## УДК 625.815.5

DOI 10.33042/2522-1809-2022-6-173-68-75

## О.О. Калмиков, К.О Бінкевич, О.О Булдаков

Харківський національний університет міського господарства імені О.М. Бекетова, Україна

# РАЦІОНАЛІЗАЦІЯ ПАРАМЕТРІВ ТОНКОСТІННИХ ПІДПІРНИХ СТІН ІЗ АНКЕРНИМИ ОПОРАМИ

У статті розглядається питання пошуку раціональної геометрії тонкостінної підпірної стіни, посиленої анкерами. Ідеологія підходу полягає в тому, що криволінійна підпірна стіна розбивається на кінцеву кількість лінійних ділянок. Побудовано залежності між атрибутами напружено-деформованого стану конструкції та системою кутів нахилу ділянок. В рамках експлуатації ВЕО методу знайдено конфігурацію анкерної підпірної стіни, яка зумовить мінімізацію потенціальної енергії деформації системи.

Ключові слова: підпірні стіни, енергія деформації, криволінійні поверхні, раціоналізація.

## Постановка проблеми

Сучасний стан будівельної галузі спонукає до пошуку нових, ефективних конструктивних рішень будівельних конструкцій. Перш за все, це пов'язано з поступовим вичерпанням природних ресурсів і, як наслідок, збільшенням вартості будівельних матеріалів. Класичним, зворотнім методам розрахунку конструкцій, які зумовлюють перевірку заздалегідь прийнятих перерізів, приходять на зміну нові, прямі прямого проектування. Основна ідея тут полягає в тому, що конфігурація конструктивного елемента з'являється в результаті рішення математичної задачі. Подібні задачі, зазвичай, характеризуються високим ступенем нелінійності та складності обчислень. Отже, завдання науковців тут полягає не тільки в постановці та вирішенні задач прямого проектування, а ще і в пристосуванні їх до зручної інженерної практики.

Існує певний ряд будівельних конструкцій, в яких форма та характер зовнішнього навантаження є взаємозалежними. Характерним прикладом тут може стати найвища на сьогоднішній день будівля – Бурдж Халіф. При проектуванні цієї будівлі команда конструкторів та архітекторів розробили її поверхню, яка за рахунок форми мінімізує вітровий тиск на хмарочос [1].

Напевно найбільшим класом будівельних конструкції, у яких форма поверхні задає характер та величину зовнішнього навантаження, є підпірні стіни. В основу діючих українських та закордонних нормативних документів [2] з розрахунку та проектування підпірних стін, як правило, покладено теорію Кулону. У відповідності до цієї теорії, величина бічного тиску сипучого напряму залежить від кута нахилу конструкції до ґрунту засипки [3]. Таким чином, конфігурація підпірних стін задає характер розподілення навантаження на неї і навпаки. Вочевидь, можлива побудова методів управління цією взаємодією.

В будівельній практиці широко зарекомендували себе підпірні стіни, підсилені додатковими опорами у вигляді анкерів. Анкерна опора зводиться з попереднім напруженням та, фактично, являє собою додатковим інструментом напружено-деформованим керування станом конструкції. Основною метою став пошук раціональної геометрії підпірної стіни, підсиленої додатковими опорами у вигляді анкерів.



Рис.1. Схематичне зображення підпірної стінки

## Аналіз останніх досліджень і публікацій

Питанню оптимізації параметрів підпірних стін присвячено багато сучасних наукових досліджень. Як правило, авторами описується конструкція підпірної стіни набором геометричних або фізичних параметрів з подальшим пошуком їхнього раціонального поєднання. Так, авторами Р.Е. Mergos та F. Mantoglou застосовано Flower pollination algorithm (FPA) для пошуку мінімальної вартості конструкції підпірної стіни, варіюючи 6-ма геометричними параметрами системи [4]. G. Bekdas і R. Temur описували конструкцію консольної підпірної стіни 5-ю геометричними та 6-ма фізичними параметрами, та, застосовуючи метод Teaching Learning-Based Optimization (TLBO), визначали мінімальну вагу конструкції [5]. В роботах [6, 7] використано Harmony search algorithm (HAS) для пошуку мінімальної вартості консольної підпірної стіни, при цьому конструкція описувалася 6 геометричними параметрами. А. Kaveh та N. Farhoudi розглянули постановку задачі пошуку мінімальної вартості підпірної стіни iз застосуванням алгоритму Dolphin Echolocation Optimization (DEO), описавши конструкцію 7-ма геометричними параметрами [8, 9]. В роботі [10] наводиться зіставлення алгоритмів Evolutionary strategy (ES), Differential evolution (DE) та Biogeography based optimization algorithm (BBO) y застосуванні до задачі пошуку оптимальних параметрів підпірної консольної стіни, яка описана 8-ю геометричними і 12 фізичними параметрами.

Наведений перелік є малою частиною сучасних досліджень, присвячених оптимізації параметрів підпірних стін [11]. Зазначається, що у всіх згаданих вище роботах конструкція консольної підпірної стіни описувалася кінцевим числом параметрів, а у якості цільової функції приймалася мінімізація ваги або вартості конструкції.

Відмінною рисою оглянутих досліджень від пропонованого в даній роботі підходу є те, що авторами розглядалося суто оптимізація параметрів конструкції, без зміни навантаження на неї. Відомо, що залежність між бічним статичним тиском сипучого та кривизною поверхні стіни, що сприймає цей тиск, може бути записана у вигляді полінома 4го ступеня [12]. Відповідно до розробленої процедури, задається епюра бічного тиску сипучого і шляхом вирішення цього рівняння визначаються кути нахилу дотичної до кривої, що забезпечує задану епюру тиску [13]. У той же час, в роботах [12, 13] не надається висновку, яка ж епюра бічного тиску, а отже і конфігурація підпорної стіни вважається раціональною. Задля вирішення цього питання в справжньому дослідженні застосовується біоенергетичний (BEO) метод оптимізації будівельних конструкцій [14]. В основу методу покладено гіпотезу, яка інтерпретується наступним чином: при варіюванні зовнішніми геометричними параметрами підпірної стіни, яка має постійний об'єм матеріалу та число зовнішніх зв'язків, потенційна енергія деформації набуде мінімального значення на раціональному сполученні цих параметрів. Цей підхід, крім іншого, передбачає оцінку низки атрибутів, які традиційно виступають у ролі критеріїв оптимізації (об'єм матеріалу, вартість, жорсткість, частоти коливань та інших.) [15].

### Виклад основного матеріалу

Пропонований у цій роботі підхід ключовим чином відрізняється від відомих постановок. В результаті розв'язання задачі в запропонованому трактуванні, нами визначається образ раціональної конструкції. При цьому, кількість параметрів, що варіюються, задається в якості вихідних даних, а в загальному випадку вона може прагнути до нескінченності.

Гіпотези та припущення при постановці задачі прийняті в наступному вигляді:

- у ґрунті відсутні сили зчеплення між частинками;

 розглядається конфігурація підпірної стіни у межах заданої вертикальної проекції системи (L<sub>y</sub> = H
вихідні дані);

- кут нахилу підпірної стіни до зворотного засипання не може бути менше кута внутрішнього тертя ґрунту ( $\alpha \ge \varphi$ );

- Задача розглядається як плоска деформація;

- Довжина утворюючої підпірної стіни L виступає у якості обмеження.



Рис.2. Розрахункова схема конструкції

Таким чином, вихідні дані при постановці задачі наступні:

- параметри сипучого середовища, які визначають величину бічного тиску ґрунту q(y) (у вигляді об'ємної ваги  $\gamma$  та кута внутрішнього тертя сипучого  $\varphi$  сипучого);

- Вертикальна проекція системи (*L*<sub>y</sub>)- виходячи з фізичного сенсу завдання;

- Довжина утворюючої підпірної стіни (L).

У разі постійності жорсткості стрижня вздовж його утворювальної (дуги), в рамках експлуатованого BEO методу як критерій приймається мінімізація потенційної енергії деформації (ПЕД) системи [15]. Тоді маємо:

$$U = \int_{0}^{l} \frac{M^{2}(s)}{2EI} ds + \int_{0}^{l} \frac{N^{2}(s)}{2EA} ds + \int_{0}^{l} \frac{\alpha Q^{2}(s)}{2GA} ds \to \inf, \quad (1)$$

де Е, G – модулі деформацій 1-го та 2-го роду матеріалу стрижня відповідно;

A, I-площа і момент інерції перерізу стрижня; M(s), N(s), Q(s) – згинальний момент, поздовжня та поперечна сили;

α – коефіцієнт, що залежить від форми перерізу;

ds – диференціал дуги.

У разі сталості жорсткості [Філін, Мех.деформ.тв.тіла]:

$$U = \frac{1}{2EI} \int_{0}^{I} M^{2}(s) ds + \frac{1}{2EA} \int_{0}^{I} N^{2}(s) ds + \frac{\alpha}{2GA} \int_{0}^{I} Q^{2}(s) ds \to inf \quad (2)$$

Задача (1) - (2) в сукупності з заданими обмеженнями (L=const;  $L_y=const$ ) є завданням варіаційного обчислення. При цьому вважається за доцільну відмову від формування рівняння Ейлера – Лагранжа, реалізувавши чисельне рішення завдання.

На першому етапі розглядається конструкція тонкостінної криволінійної підпірної стіни, жорстко защемленої в основі та посиленою горизонтальними анкерами у вершини. Вважається, що анкери йдуть із регулярним кроком у перпендикулярному конструкції Розрахункова напрямку. схема конструкції представлена на рис. 1. Анкер є попередньо напруженим елементом, у зв'язку з чим, шарнірно-рухлива опора замінюється горизонтальною силою  $P_a$ , яка є алгебраїчною сумою зусилля самонапруги опори та попереднього натягу анкера. Напрямок сили Р<sub>а</sub> протилежний тиску ґрунту.

Стіна розбивається на n рівних за висотою лінійних ділянок. Нумерація ділянок i починається у основи: нижня ділянка i = 1, верхня – i = n. Проекція висоти кожного з них на вертикальну вісь дорівнює h (рис. 2).



Рис.3. Апроксимація конфігурації стрижня та епюри навантаження лінійними функціями (відрізками).

Кожна ділянка має притаманний тільки їй кут нахилу  $a_i$ , який лежить у діапазоні  $a_i \in [\varphi; 90^\circ]$ . Тоді довжина кожної з ділянок  $l_i$  дорівнює:

$$l_i = \frac{h}{\sin(\alpha_i)} \,. \tag{3}$$

Розподілений тиск сипучого біля основи та вершини кожної з ділянок  $q_{i,1}$  та  $q_{i,2}$  відповідно визначається виразами:

$$q_{i1} = (H - h_i)\gamma K . \tag{4}$$

$$q_{i,2} = [H - h(i-1)]\gamma K$$
. (5)

$$K = \left[ tg(45^{\circ} - \frac{\varphi + \alpha_i + 270^{\circ}}{2}) + tg(\alpha_i + 270^{\circ}) \right]^2 \cos(\alpha_i + 270^{\circ}).$$

Розподілений тиск сипучого в зоні кожної *i*-ї ділянки замінюється рівнодіючою, прикладеною в центрі тяжкості *i*-ої трапеції, і визначається виразом:

$$Q_i = \frac{q_{i,1} + q_{i,2}}{2} h.$$
 (6)

Висоти точок прикладання *O<sub>i</sub>* зосередженої сили *Q<sub>i</sub>* відносно локальної системи координат визначаються виразами:

$$h_{0,i} = hm \,. \tag{7}$$

$$m = \frac{2q_{i,1} + q_{i,2}}{3(q_{i,1} + q_{i,2})}.$$
 (8)

Величини згинальних моментів у основи *M<sub>i</sub>* та в середині *M<sub>i</sub> i*-ої ділянки визначаються як:

$$M_{i} = P_{a}H \frac{n-i+1}{n} - \sum_{i}^{n} Q_{j} h_{i,j} .$$
 (9)

$$M'_{i} = P_{a}\left[H\frac{n-i+1}{n} - h_{0,i}\right] - \sum_{j=i}^{n} Q_{j}(h_{i,j} - h_{0,i})$$

де  $h_{i,j}$  - висота від основи *i*-го ділянки (Di) до вектора *j*-ої сили, обумовлена виразом:

$$h_{i,j} = h(j-i) + h_{0,j}.$$
 (10)

З урахуванням характеру, що має місце, напружено-деформованого стану (НДС), вираз для потенційної енергії  $U_{(2)}$  може бути спрощено та представлено у вигляді:

$$U = \frac{1}{2} \int_{0}^{l} \frac{M^{2}}{EI} dx.$$
 (11)

Це положення обгрунтовується невеликими, порівняно з вкладом моменту, величинами вкладу парціальних значень ПЕД у (2) від поздовжніх та поперечних сил.

Вище приведений інтеграл (11) обчислюється чисельно. Приймається, що ПЕД системи U дорівнює сумі приватних значень ПЕД Ui кожному з ділянок.

$$U = \frac{1}{EI} \sum_{i=1}^{n} U_i.$$
 (12)

Так як епюра згинальних моментів у зоні кожної *i*-ої ділянки має білінійне обрис, приватне значення  $U_i$  визначається сумою:

$$U_i = U_i^1 + U_i^2. (13)$$

Де:

$$U_i^1 = \frac{(M_i^2 + M_i^{\prime 2} + \sqrt{M_i^2 M_i^{\prime 2}}) l_{0,i}}{3} .$$
(14)

$$U_{i}^{2} = \frac{\left(M_{i}^{2} + M_{i+1}^{2} + \sqrt{M_{i}^{2}M_{i+1}^{2}}\right)\left(l_{0} - l_{0,i}\right)}{3}.$$
 (15)

Таким чином, через залежності (3) - (12) побудовано взаємозв'язок між конфігурацією підпірної стіни та ПЕД системи. Конфігурація підпірної стіни описується комбінацією кутів  $\alpha_i$  розбиття утворюючої. При цьому, чим більша кількість п розбиття системи, а значить, і кількість кутів  $\alpha_i$ , тим більше криволінійна утворююча підпірної стіни наближується до гладкої лінії.

Остаточно задача формулюється наступним чином:

Необхідно знайти таку комбінацію кутів  $\alpha_i$ , (зовнішні параметри), при якій ПЕД системи (2) набуде мінімального значення.

Задля чисельного вирішення поставленої задачі прийняті наступні довільні вихідні дані системи: об'ємна вага ґрунту  $\gamma = 17$  кH/м2; кут внутрішнього тертя ґрунту  $\varphi = 30^\circ$ ; вертикальна проекція підпірної стіни  $L_y = 10$  м.

Розв'язання задачі реалізовано методом спряженого градієнта у середі Excel.

Запропонована процедура розрахунку зумовлює попереднє призначення сили натягу в анкері, з подальшим визначенням раціональної геометрії стіни, відповідній цієї силі. При цьому, для різного значення сил ПЕД системи також відрізняється. На рисунку (4) наведено конфігурації підпірної стіни з найменшими показниками ПЕД при довжині утворюючої підпірної стіни L = 11 - 14 м.



Рис.4. Залежність ПЕД від горизонтальної сили **Р**<sub>*a*</sub> (сили натягу анкеру)



Рис.5. Раціональні конфігурації підпірної стіни з горизонтальним анкером у вершини: а)11 м; б)12 м; в)13 м; г)14м.

З представлених даних випливає, що для кожного із значень довжини утворює підпірної стіни, раціональна, з позиції введеного критерію, сила натягу в анкері також буде різною. Так, для утворюючої 11 м раціональна сила 3 т, для 12 м - 2,2 т, для 13 і 14 м - 1,6 і 1 т відповідно.

Далі розглянута конструкція жорстко защемленої біля основи підпірної стінки, посиленої двома горизонтальними анкерами (рис. 6). Анкери розташовані на половині висоти та у вершини конструкції. Характерні залежності згинальних моментів на верхній ділянці [H/2; H] аналогічні виразам для варіанту з одним рівнем анкера у вершині стіни (9-10). На нижній ділянці [0; H/2] вирази згинальних моментів набудуть вигляду:

$$M_{i} = P_{a,1}H \frac{n-i+1}{n} + P_{a,2}H \frac{n-2_{i}+2}{2n} - \sum_{j=i}^{n} Q_{j} h_{i,j} \cdot (16)$$

$$M_{i}^{'} = P_{a,1} \left[ H \frac{n-i+1}{n} - h_{0,i} \right] + P_{a,2} \left[ H \frac{n-2_{i}+2}{2n} - h_{0,i} \right] - \sum_{j=i}^{n} Q_{j} (h_{i,j} - h_{0,i}) .$$
(17)



Рис.6. Розрахункова схема моделі стіни з двома рівнями анкерного закріплення

При виконанні чисельного аналізу системи покладено, що сили натягу верхнього та нижнього анкерів рівні (**P**<sub>a,1</sub> = **P**<sub>a,2</sub>). У загальному вигляді, співвідношення цих сил, яке зумовить нижню межу ПЕД системи, є окремою задачею. На рис. 7 представлені взаємозв'язки величини ПЕД системи в залежності від сили натягу анкерів для утворюючих підпірної стіни довжиною 11-14 м. Зазначається, що в окремих випадках, при збільшенні сили натягу в 2 рази ПЕД системи може змінюватись більш ніж у 10 разів. У порівнянні з аналогічними результатами, отриманими для стіни з одним анкером у вершини, можна зауважити, що встановлення додаткового анкеру в середині висоти стіни надає можливість зменшення величини ПЕД системи більш ніж у 2 рази.



Рис.7. Залежність ПЕД від Ра,1 та Ра,2

На рис. 8 наведено конфігурації утворюючих підпірних стін, які забезпечують мінімізацію ПЕД системи.



Рис.8. Раціональні конфігурації підпірної стіни, посиленої двома горизонтальними анкерами, при довжині утворюючої: а) 11 м; б) 12 м; в) 13 м; г) 14м.

Як видно з наведеної на рис.7 інформації, конфігурації утворюючих принципово не відрізняються у разі застосування додаткового анкерного кріплення у середині висоти стіни. Дана обставина, перш за все, зумовлена прийнятим співвідношенням сил  $P_{a,1}$  та  $P_{a,2}$ . У разі збільшення кількості анкерів ПЕД системи прагне к 0, однак подібні конструктивні заходи не є доцільними через значні витрати на влаштування великої кількості анкерів. Оптимальна кількість анкерів в залежності від параметрів системи може стати предметом окремого дослідження.

#### Висновки

У роботі поставлено та вирішено задачу пошуку раціональної топології тонкостінної підпірної стіни, посиленої додатковими опорами у вигляді анкерів. Критерієм пошуку раціональної топології, відповідно до ВЕО методу, прийнято мінімізацію потенційної енергії деформації системи. Основна ідея пропонованого підходу полягає в тому, що підпірна стіна і ґрунт засипки, що впливає на неї, розглянуто як єдину систему, в якій форма конструкції задає характер і величину бічного тиску. У подальших дослідженнях викликає інтерес побудови принципів визначення раціональних сил натягу анкерів, у розрізі визначення ïх величини, кількості, точок прикладання та інше.

### Література

1. Prasenjit Sanyal, Sujit Kumar Dalui. Effect of corner modifications on 'Y' plan shaped tall building under wind load / Wind and Structures, Vol. 30, No. 3, 2020. Pp. 245-260

2. Shmukler Valery, Kalmykov1 Oleh, Khalife1 R., Stoliarevska Kamila. Comparative analysis of accounting dynamic earth pressure on retaining structures in regulatory documents / Theory and Building Practice, Vol. 1, No. 1, 2019. Pp. 32-37

3. Клейн, Г.К. Расчет подпорных стен [Текст] / Клейн Г.К. - М.: Высшая школа, 1964. - 196 с.

4. Mergos, P., Mantoglou, F.: Optimum design of reinforced concrete retaining walls with the flower pollination algorithm. Struct Multidiscip Optim 61(2), 2020, Pp. 575–585.

5. Tumer, R., Bekdas, G.: Teaching learning-based optimization for design of cantilever retaining walls. Struct Eng Mech 57(4), 2016, Pp. 763–783.

6. Uray E, Çarbas S, Erkan I., Tan O. Optimum design of concrete cantilever retaining walls with the harmony search algorithm. Proceeding of 6th Geotecnichal Symposium, Cukurova University, Adana, Turkey, 2015.

7. Uray, E., Carbasm S., Erkan, I., Ozcan T.: Parametric investigation for discrete optimal design of a cantilever retaining wall. Challenge journal of structural mechanics 5 (3), 2015, Pp. 108–120.

8. Kaveh, A, Biabani, H., Bakhshpoori, T.: Optimal design of reinforced concrete cantilever retaining walls utilizing eleven meta-heuristic algorithms: a comparative study. Period Polytech Civ Eng 64, 2020, Pp. 156–168.

9. Kaveh, A., Farhoudi, N.: Dolphin echolocation optimization for design of cantilever retaining walls. Asian J Civ Eng 17(2), 2016, Pp. 193–211.

10. Gordan, B., Koopialipoor, M., Clementking, A., Tootoonchi, H., Mohamad, T.: A parametric study of optimum earth-retaining walls by simulated annealing. Eng. Comput 35(3), 2019, Pp. 945–954.

11.Gandomi A.H, Kashani A.R, Roke D.A, Mousavi M. Optimization of retaining wall design using evolutionary algorithms. J Struct Multidiscip Optim 55, 2017, Pp. 809– 825.

12. Babaev, V., Shmukler, V., Feirushah, S., Kalmykov, O., Zinchenko, V.: Rational design of retaining walls / BUITEMS "Journal of applied and emerging sciences", Vol. 3, Issue 1. 2012. Pp. 94-121.

13. Kalmykov, O., Khalife, R., Grabowski, A.: Search for rational contour of back surface of retaining wall. AIP Conference Proceedings, 2019, Pp. 1-5.

14. Shmukler, V., Babaev, V., Shimanovskyi, O. and other.: Rational Design of Structural Building Systems; Berlin: DOM publishers – 2020, 384 p.

15. Шмуклер В.С. Каркасные системы облегченного типа / В.С. Шмуклер, Ю.А. Климов, Н.П. Буряк. Харьков: Золотые страницы, 2008, 336 с.

#### References

1. Prasenjit Sanyal, Sujit Kumar Dalui. (2020) Effect of angular modifications on a high-rise building with a Y-shaped plan under wind loading / *Wind and Structures*, Vol. 30, No. 3. Pp. 245-260

2. Shmukler Valery, Kalmykov Oleg, Khalife R., Stolyarevskaya Kamila. (2019) Comparative analysis of the consideration of dynamic soil pressure on retaining structures in regulatory documents / *Theory and practice of construction*, Vol. 1, No. 1. Pp. 32-37.

3. Klein, G.K. (1964) Calculation of retaining walls [Text] / Klein G.K. - Moscow: Vysshaya shkola, 196 p.

4. Mergos, P., Mantoglou, F. (2020) Optimal design of reinforced concrete retaining walls with flower pollination algorithm. *Struct Multidiscip Optim* 61(2), Pp. 575-585.

5. Toomer, R., Bekdas, G. (2016) Learning-based optimization for the design of cantilever retaining walls. *Struct Eng Mech* 57(4), Pp. 763-783.

6. Urai E., Charbash S., Erkan I., Tan O. (2015) Optimal design of concrete cantilever retaining walls using harmony search algorithm. Proceedings of the 6th Geotechnical Symposium, Kukurova University, Adana, Turkey.

7. Uray, E., Carbasm S., Erkan, I., Ozcan T. (2019) Parametric investigation for discrete optimal design of a cantilever retaining wall. *Challenge journal of structural mechanics* 5 (3), Pp. 108-120.

8. Kaveh, A, Biabani, H., Bakhshpoori, T. (2020) Optimal design of reinforced concrete cantilever retaining walls using eleven metaheuristic algorithms: a comparative study. *Period Polytech Civ Eng* 64, Pp. 156-168.

9. Kaveh, A., Farhoudi, N. (2016) Optimization of dolphin echolocation for cantilever retaining wall design. *Asian J Civ Eng* 17(2), Pp. 193-211.

10. Gordan, B., Kupialipur, M., Clementking, A., Tutunchi, H., Mohamad, T. (2019) Parametric study of optimal soil retaining walls by simulated annealing. *Eng. Comput* 35(3), Pp. 945-954.

11. Gandomi A.H, Kashani A.R, Roke D.A, Mousavi M. (2017) Optimization of retaining wall design using evolutionary algorithms. *J Struct Multidiscip Optim* 55, Pp. 809-825.

12. Babaev, V., Schmuckler, V., Fairushah, S., Kalmykov, O., Zinchenko, V. (2012) Rational design of retaining walls / *BUITEMS "Journal of applied and emerging sciences*", Vol. 3, Issue 1. Pp. 94-121.

13. Kalmykov, O., Khalife, R., Grabovsky, A. (2019) Search for a rational contour of the back surface of the retaining wall. *Collection of scientific works of AIP*, pp. 1-5.

14. Schmuckler, V., Babaev, V., Shimanovsky, O. et al (2020) Rational design of structural building systems; Berlin: DOM publishers - 384 p.

15. Shmukler V.S., Klimov Y.A., Buryak N.P. (2008) Frame systems of lightweight type. Kharkiv: Golden pages, 336 p.

Рецензент: доктор технічних наук, доцент, професор кафедри механіки грунтів, фундаментів та інженерної геології О.В. Кічаєва, Харківський національний університет міського господарства імені О.М. Бекетова, Україна.

Автор: КАЛМИКОВ Олег Олександрович кандидат технічних наук Харківський національний університет міського господарства імені О.М. Бекетова E-mail – <u>olegkalmikov010@gmail.com</u> ID ORCID: https://orcid.org/0000-0001-7294-4279 Автор: БУЛДАКОВ Олексій Олексійович студент 1-го курсу магістратури Харківський національний університет міського господарства імені О.М. Бекетова E-mail <u>-bmth2004keks@gmail.com</u>

Автор: БІНКЕВИЧ Костянтин Олександрович аспірант Харківський національний університет міського господарства імені О.М. Бекетова E-mail – <u>binkevichkonstantin@gmail.com</u> ID ORCID: https://orcid.org/0000-0002-5112-9870

## PARAMETERS RATIONALIZATION OF THE THIN-WALLED ANCHORED RETAINING WALLS

O. Kalmykov, K. Binkevych, O. Buldakov

O.M. Beketov National University of Urban Economy in Kharkiv, Ukraine

One of the priority areas of theoretical research in the field of building structures is to reduce their own weight at a given resource - rationalization. There is a certain number of building structures in which the form and nature of the external load are interdependent. The most striking representative are the structures that perceive lateral pressure from bulk material - retaining walls. From the above review of modern scientific research aimed at finding rational parameters of retaining walls, it follows that the authors, as a rule, describe the cantilever retaining wall by a finite number of parameters and the reduction of its own weight or cost of the structure was taken as the target function. In this case, the load on the structure does not change.

The idea underlying this work is that the structure of the retaining wall and the soil backfill, which holds it, is considered as a single system. In this system, the configuration of the structure determines the nature and magnitude of lateral pressure distribution. The sequence of actions to solve the problem of searching for a rational configuration of the structure leads to the division of the curved foam wall into a finite number of linear sections. The anchor support is represented in the form of an additional concentrated force applied at the anchor fixing point. In the work the dependences between the attributes of the stress-strain state of the structure and the system of angles of inclination of the sections are constructed. The configuration of the anchor and retaining wall, which will minimize the potential deformation energy of the system, is found within the framework of the BEA method. Using the numerical output data, the validity of the proposed method is demonstrated. The realization of calculations is reduced to the search for the extremum of the objective function of n variables where the potential deformation and the combination of angles of inclination of the system's breakdown sections as variables. The solution of the problem is implemented by the conjugate gradient method. as a result of calculations, an image of the structure is obtained that minimizes the introduced criterion.

Keywords: retaining walls, deformation energy, curved surfaces, rationalization.