

Застосування методу скінченних елементів в практиці організаційно-технологічного моделювання девелоперських проектів

Денис Чернишев¹, Максим Дружинін², Ганна Шпакова³

^{1,2,3}Київський національний університет будівництва і архітектури

31, просп. Повітрофлотський, Київ, Україна, 03037

¹denis01011978@ukr.net, orcid.org/0000-0002-1946-9242

²0631962117m@gmail.com, orcid.org/0000-0003-1821-1968

³Shpakova.a@gmail.com, orcid.org/0000-0003-2124-0815

DOI: 10.32347/2522-4182.5.2019.4-7

Анотація. Статтю присвячено обґрунтуванню змісту та регламенту організаційно-технологічних заходів забезпечення біосферосумісного будівництва та екологічно-інженерного захисту територій морського та річкового узбережжя при їх забудові, з врахуванням особливостей механічних, гідродинамічних та сейсмічних властивостей ґрунтів.

Ключові слова: біосферосумісне будівництво, зсувонебезпечність територій, організаційно-технологічна надійність

Вступ. Донедавна основним завданням будівництва було створення штучного середовища, що забезпечує умови життєдіяльності людини. Навколишнє середовище розглядалася лише з точки зору необхідності захисту від її негативних впливів на створюване штучне середовище. Захист берегів від розмиву і, пов'язаного з ним, зсувного руйнування берегових територій – найгостріша соціально-економічна та екологічна проблема, що стримує освоєння рекреаційних та інших ресурсів прибережної смуги України.

Основними причинами недосконалості діяльності в галузі захисту морського узбережжя є: недостатня вивченість природних берегоформуючих процесів та недосконалість засобів спостереження за ними; здійснення робіт щодо захисту морського узбережжя без достатнього наукового обґрунтування; недостатнє врахування закономірностей природних процесів у прибережній смузі моря при формуванні складу проектних рішень; некомплексність ведення робіт та незавершеність формування берегозахисних та берегорегулюючих споруд у локальних комплексах, що повністю охоплюють берегові природні системи, в яких існує високий рівень взаємозв'язків природних процесів, що не забезпечувало їх проектну ефективність.



Денис Чернишев

Перший проректор,
професор кафедри водопостачання та водовідведення
д.т.н., доцент



Максим Дружинін

доцент кафедри будівництва та інформаційних технологій ІНО
к.т.н.



Ганна Шпакова

доцент кафедри будівельних технологій
к.т.н., доцент

Для укріплення берегової лінії необхідно виконати розрахунки, згідно яких розроблено ряд заходів по укріпленню пляжної зони. Так як в теперішній час надзвичайно актуальним є збереження природних ресурсів та екологічність технологій що використовуються в будівництві, матеріалом для цього виду робіт було обрано габійні конструкції різних типів. А саме – габійні коробчастого типу, та габійні матраси типу «Рено» (див рис.1)

Габійні матраци – це об'ємні габійні конструкції з сітки подвійного кручення. Вони мають невелику висоту і велику площу покриття, вони так само, як і коробчасті габійні діафрагмами діляться на секції з інтервалом 1 м по довжині а кромки панелей підсилені дротом більшого діаметру.

В умовах влаштування захисту слабкої нестабільної основи ця властивість є надзвичайно важливою. Також, укріплення виконується в пляжній зоні, де важливим є збереження ландшафту та рослинності, що притаманна саме цій

місцевості. Габіони пропускають крізь себе воду та осадки не руйнуючи цілісність та є природними будівельними блоками що не перешкоджають росту рослинності трав'яного покриву, що робить їх натуральними та екологічними спорудами. З часом простір між камінням заповнюється пилом, мулом та брудом, що сприяє розвитку рослин, тому зливаючись з природним середовищем габіони перетворюються на частину природного ландшафту. Крім того, акумуляція частинок ґрунту сприяє збільшенню міцнісних властивостей споруди, що виконує роль в'язучого.



Рис.1. Схема габіонного матрацу типу «Рено»
Fig.1. Scheme of the Gabion mattress type "Renault"

Для аналізу та розрахунку схилу був використаний метод скінченних елементів (МСЕ), який в теперішній час визнаний як загальний метод вирішення широкого кола задач. Він реалізований у великій кількості розрахункових програм, якими користуються як науковці так і інженери в повсякденному житті для вирішення конкретних задач [1-4]. Суть МСЕ полягає в апроксимації суцільного середовища з нескінченно великим числом ступенів вільності сукупністю підобластей, що мають скінченне число ступенів вільності. Між цими елементами встановлюється взаємозв'язок. Для задач, що використані для моделювання ґрунтового масиву використані співвідношення у формі переміщень. У межах кожного елемента задаються функції, так звані функції форми, які визначають переміщення у внутрішній області елемента по переміщенням у вузлах. Невідомими МСЕ є можливі і незалежні переміщення у вузлах скінченно-елементної моделі.

Основним підходом цього методу є припущення, що шуканий параметр досліджуваного фізичного явища представляється в формі деякої глобальної функції $u(x, y, z)$, що розповсюджена по всьому об'єму неперервної ділянки

середовища або деякої області Ξ . Така функція відтворюється частинами в кожному окремому фрагменті ділянки Ξ . Крім того, для рішення задачі, ділянку досліджень необхідно попередньо розбити на елементарні ділянки (фрагменти) з врахуванням наступних критеріїв: геометрія досліджуваної ділянки, особливостей фізичного процесу, що протікає та критерію точності шуканого результату. Елементарні фрагменти, в межах яких і здійснюється локальний пошук шуканої функції з допомогою функцій форм, називають скінченними елементами. Функції форм будуються на основі інтерполяційних поліномів, що використовуються для пошуку значень шуканої функції в обраних точках досліджуваної ділянки.

В результаті аналізу розрахункових комплексів, для проведення розрахунків був прийнятий програмний комплекс «Plaxis». Оскільки розрахунки проводились з врахуванням конструктивної та фізичної нелінійності, було прийнято спрощення розрахункової схеми до плоскої постановки. В свою чергу таке спрощення, хоч і дозволяє отримати коректні результати в межах досліджуваної ділянки, проте вимагає обережного підходу до вибору жорсткісних параметрів захисних конструкцій, оскільки моделювання відбувається в межах ділянки, що має розмір в напрямку осі Y 1.0 м. Таким чином розрахунковий комплекс сприймає жорсткість окремих елементів захисних конструкцій, наприклад ґрунтових анкерів чи елементів огороження, як суцільну конструкцію, без врахування відстані в плані між ними.

Враховуючи все вище сказане жорсткість кожного ряду ґрунтових анкерів та залізобетонних елементів огороження – збірних залізобетонних плит по Серії 3.505.1-15 були приведені до жорсткості суцільних конструкцій круглого та прямокутного перерізу з постійною приведеною шириною b^* чи діаметром r^* . Приведена на 1 п.м. захисної конструкції площа поперечного перерізу ґрунтового анкера чи плит огороження складає:

$$S' = S / k, \quad (1)$$

де: S – площа одного конструктивного елемента, k – крок елементів в ряду.

Приведений модуль деформації елемента конструкцій складає:

$$E' = \frac{E \cdot \pi \cdot a}{\sqrt{12} \cdot k}. \quad (2)$$

Тут: E – модуль деформації бетону, a – поперечний розмір елемента захисної конструкції. Остаточні параметри жорсткості на згин та

осьовий стиск, необхідні для розрахунку, складатимуть:

$$EI = \frac{E' \cdot a'^3}{12} \quad (3)$$

$$ES = E' \cdot a' \cdot 1 \quad (4)$$

Значення отримані у виразах (3) та (4) використовуються в якості жорсткісних характеристик самої конструкції, тому суттєвим чином впливають на загальне переміщення елементів розрахункової схеми (конструкції).

Система передбачає можливість виокремлення окремих інженерно-геологічних елементів (ПЕ) за даними інженерно-геологічних вишукувань майданчика. Ця система орієнтована на автоматичне визначення змінного модуля пружності на кожній стадії зведення. У відповідності з цією моделлю по всьому масиву визначаються значення нормальних та дотичних напружень.

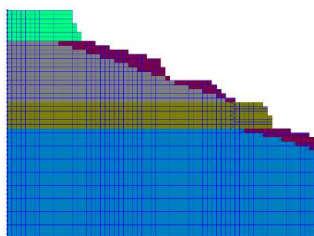
За допомогою цього розрахункового комплексу реалізовано розрахунок стійкості схилу при зміні характеристик окремих шарів ґрунту, у зв'язку з накопиченням вологи, що призводить до зміни міцнісних та деформативних характеристик ґрунту.

Розрахунки стійкості схилу проводились у 7 етапів (рис. 2).

Подібний розрахунок можливий завдяки реалізованому поетапному навантаженню чи розвантаженню, монтажу та демонтажу елементів схеми. Тобто реалізоване моделювання нелінійних навантажень.

В постановці були змодельовані наступні етапи: (рис.2)

Етап 1
ґрунтовий масив



Етап 2-3
Зміна характеристик ґрунту через зміну гідрогеологічного режиму

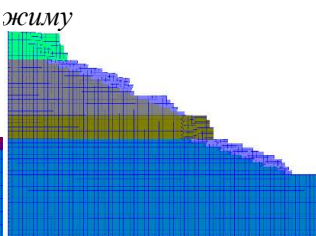


Рис. 2. Етапи розрахунку стійкості схилу (1-3)

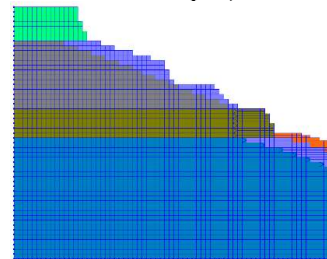
Fig. 2 Steps for calculating slope stability (1-3)

Перший етап це - моделювання СЕМ схилу, та визначення напружено-деформованого стану ґрунтового масиву.

На 2-ому та 3-ьому етапах змодельоване поступове погіршення фізико-механічних характеристик внаслідок впливу підвищення рівня ґрунтових вод. Перед початком цього етапу

необхідно обнулити переміщення визначені на попередньому етапі.

Етап 4-6
Встановлення габійонних матраців



Етап 7
Встановлення коробчастих габійонів

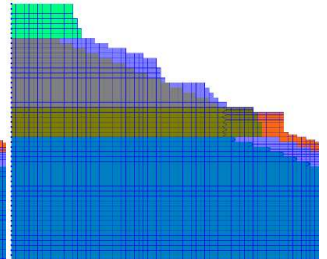


Рис. 2. Етапи розрахунку стійкості схилу(4-7)

Fig. 2 Steps for calculating slope stability(4-7)

Потім на протязі 4 – 6 етапів відбувається встановлення габійонних матраців.

На 7-ьомому етапі встановлюються габійони на рівні ПЕ-3 з метою припинення подальшого руйнування вапняку.

Габійонні матраци, використані для закріплення берегової лінії так як через свої властивості можуть бути встановлені під водою, що зменшує руйнування берегових виступів під дією штормових хвиль. Через особливості конструкції габійонні матраци можуть витримати значні деформуючі навантаження без розриву.

Таким чином, укріплення берегової зони розроблене з врахуванням властивостей такого типу відкосів, а саме - берегові відкоси можна умовно поділити на три частини – підводна зона, зона змінного режиму та незатоплювана зона. Наявність цих зон зумовлює використання різних матеріалів та методів укріплення узбережжя.

Морське узбережжя Чорного і Азовського морів займає значну частину південного кордону України. Воно охоплює п'ять адміністративних одиниць - Донецьку, Запорізьку, Херсонську, Миколаївську та Одеську області, а також Автономну Республіку Крим. Загальна довжина берегової лінії перевищує 3000 км. Окрім цього значну частину території займають береги штучних морів Київського, Канівського, Кременчуцького, Дніпродзержинського, Каховського водосховищ.

Аналіз вітчизняних [5-7] та закордонних літературних джерел [8-9] показує, що на сучасному етапі розвитку науки і техніки недостатньо мати лише кількісну оцінку процесу деформування напружено-деформованого стану ґрунтового масиву, а треба ще мати якісний прогноз розвитку небезпечних геодинамічних процесів. Крім цього, особливу увагу приділяється застосуванню екологічних систем інже-

нерного захисту прибережних територій шляхом використання конструкцій та превентивних заходів із забезпечення стабільності узбережжя.

У розв'язанні цих питань велике значення мають сучасні теоретичні розробки з регулювання берегових процесів, моделювання напружено-деформованого стану морського узбережжя, застосуванню енергоефективного інженерного захисту та ін.

ЛІТЕРАТУРА

1. **Августі Г., Баратта А., Кашиати Ф.** Вероятностные методы в строительном проектировании. – М.: Стройиздат, 1988. – 584 с. 49
2. **Адлер Ю. П.** Планирование эксперимента при поиске оптимальных условий / Ю. П. Адлер, Е. В. Маркова, Ю. В. Грановский. М.: Наука, 1976. – 280 с. 44
3. **Баладинский В.Л.** и др. Механизация земляных работ. – К.: Укрвузполиграф, 1992. – 180 с. 88
4. **Барлоу Р.** Математическая теория надежности / Р. Барлоу, Ф. Прошан. – М.: Сов. радио, 1962. – 312 с. 10
5. **Баженов В.А., Дехтярюк Є.С. Ворона Ю.В.** Динаміка споруд. – К.: ПАТ Віпол, 2012. – 342 с. 52
6. **Баженов В.А., Дехтярюк Є.С.** Імовірнісні методи розрахунку конструкцій. Випадкові коливання пружних систем. – К.: КНУБА, 2005. – 420 с. 50
7. **Баженов В.А., Лук'янченко О.О., Костіна О.В. Герашченко О.В.** Вплив навантаження на частоти власних коливань складної оболонкової конструкції// Опір матеріалів та теорія споруд. К.: КНУБА, 2013. – Вип.91. – С.49-58. 54.
8. **Бережный А. Ю.** Зависимость комплексного показателя экологической нагрузки от организационно-технологических решений при оценке воздействия строительства на окружающую среду : автореф. дисс. на соиск. науч. степени канд. техн. наук : спец. 05.23.19 «Экологическая безопасность строительства и городского хозяйства» / А. Ю Бережный. – М., 2012. – 22 с. 59
9. **Болотин В.В.** Методы теории вероятностей и теории надежности в расчетах сооружений. М.: Стройиздат, 1982. –351 с.
2. **Yu. Adler,** Experimental planning for optimal conditions / Yu. Adler, E. Markova, Yu. Granovskii. M.: Science, 1976. – 280 p. 44
3. **Baladinsky V.** Mechanization of earthworks. - K. : Ukrvizpoligraf, 1992. - 180 p. 88
4. **Barlow R.** Mathematical theory of reliability / R. Barlow, F. Prochan. - M. : Owl. Radio, 1962. - 312 p. 10
5. **V. Bazhenov, E. Dehtyaryuk. Crow Yu.** Dynamics of structures. - K. : PJSC Vipol, 2012. - 342 p. 52
6. **V. Bazhenov, E. Dehtyaryuk.** Probabilistic methods for calculating structures. Random oscillations of elastic systems. - K. : KNUBA, 2005. - 420 p. 50
7. **V. Bazhenov, O. Lukyanchenko, O. Kostina. Gerashchenko O.** Influence of loading on self-oscillation frequencies of complex shell construction // Material resistance and structure theory. K. : KNUBA, 2013. □ Issue 91. □ C.49-58. 54.
8. **Berezhny A.** Dependence of a complex indicator of ecological load on organizational and technological solutions in the assessment of the impact of construction on the environment: author. diss. on the nipple. scientific degrees of Cand. tech. Sciences: Special. 05.23.19 "Ecological safety of construction and urban economy" / A. Yu Berezhny. - M., 2012. - 22 p. 59
9. **Bolotin V.** Methods of probability theory and reliability theory in structure calculations. M.: Stroizdat, 1982. –351 p.

The application of a method of a little element in the practice of organizational-technological modeling development projects

*Denys Chernyshev, Maksym Druzhinin
Ganna Shpakova*

Abstract. The article is devoted to the substantiation of the content and regulation of organizational and technological measures to ensure biosferous construction and ecological and engineering protection of marine and river coastal areas during their development, taking into account the peculiarities of mechanical, hydrodynamic and seismic properties of soils. the method of modeling the stress-deformed state of the system "soil massive-holding engineering structures" under the influence of geodynamic loads is proposed and implemented, which allows taking into account the change in the parameters of organizational and technological reliability of construction in the local zones of the territories of the sea and river coasts. Methodical and applied recommendations for organization of effective mechanism of counteraction to destruction of landslide areas are given.

Keywords: biosfere-compatible construction, landslide danger, organizational and technological reliability

REFERENCES

1. **Augusti G., Baratta A., Kashiati F.** Probabilistic methods in construction design. - M. : Stroyizdat, 1988. - 584 p. 49