



УДК 627.33:624.046

**DETERMINATION OF THE LATERAL PRESSURE OF THE BACKFILL ON AGRAVITY-TYPE BERTHING STRUCTURE WITH A STONE PRISM OF IMPROVED FORM****ВИЗНАЧЕННЯ БІЧНОГО ТИСКУ ЗАСИПКИ НА ПРИЧАЛЬНУ СПОРУДУ ГРАВІТАЙНОГО ТИПУ З КАМ'ЯНОЇ ПРИЗМОЮ УДОСКОНАЛЕНОЇ ФОРМИ****Bugaeva S.V. / Бугаєва С.В.***c.t.s., as. prof. / к.т.н., доц.*

ORCID: 0009-0000-3805-3720

**Khoneliia N.N. / Хонелія Н.Н.***c.t.s., as. prof. / к.т.н., доц.*

ORCID: 0009-0000-4323-0293

*Odessa National Maritime University, Odessa, Mechnikova 34, 65029**Одеський національний морський університет, Одеса, Мечникова, 34, 65029*

**Анотація.** В роботі розглядається нове конструкторсько-технологічне рішення для зведення причальної споруди гравітаційного типу при використанні нового раціонального типу кам'яної призми. Розроблений спосіб зведення забезпечує можливість отримання вертикальної тилової грані кам'яної розвантажувальної призми, що призводить до скорочення витрати каменю в тілі споруди та здешевлення будівництва. Для даної конструкції розроблено методику розрахунку бічного тиску засипки, що базується на теорії граничного напруженого стану, але відрізняється від інших наближених методів тим, що враховує в засипці споруди наявність двох зон напруженого стану (граничного та дограничного).

**Ключові слова:** бічний тиск ґрунту, граничний і дограничний напружений стан засипки, кам'яна призма, причальна споруда гравітаційного типу.

**Вступ.**

Перспективним напрямом удосконалення методики проектування споруд гравітаційного типу є розробка конструктивних схем, які б враховували переваги та виключали недоліки вже наявних модифікацій.

Як правило, в тілу причальних споруд влаштовують ґрунтову засипку. Негативними чинниками роботи такої споруди як у будівельний, так і в експлуатаційний період є суттєвий бічний тиск засипки при великих висотах споруди, а також можливість вимивання ґрунту через шви стінок.

У ряді випадків використовують технічні рішення, створені задля подолання зазначених недоліків. Так, наприклад, застосовують відсіпання розвантажувальної насипної призми зі щобеневим контрфільтром, яку виконують на частині висоти стінки [1]. Кам'яна призма за рахунок того, що кут внутрішнього тертя каменю ( $\varphi = 40^\circ - 45^\circ$ ) більше, ніж у ґрунту засипки (піщаного  $\varphi = 30^\circ$ ) передає на стінку значно менший бічний тиск, а відсіпаний за кам'яною розвантажувальною призмою щобеневий контрфільтр перешкоджає вимиву ґрунту засипки через камінь і шви стінки.

Відома також конструкція причальної набережної, що включає підпірну стінку, розвантажувальну кам'яну призму, щобеневий контрфільтр і ґрунтову засипку [1]. Розвантажувальна кам'яна призма і щобеневий контрфільтр відсіпані по всій висоті підпірної стінки і практично перекривають всю призму розпору

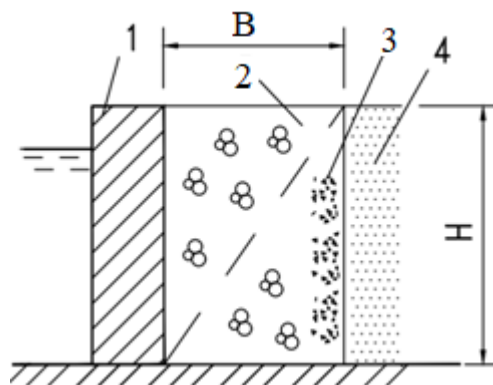


(визначену променем, проведеним з основи тилової грані стінки під кутом  $\beta = 45^\circ - \varphi / 2$  к вертикалі до перетину з поверхнею споруди).

Істотним недоліком такої споруди є надмірно великі обсяги кам'яної призми та щебеневого контрфільтра. Дійсно, для створення розвантажувального ефекту достатньо наявності каменю тільки в межах призми розпору (обмеженою тиловою гранню стінки, поверхнею споруди та променем, проведеним з основи стінки під кутом  $\beta$  к вертикалі до перетину з поверхнею споруди). У відомих конструктивних рішеннях тільки верхня берма кам'яної призми по ширині близька до ширини призми розпору біля поверхні споруди (тобто максимальної ширини призми розпору), а її похила тилова частина і контрфільтр розташовані так, що не мають практичного впливу на величину бічного тиску на стінку (як відомо, поверхневе навантаження і ґрунтова засипка, розташовані поза призмою розпору, не надають бічного тиску на конструкцію, що захищає). Таким чином, значна частина кам'яної призми ніякої позитивної ролі не відіграє, а її наявність обумовлена відсіпкою каменю в тіло споруди під кутом природного укосу (порядку 1:1) і призводить до суттєвої матеріаломісткості споруди та її подорожчання. Застосовувана технологія з відсіпанням каменю та щебеню під кутом природного укосу призводить до зайвих обсягів цих матеріалів у тілі споруди та відповідного зростання його вартості.

#### Основний текст.

Для усунення зазначених недоліків було запропоновано [2] в причальній набережній, що включає підпірну стінку 1, кам'яну розвантажувальну призму 2, щебенивий контрфільтр 3 і засипку ґрунту 4, тилову грань кам'яної розвантажувальної призми і шар її щебеневого контрфільтра виконувати вертикальними (рис. 1).



**Рисунок 1 – Поперечний переріз споруди з вертикальною розвантажувальною кам'яною призмою**

При зведенні такої набережної, що включає етапи монтажу підпірної стінки, відсіпання кам'яної призми, щебеневого контрфільтра і ґрунтової засипки, запропоновано після монтажу підпірної стінки за нею на відстані, що визначається шириною призми розпору, встановити паралельно підпірній стінці на ґрунтову основу двостінні коробки товщиною шару контрфільтра, а після чого виконувати пошарове відсіпання каменю, піску та щебеню з дискретним переміщенням коробів у вертикальному чи горизонтальному напрямку. При вертикальних переміщеннях коробів спочатку відсіпають перший



горизонтальний шар каменю перед коробом (між ним і відсипанням) і перший горизонтальний шар піщаної засипки за коробом, потім відсипають перший горизонтальний шар щебеню в короб і здійснюють вертикальний підйом короба на висоту, що не перевищує висоту шару; виробляють аналогічні операції для другого і наступних горизонтальних шарів матеріалів, що відсипаються аж до виконання відсипки до рівня поверхні набережної.

При горизонтальних переміщеннях коробів спочатку відсипають на висоту короба вздовж частини його довжини вертикальні шари каменю перед коробом, піщаного засипання позаду короба і щебеню в короб, після чого здійснюють горизонтальне зміщення короба у бік від відсипаних раніше матеріалів на відстань, що не перевищує частину довжини короба, вздовж якою відсипано матеріали на попередній операції будівництва; виробляють аналогічні операції для другого та наступних зсувів короба вздовж стінки аж до кінця споруди.

Застосування дискретного переміщення коробів у вертикальному чи горизонтальному напрямі обумовлено урахуванням опору переміщенню коробів у результаті реалізації сил тертя відсипаних матеріалів по бічній поверхні коробів. Якщо відсипати ці матеріали відразу на всю висоту короба або по всій його довжині, то тягового зусилля монтажного обладнання, що застосовується для переміщення коробів, може не вистачити для подолання сил тертя.

Відстань відтилової грані стінки 1 до грані між контрфільтром 3 і засипкою 4 не перевищує по висоті споруди ширини призми розпору (на рівні верху стінки  $B \leq H \cdot \operatorname{tg} \beta$ , де  $H$  - висота споруди). Остання умова забезпечує оптимальний обсяг розвантажувальної призми 2, оскільки перевищення відстані над шириною призми розпору  $H \cdot \operatorname{tg} \beta$  не призведе до збільшення розвантажувального ефекту в порівнянні з випадком, коли  $B = H \cdot \operatorname{tg} \beta$ .

Перевагами нового технічного рішення є ефективне використання відсипаних матеріалів; зменшення обсягу розвантажувальної кам'яної призми; відсутність робіт з рівняння похилих тилкових граней розвантажувальної призми та щебеневого контрфільтра.

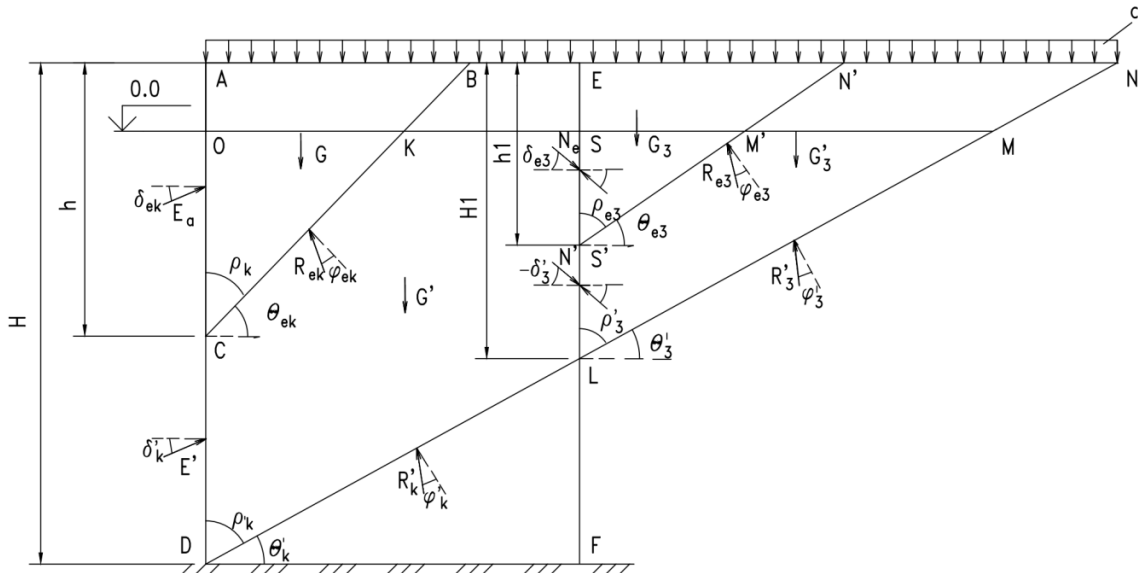
Розглянемо методику розрахунку бічного тиску на стінку з урахуванням особливостей конструкції споруди. При розробці розрахункової схеми для визначення сили бічного тиску ґрунту на стінку з вертикальною кам'яною призмою і ґрунтовою засипкою є доцільним застосувати і розвинути для даного випадку раніше розроблений метод для однорідної засипки [3, 4, 5]. Цей метод дозволяє визначити бічний тиск ґрунту в рамках моделі змішаного напруженого стану (облік граничного і дограничного напруженого стану засипки). Це дозволить розрахунковим шляхом визначити навантаження від тиску ґрунту на стінку для будь-яких проміжних деформованих станів споруди, коли розпірний тиск на частині висоти стінки може перевищувати активний.

Характерною особливістю розглянутої задачі та її основною відмінністю від раніше розглянутих постановок є неоднорідність ґрунтового матеріалу позаду стінки (вертикальні шари засипки та матеріалу розвантажувальної призми). Розрахункова схема для визначення бічного тиску засипки на стінку з урахуванням особливостей конструкції споруди показана на рис.2.



Основні розрахункові передумови для визначення бічного тиску засипки на стінку полягають у наступному.

1. Характер напруженого стану (дограничний або граничний) у довільній точці на контакті стіни з вертикальною кам'яною призмою та ґрунтовою засипкою визначається тим же ставленням, що і вид напруженого стану в довільній точці на контакті споруди з ґрунтом.



**Рисунок 2 – Розрахункова схема для визначення бічного тиску засипки на стінку з урахуванням особливостей конструкції**

Кордон зон дограничного та граничного напружених станів матеріалів кам'яної призми та ґрунтової засипки можуть бути знайдені з залежності: для кам'яної розвантажувальної призми:  $u(z)/h = \alpha$  при  $z = h$ ; для ґрунтової засипки:  $u(z)/h_1 = \alpha$  при  $z = h_1$ . Таким чином,  $h = u(h)/\alpha$ ;  $h_1 = u(h_1)/\alpha$ . Для обчислення значень  $h$  та  $h_1$  слід задати вид функції  $u(z)$ , яка визначається характером зміщення споруди, при поступальному переміщенні  $u(z) = const$ , що наводить вказану залежність до рівняння з невідомими  $h$  і  $h_1$ .

Таким чином, в межах висоти  $0 \leq z \leq h$  кам'яна  $0 \leq z \leq h_1$  призма знаходиться в граничному, а в межах висоти - у дограничному напруженому  $h \leq z \leq H - h$  стані;  $h_1 \leq z \leq H_1 - h_1$ .

2. Кути відхилення рівнодіючого бічного тиску матеріалу кам'яної призми від нормалі до контактної грані споруди та рівнодіючого реактивного тиску масиву матеріалу розвантажувальної призми розпору (або відсіку) від нормалі до межі цієї призми приймаємо рівними: для зони граничного напруженого стану кам'яної призми відповідно  $\delta_{ek}$  і  $\varphi_{ek}$ , причому  $\delta_{ek} = m \cdot \varphi_{ek}$ ; для зони граничного напруженого стану ґрунтової засипки відповідно  $\delta_{e3}$  і  $\varphi_{e3}$ , причому  $\delta_{e3} = m \cdot \varphi_{e3}$ , де  $m$  – коефіцієнт, який призначається в інтервалі  $0 \leq m \leq 1$  за результатами експериментальних досліджень; для зони граничного напруженого стану кам'яної призми відповідно  $\delta'_k$  і  $\varphi'_k$ , причому  $\delta'_k = \delta_{ok} + n_k(\delta_{ek} - \delta_{ok})$ ;  $\varphi'_k = \varphi_{ok} + n_k(\varphi_{ek} - \varphi_{ok})$ , де  $n_k$  – коефіцієнт, що залежить від співвідношення розмірів



зон граничного і дограничного напружених станів кам'яної призми і визначальний шукані величини в інтервалах  $\delta_{0k} \leq \delta'_k \leq \delta_{ek}$  ( $\varphi_{0k} \leq \varphi'_k \leq \varphi_{ek}$  тут  $\delta_{0k}$  и  $\varphi_{0k}$  - значення кутів, відповідають тиску кам'яної призми на контактну грань споруди в стані спокою), де  $\varphi_{0k} = \arcsin \frac{\sin \varphi_{ek}}{2 - \sin \varphi_{ek}}$ ; для зони дограничного напруженого стану ґрунтового засипання відповідно  $\delta'_3$  и  $\varphi'_3$ , причому  $\delta'_3 = \delta_{03} + n_3(\delta_{e3} - \delta_{03})$ ;  $\varphi'_3 = \varphi_{03} + n_3(\varphi_{e3} - \varphi_{03})$ , де  $n_3$  - коефіцієнт, що залежить від співвідношення розмірів зон граничного і дограничного напружених станів ґрунтового засипання і визначальний шукані величини в інтервалах  $\delta_{03} \leq \delta'_3 \leq \delta_{e3}$ ,  $\varphi_{03} \leq \varphi'_3 \leq \varphi_{e3}$  (тут  $\delta_{03}$  и  $\varphi_{03}$  значення кутів, що відповідають тиску ґрунту в стані спокою), де  $\varphi_{03} = \arcsin \frac{\sin \varphi_{e3}}{2 - \sin \varphi_{e3}}$ .

3. Рівнодіюча розпірної складової ґрунтової засипки визначається як векторна сума граничної  $N_e$ , що діє на ділянці заввишки  $h$ , та дограничної  $N'$ , що діє на ділянці  $H_1 - h$ , що складають відповідно до виразу

$$N = \left[ N_e^2 + N'^2 + 2 \cdot N_e \cdot N' \cdot \cos(\delta_{e3} - \delta'_3) \right]^{1/2} \quad [1]$$

4. Рівнодіюча  $E$  бічного тиску кам'яної розвантажувальної призми на споруду визначається для кожного поточного деформованого стану як векторна сума двох складових: граничної  $E_e$ , що діє на ділянці висотою  $h$ , та дограничної  $E'$ , що діє на ділянці висотою  $H_h$ , відповідно до виразом

$$E = \left[ E_e^2 + E'^2 + 2 \cdot E_e \cdot E' \cdot \cos(\delta_{ek} - \delta'_k) \right]^{1/2} \quad [2]$$

Ґрунтуючись на прийнятих передумовах, отримано розрахункові формули для визначення бічного тиску кам'яної розвантажувальної призми як функції усунення стінки при змішаній постановці завдання. Для визначення сили бічного тиску кам'яної призми на споруду було розглянуто послідовно умови рівноваги кожної із зон, зважаючи на їхню силову взаємодію, з урахуванням вертикальної шаруватості ґрунтового матеріалу позаду стінки споруди.

Для оцінки економічної ефективності використання відсипаних матеріалів у тіло споруди було визначено обсяги кам'яної розвантажувальної призми та щебеневого контрфільтра для причальної спорудитрадиційної конструкції, а також для порівняння розглянутої споруди при різних глибинах у причалу. Результати показали що розглянуте нове технічне рішення забезпечує зменшення витрат матеріалу у розвантажувальній призмі на 35 - 25% у розглянутому інтервалі глибин у причалу.

### Висновки.

1. Розглянуто нове конструкторсько-технологічне рішення для зведення причальної споруди гравітаційного типу при використанні нового раціонального типу кам'яної призми. Розроблений спосіб зведення забезпечує можливість отримання вертикальної тилової грані кам'яної розвантажувальної призми, що



призводить до скорочення витрати каменю в тілі споруди та здешевлення будівництва.

2. Для розглянутої споруди розроблено методику розрахунку бічного тиску кам'яної розвантажувальної призми при змішаній постановці задачі, що враховує одночасне виникнення та силову взаємодію зон граничного та дограничного напружених станів. Розглянуто основні розрахункові передумови та отримано розрахункові залежності для визначення бічного тиску кам'яної розвантажувальної призми як функції зміщення стінки при змішаній постановці задачі.

3. Для оцінки економічної ефективності використання відсипаних матеріалів у тіло споруди визначено обсяги кам'яної розвантажувальної призми та щебеневого контрфільтру в традиційній конструкції та інноваційного конструкторсько-технологічного рішення. Економічна ефективність у цьому випадку забезпечується зменшенням обсягу каменю в розвантажувальній призмі внаслідок відсутності каменю за вертикальною тиловою гранню цієї призми.

### Література:

1. Никеров П.С., Яковлев П.И. Морские порты. М.: Транспорт, 1987. 416 с.
2. Патент на изобретения № 1663088. Способ выполнения обратной засыпки причальной набережной / Яковенко С.В., Петровский В.И., Пойзнер М.Б., Дубровский М.П.
3. Khoneliia N., Fedorova K. Improved methods of calculating of gravity-type structures. German International Journal of Modern Science. 2021, No. 19, Vol. 1, pp. 59 – 62. DOI: 10.24412/2701-8369-2021-19-1-59-62.
4. Khoneliia Natela, Bugaeva Svetlana. There active capacity of the soil bases of gravity-type quay wall. The journal "World Science". 2019, No. 9(49), Vol. 1, pp. 16-19. Scientific Educational Center Warsaw, Poland.
5. Хонелія Н.Н. Застосування удосконалених методів розрахунку несучої здатності основ при реконструкції та експлуатації причальних споруд. International Scientific Journal «INTERNAUKA» // Збірник наукових статей: Київ. 2023. № 3 (137). С. 58 – 89.

**Abstract.** *The paper examines a new design and technological solution for the construction of a gravity-type berthing structure using a new rational type of stone prism. The developed construction method provides the possibility of obtaining a vertical shape of a stone unloading prism, which leads to a reduction in stone consumption in the body of the structure and a reduction in the cost of construction.*

*For this structure, a method for calculating the lateral pressure of the backfill has been developed, which is based on the theory of the limit stress state, but differs from other approximate methods in that it takes into account the presence of two stress state zones (limit and sublimit) in the backfill of the structure.*

**Keywords:** *lateral pressure of the backfill, limit and sublimit stress state of the backfill, stone prism, a gravity-type berthing structure.*

Стаття відправлена: 25.11.2024 р.

© Бугаєва С.В., Хонелія Н.Н.