12]; 6000 × 2500 × 2500 мм - Непал [13]; 1200 × 600 × 1000 мм - Індія [14]. Остаточні розміри експериментальної установки цього дослідження прийняті - 1600 × 700 × 800 мм (рис. 3).

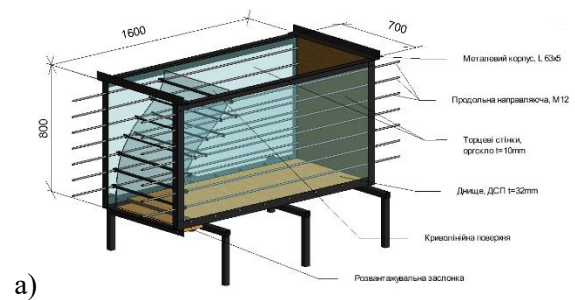


Рис. 2. Апробація способу формування криволінійної поверхні

Каркас установки виконаний із рівнополічного кутика 63×5 мм, поздовжні стінки з оргскла товщиною 10 мм, задня стінка з деревинно-стружкової плити (ДСП) товщиною 16 мм, днище - з ДСП товщиною 32 мм. Уздовж поздовжніх стінок установки, з кроком по вертикалі 100 мм, розташовані поздовжні сталеві напрямні з різьбою М12 (всього 7 пар напрямних). На кожній парі протилежних напрямних одного рівня встановлено горизонтальні опорні планки зі сталевого прута $\varnothing = 10$ мм, які кріпляться до напрямних через отвори, що мають внутрішні різьблення.

Отже, з урахуванням описаного тестового дослідження спосіб формування криволінійної поверхні полягає в такому (рис. 4). При паралельному повороті двох напрямних одного рівня відбувається поступальне переміщення опорної планки, таким чином, задаються опорні точки досліджуваної криволінійної поверхні за заданими координатами (рис. 4, б). З огляду на двояку кривизну досліджуваних поверхонь, крім опорних планок установка передбачає наявність притискних планок, які

паралельно опорним планкам переміщуються уздовж напрямних. Подібно опорним планкам, притискні виконуються зі сталевого прута $\varnothing = 10$ мм і кріпляться до напрямних через отвори в кінцях планок, але, на відміну від опорних, у притискних планках різьблення не передбачене, чим забезпечується їх вільне переміщення уздовж напрямних (рис. 4, а). Фіксація притискних планок і їх щільне притиснення до листа, що моделює поверхню, здійснюється за допомогою притискних гайок.



а)



б)

Рис. 3. Експериментальна установка: а – 3D модель проєкту; б – виготовлена установка

Розроблена установка передбачає таку послідовність дій із формування криволінійної поверхні:

1. На підставі вихідних даних - об'ємної ваги і кута внутрішнього тертя сипучого, призначених зовнішніх геометричних обмежень - вертикальної і горизонтальної проєкцій, визначається конфігурація досліджуваної поверхні відповідно до методики, описаної в [1].

2. Верхня опорна планка поміщається в положення, координати якого дорівнюють вертикальній і горизонтальній проєкціям (межа області ОДР відповідно до теоретичного рішення [1]). Решта планок знаходяться у вільному положенні, що не заважає поміщенню в

установку листа з податливого матеріалу (рис. 4, а).

3. В установку поміщається лист, який в подальшому буде моделювати досліджувану поверхню.

4. За допомогою паралельного повертання пар напрямних одного рівня кожна опорна планка поміщається у задані в п. 1 положення (рис. 4, б).

5. Притискні планки переміщуються і фіксуються гайками (рис. 4, в, г).

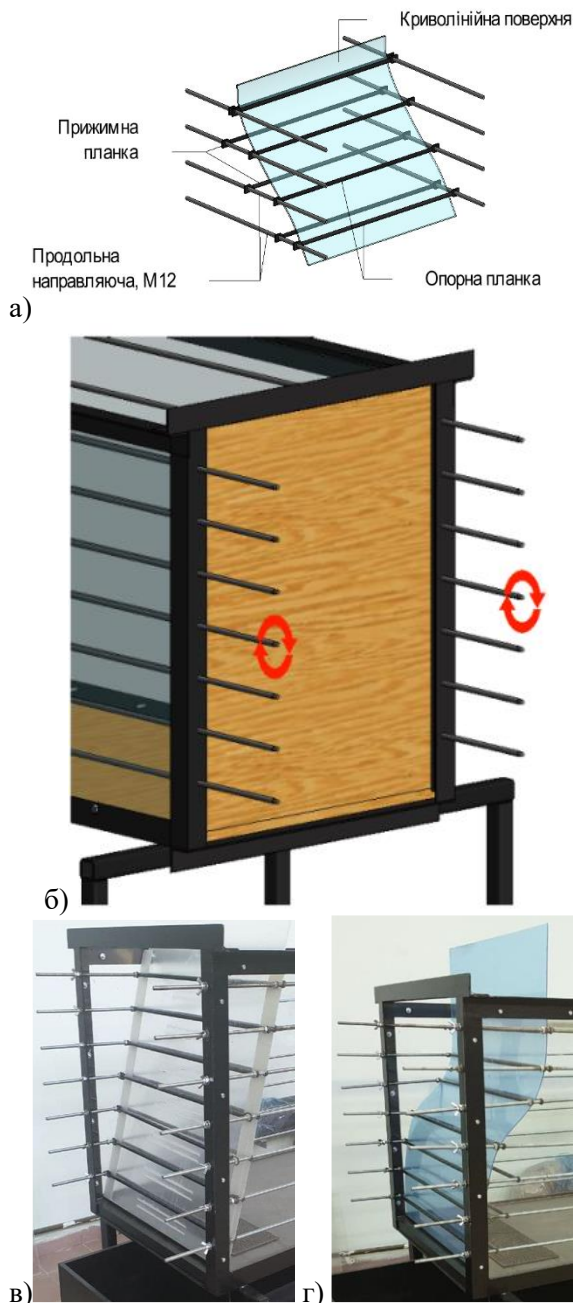


Рис. 4. Формування криволінійної поверхні: а – схема механізму формування поверхні; б – пристрій пересування напрямних; в – плоска поверхня; г – криволінійна поверхня

З отриманих теоретичних результатів дослідження випливає, що конфігурація раціональної поверхні підірної стіни безпосередньо залежить від характеристик ґрунту, який тисне на цю поверхню. Як правило, в модельних установках для подібних випробувань використовувалися три основні типи сипучого: ґрунт (пісок, супісок, глина та ін.), зерно (горох, пшоно, просо та ін.), полімерна субстанція (гумові, пластикові гранули).

У цьому експериментальному дослідженні висувалися такі основні вимоги до сипучого середовища:

- відсутність сил зчеплення між частинками, що зумовлено вихідними гіпотезами теоретичних досліджень ($c = 0$);

- найбільш прийнятний кут внутрішнього тертя сипучого $\varphi > 20^\circ$. Дане обмеження обґрунтовується зворотною залежністю кута внутрішнього тертя сипучого і кривизни одержуваної поверхні - мала величина кута визначає різку кривизну раціональної поверхні, що ускладнює роботу з нею при постановці експериментального дослідження;

- найбільш прийнятний діаметр частинок сипучого 0,5 ... 3 мм. Обмеження визначає вимога до ступеня герметичності установки, а також рівномірний розподіл тиску на досліджувану поверхню, зокрема, на застосовувані датчики;

- з огляду на зручність завантаження/розвантаження установки найбільш прийнятне сипуче середовище, що має відносно невелику об'ємну вагу ($\gamma = 5 \dots 12 \text{ кН/м}^3$).

Проаналізувавши різні варіанти, в якості сипучого середовища прийнято просо, яке має кут внутрішнього тертя $\varphi = 23^\circ$, об'ємну вагу $\gamma = 7,1 \text{ кН/м}^3$. Зовнішні обмеження для сформованої поверхні прийняті такими: вертикальна проєкція - $H = 700 \text{ мм}$; горизонтальна проєкція $B = 200 \text{ мм}$. На підставі вказаних вихідних даних визначалася геометрія досліджуваної поверхні відповідно до алгоритму, який описано в [1].

Спочатку визначену конфігурацію поверхні передбачалося формувати шляхом вигинання листа оргскла. Однак, провівши ряд спроб з формування поверхні з листа оргскла товщиною 3 ... 5 мм, експериментальним шляхом було виявлено, що оргскло не володіє достатньою еластичністю для проведення випробувань з прийнятим типом сипучого, у зв'язку з чим для подальшого дослідження був застосований сталевий лист товщиною 1 мм.

Випробування у модельній установці з визначення бічного тиску сипучого середовища

на криволінійну поверхню проводилися в лабораторії кафедри будівельних конструкцій ХНУМГ ім. О.М. Бекетова. В якості системи вимірювання використовувався лазерний тахеометр Leica TS07 - геодезичний прилад, принцип дії якого полягає у вимірюванні кутів повороту лінії візування зорової труби в горизонтальній і вертикальній площинах, з можливістю одночасного вимірювання відстаней до об'єктів уздовж лінії візування (рис. 5, а). Прилад встановлювався на нерухомий штатив, його положення в просторі фіксувалося за трьома нерухомими реперами, які відбивалися після проведення кожного циклу вимірів. Точність тахеометра Leica TS07 дозволяє визначити зміну характерних точок у просторі з похибкою в межах до 0,5 мм. Центральні точки кожного з семи датчиків-пластин, а також спарені з ними характерні точки на металевій криволінійній поверхні позначалися маркером. Зйомка показань здійснювалася шляхом лазерного сканування вказаних точок (рис. 5, б).

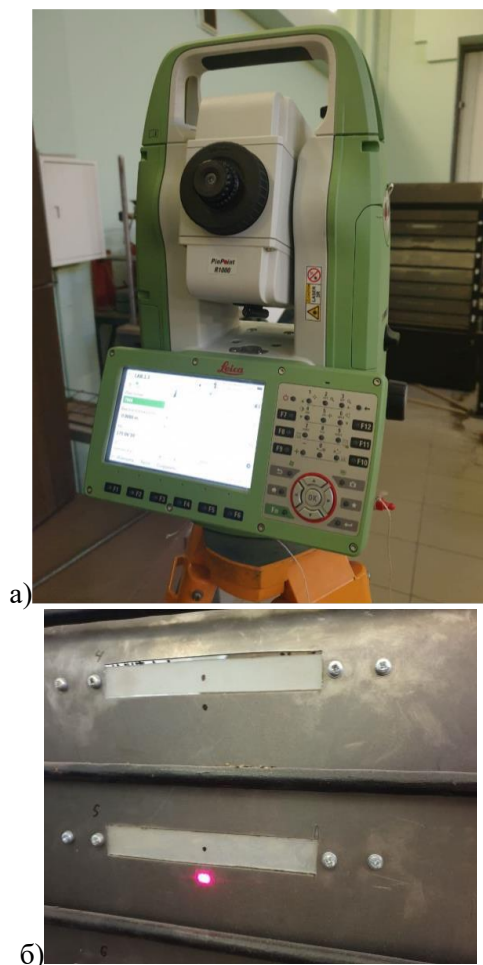


Рис. 5. Система тахеометричної зйомки: а – лазерний тахеометр Leica TS07; б – характерні точки відліку

Процес завантаження експериментальної установки здійснювався поступово, шляхом засипання в неї сипучого з протилежної від досліджуваної поверхні сторони (рис. 6, а). Показання тахеометра знімалися після повного завантаження установки, після чого здійснювався процес розвантаження (рис. 6, б), знімалися нульові показання і далі цикл повторювався. Кожне завантаження повторювалося шість разів, після чого вираховувались усереднені значення показання приладів, які приймалися до аналізу.



Рис. 6. Процес проведення випробувань у модельній установці: а – завантаження; б – вивантаження

Одним із найбільш важливих факторів при проведенні випробувань з використанням тахеометричної зйомки була перевірка необхідної заданої жорсткості металевого листа, який формує криволінійну поверхню, що виконувалась шляхом замірів деформування характерних точок листа в процесі завантаження/розвантаження установки. Зазначається, що жорсткість сталевого листа повною мірою достатня, його деформацій за результатами замірів не виявлено.

У результаті випробувань отримані максимальні переміщення семи датчиків-пластин. Для аналізу і зіставлення з теоретичними ре-

зультатами приймалися усереднені значення. Результати вимірювання прогинів датчиків представлені в табличному вигляді (табл. 1).

Таблиця 1 – Результати випробувань тахеометричною зйомкою

Номер датчика	Номер завантаження						Середнє значення прогину, мм
	1	2	3	4	5	6	
1	0,21	0,2	0,22	0,28	0,24	0,31	0,24
2	0,54	0,57	0,64	0,68	0,6	0,65	0,61
3	0,14	0,21	0,16	0,18	0,21	0,15	0,18
4	0,85	0,78	0,79	0,71	0,64	0,78	0,76
5	1,62	1,67	1,5	1,52	1,58	1,6	1,57
6	2,24	2,38	2,4	2,35	2,2	2,28	2,31
7	3,02	3,06	2,72	2,76	2,84	2,92	2,89

Далі, використовуючи сімейство тарованих кривих, здійснено перехід від абсолютного значення прогинів кожного датчика до величини розподіленого тиску сипучого. У результаті побудовано графік зіставлення експериментальної і теоретичної епюр бічного тиску сипучого на криволінійну поверхню (рис. 7).

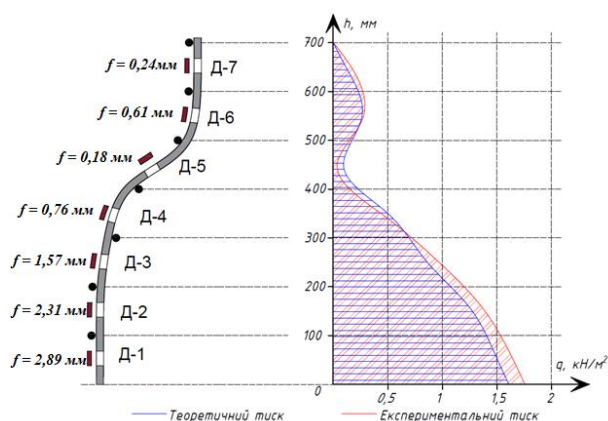


Рис. 7. Графічні результати випробування лазерним тахеометром

Після проведення даного циклу випробувань зазначається, що, незважаючи на універсальність використання тахеометричної зйомки для даного типу випробувань, її точність виявляється достатньою для визначення якісного розподілу бокового тиску сипучого на криволінійну поверхню, а також для перевірки жорсткості матеріалу, що формує поверхню. Але з огляду на значну похибку отриманих результатів ($> 21,2\%$) для виявлення точного кількісного характеру розподілу тиску сипучого вважається доцільним використання додаткової, альтернативної системи вимірювання.

Висновки

Розроблено методику, а на її основі запроєктовано та виготовлено установку з визначення бічного тиску ґрунту на криволінійну поверхню. Позитивною особливістю даної установки є те, що вона передбачає формування досліджуваної поверхні довільної конфігурації в рамках певних, достатньо широких обмежень. Поставлено лабораторний експеримент з визначення фактичного бічного тиску ґрунту на поверхню, яка утворює підпірну стіну раціональної конфігурації. Якісний розподіл бічного тиску в експериментальних дослідженнях співпав із теоретичним, однак, кількісна розбіжність на деяких ділянках висоти поверхні досягала $21,2\%$. З огляду на викладене апробацію установки та апробацію експериментальної методики можливо вважати задовільною. У той же час виникає певний інтерес до постановки даного експерименту із застосуванням більш чутливої системи вимірювання.

Література

1. Kalmykov O., Khalife R., Demianenko I. Transformation of the retaining wall external geometry with rationalizing of system parameters. *Academic Journal Industrial Machine Building, Civil Engineering*. 2020, pp. 55–60.
2. Лучковский И.Я., Чепурной Д.А., Есакова С.В. Активное давление ґрунта при гибкой трансформируемой нагрузке на поверхности однородного и многослойного основания. *Вчені записки Таврійського національного університету імені ВІ Вернадського. Серія: Технічні науки*. 2018. Вип. 29 (68), № 2. С. 324-330
3. Яропольский И.В. Лабораторные исследования давления песка на стенку. В кн.: *Труды ЛИИВТ. Л. ОГИЗ. Лен-госстраницдат*. 1933. вып. 2. С. 110-157.
4. Терцаги К. Строительная механика ґрунта на основе его физических свойств. М.: Госстройиздат, 1936. 390 с.

5. Дуброва Г.А. Взаимодействие грунта и сооружений. М.: Речной транспорт, 1963. 219 с.
6. Лазебник Г.Е. Давление грунта на сооружения. Киев: 2005. 243 с.
7. Chun, B., Shin, Y. Active earth pressure acting on the cylindrical retaining wall of a shaft. *South Korea Ground Environ. Eng. J.*, 7(4), 2006, pp. 15–24.
8. Калмыков О.А., Тен Е.А. Экспериментальное определение давления сыпучего на криволинейную поверхность. *Коммунальне господарство міст. Серія: Технічні науки та архітектура*. 2014. Вип. 118. С. 34-39.
9. Babaev V.N. Shmukler V.S. Feirushah S.H. Kalmikov O.A. Zinchenko V.M. Rational design of retaining walls. *BUIITEMS "Journal of applied and emerging sciences"*. Vol. 3, Issue 1, 2012, pp. 94-121
10. Шмуклер В.С., Калмыков О.А. Метод прямого проектирования подпорных стен. *Вісник НУ «Львівська політехніка» Теорія і практика будівництва*. 2012. Вип. №742 С. 97-105.
11. Mikola R.G., Candia G., Sitar N. Seismic earth pressures on retaining structures and basement walls. *Conference Paper in Geotechnical Special Publication. Proceedings of the 10th National Conference in Earthquake Engineering, Earthquake Engineering Research Institute, Anchorage, USA, 2014.*
12. Nozu A., Ichii K., Sugano T. Seismic design of port structures - *Journal of Japan Association for Earthquake Engineering*, Vol. 4, No3, 2004. pp: 195-208.
13. Zarnani S., Bathurst, R.J. and Gaskin, A. 2005. Experimental investigation of geofam seismic buffers using a shaking table, *2005 North American Geosynthetics Society Conference, Nevada, 2005, 11 p.*
14. Ghosh S., Sengupta S. Extension of Mononobe-Okabe Theory to Evaluate Seismic Active Earth Pressure Supporting c-φ Backfill. *The Electronic Journal of Geotechnical Engineering*. Vol. 17, 2012. pp. 495-504.
4. Tertsagi K. Stroitel'naya mekhanika grunta na osnove yego fizicheskikh svoystv. - M. Gosstroyizdat. 1936, 390 s.
5. Dubrova G.A. Vzaimodeystviye grunta i sooruzheniy. M.: Rechnoy transport. 1963, 219 s.
6. Lazebnik G.Ye. Davleniye grunta na sooruzheniya. K: 2005. 224 il. 243 s.
7. Chun, B., Shin, Y. Active earth pressure acting on the cylindrical retaining wall of a shaft. *South Korea Ground Environ. Eng. J.*, 7(4), 2006, pp. 15–24.
8. Kalmykov O.A., Ten E.A. Eksperemental'noe opredelenye davleniyya sypucheho na kryvolyneynuyu poverkhnost'. *Komunal'ne hospodarstvo mist. Seriya: Tekhnichni nauky ta arkhitektura*, Vyp. 118, 2014. S. 34-39.
9. Babaev V.N. Shmukler V.S. Feirushah S.H. Kalmikov O.A. Zinchenko V.M. Rational design of retaining walls. *BUIITEMS "Journal of applied and emerging sciences"* Vol. 3, Issue 1, 2012, pp. 94-121
10. Shmukler V.S., Kalmykov O.A. Metod pryamoho proektyrovanyya podpornykh sten. *Visnyk NU «L'vivs'ka polytekhnyka» Teoriya i praktyka budivnytstva*. 2012. № 742. S. 97-105.
11. Mikola R.G., Candia G., Sitar N. Seismic earth pressures on retaining structures and basement walls. *Conference Paper in Geotechnical Special Publication. Proceedings of the 10th National Conference in Earthquake Engineering, Earthquake Engineering Research Institute, Anchorage, USA, 2014.*
12. Nozu A., Ichii K., Sugano T. Seismic design of port structures. *Journal of Japan Association for Earthquake Engineering*, Vol. 4, No3, 2004. pp: 195-208.
13. Zarnani S., Bathurst, R.J. and Gaskin, A. 2005. Experimental investigation of geofam seismic buffers using a shaking table, *2005 North American Geosynthetics Society Conference, Nevada, 2005, 11 p.*
14. Ghosh S., Sengupta S. Extension of Mononobe-Okabe Theory to Evaluate Seismic Active Earth Pressure Supporting c-φ Backfill. *The Electronic Journal of Geotechnical Engineering*. Vol. 17, 2012. pp. 495-504.

References

1. Kalmykov O., Khalife R., Demianenko I. Transformation of the retaining wall external geometry with rationalizing of system parameters. *Academic Journal Industrial Machine Building, Civil Engineering*, 2020, pp. 55–60.
2. Luchkovskyy Y.YA., Chepurnoy D.A., Esakova S.V. Aktivnoye davleniye hrunta pry hybkoy transformuemoй nahruzke na poverkhnosty odnorodnoho y mnohosloynnoho osnovanyua. *Vcheni zapysky Tavriys'koho natsional'noho universytetu imeni V.I. Vernads'koho. Seriya: Tekhnichni nauky*. Vypusk 29 (68), № 2. 2018. s. 324-330.
3. Yaropol'skiy I.V. Laboratornyye issledovaniya davleniya peska na stenku. -V kn.: Trudy LIIVT. L. OGIZ. Len-gosstransizdat. 1933. vyp. 2. С. 110-157.

Калмыков Олег Александрович, к.т.н., доц. каф. будівельних конструкцій,
e-mail: olegkalmikov010@gmail.com
тел. +380679929427
ORCID ID: 0000-0001-7294-4279

Харківський національний університет міського господарства імені О. М. Бекетова, 61002, Україна, м. Харків, вул. Маршала Бажанова, 17.

Experimental determination of soil pressure on a retaining wall of a rational configuration

Abstract. Problem. In the modern practice of experimental research, there are no classical methods for determining the lateral pressure of the soil on a curved surface. There are studies on the determination of soil

pressure on deep mines, but this experience cannot be applied to the setting of an experiment on the determination of soil pressure on a curved side surface due to the different specificities of the studies. At the same time, the results of my theoretical research determined a rational configuration of the retaining wall, which has a curvilinear shape. **Goal.** In order to confirm the theoretical results, there was a need to set up a laboratory experiment. **Methodology.** Due to the lack of similar studies, the author's method for determining the lateral pressure of the soil on a curved surface was developed. Based on the developed methodology, an experimental installation was designed in the form of a box with dimensions of $1600 \times 700 \times 800$ mm. One of the walls of the box simulates a curved retaining wall. At the same time, due to the developed mechanism of the experimental installation, the curvature of the surface can be set at will. The surface is made of pliable sheet material, the application of which is pre-determined in a test experiment. The Leica TS07 laser total station was used as a measurement system in the experiment. Millet is used as bulk material. During the experiment, as the installation was loaded/unloaded, the characteristic movements of the platinum sensors, which are located on a curved surface, were recorded.

Loading/unloading of the installation was performed 6 times, after which the averaged data were taken into analysis. Later, displacements were converted to distributed soil pressure, which was compared with theoretical data. **Results.** The qualitative distribution of the lateral pressure in the experimental studies was consistent with the theoretical one, however, the quantitative discrepancy lies in some areas of the surface height reaching 21.2%. In view of the above, the approbation of the installation and the approbation of the experimental methodology can be considered satisfactory.

Keywords: experimental plant, lateral soil pressure, curved surface.

Kalmykov Oleg, PhD, Associate Professor Building Structures department,
e-mail: olegkalmikov010@gmail.com
tel. +380679929427
ORCID ID: 0000-0001-7294-4279.
O.M. Beketov National University of Urban Economy
in Kharkiv, 17, Marshala Bazhanova str., Kharkiv,
61002, Ukraine.