



УДК 004.942:624.074:624.042.7

RECOMMENDATIONS FOR USE OF NONLINEAR SOIL MODELS IN THE CALCULATION OF HYDROTECHNICAL STRUCTURES**РЕКОМЕНДАЦІЇ СТОСОВНО ВИКОРИСТАННЯ НЕЛІНІЙНИХ МОДЕЛЕЙ ГРУНТУ ПРИ РОЗРАХУНКУ ГІДРОТЕХНІЧНИХ СПОРУД****Bezushko D. / Безушко Д.І.***s.t.s., as.prof. / к.т.н., доц.*

ORCID: 0000-0003-2215-1136

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

Анотація. У роботі наведено рекомендації, щодо вибору і застосування ґрунтових моделей, що використовуються при комп'ютерному моделюванні споруд. Виконано аналіз меж застосування наступних моделей деформування ґрунту: модель Мора – Кулона («Mohr – Coulomb»); модель ґрунту, що зміцнюється («Hardening Soil»); модель ґрунту, що зміцнюється, з урахуванням малих деформацій «Hardening Soil» («Small strain stiffness»); модель, що враховує розрідження ґрунту UBCSAND. Наведені рекомендації дозволяють зменшити вірогідність помилок у розрахунках та можуть бути використані при проектуванні різних типів гідротехнічних споруд.

Ключові слова: моделі ґрунту, метод скінчених елементів, гідротехнічні споруди.

Вступ.

Розвиток комп'ютерних технологій привів до всебічного використання методу скінчених елементів, як основного методу визначення напружено-деформованого стану споруд. Метод скінчених елементів використовується в інженерній практиці вже більше ніж 50 років [1], хоча його засади було сформульовано ще в 40-х роках минулого століття. За цей час зазнали значних змін: методи триангуляції, види апроксимуючих функцій, методи розв'язку та спрощення систем алгебраїчних рівнянь, вид та склад матриці жорсткості та матриці мас, моделі деформування матеріалів конструкцій та ґрунтів основ та інші параметри. На даний час адекватність використання методу скінчених елементів визначається достовірністю і точністю моделей навантаження, моделей роботи матеріалів і ґрунтів, моделей руйнування. Саме визначення деформацій споруду на різних етапах експлуатації є важливою складовою забезпечення надійності споруди та безаварійної експлуатації, що не можливо без використання відповідних моделей деформування ґрунтів та сучасних методів розрахунку. Сучасні програмні комплекси що використовуються для розв'язання задач інженерної геотехніки, такі як Plaxis та Midas GTS NX нараховують більше ніж 20 моделей матеріалів. Кожна з них має свої переваги та недоліки. Розібратися в тонкощах використання іноді досить складно. Питання вибору й застосування моделей ґрунту, що використовуються при комп'ютерному моделюванні споруд є досить гострим, що і зумовлює **актуальність роботи.**

Мета роботи – розробити рекомендації щодо застосування моделей ґрунту для використання в розрахунках споруд методом скінчених елементів у сейсмічно небезпечних районах.



Основна частина.

Окремі рекомендації, щодо використання моделей та визначення відповідних параметрів було розроблено та запропоновано в роботах вітчизняних та закордонних вчених Солодей І.І. [2], Мірний А.Ю, Тер-Мартirosян А. З., Brinkgreve та ін. в [3], Benz Т. [4], Atkinson J. та Sallfors G. [5], Obrzud R.F. [6].

Вищезазначені праці вносять значний внесок в поширення та використання сучасних ґрунтових моделей при комп'ютерному моделюванні споруд різного призначення.

Спираючись на аналіз літературних джерел нами сформульовано рекомендації стосовно використання наступних моделей деформування ґрунту: модель Мора – Кулона («Mohr – Coulomb»); модель ґрунту, що зміцнюється («Hardening Soil»); модель ґрунту, що зміцнюється, з урахуванням малих деформацій «Hardening Soil» («Small strain stiffness»); модель, що враховує розрідження ґрунту UBCSAND.

Слід мати на увазі, що застосовуючи лінійно-пружні та ідеально пластичні моделі деформування ґрунту у розрахунках методом скінченних елементів деформації можуть бути занижені, що в подальшому впливає на визначення зусиль, що розраховані для опорних елементів конструкції. Моделі, що враховують зміну жорсткості при малих деформаціях, концентрують розвиток деформації навколо осередку (прикладення навантаження або на контакт з несучими елементами споруди), аналогічно до того, що спостерігається в дійсності [3, 5, 7].

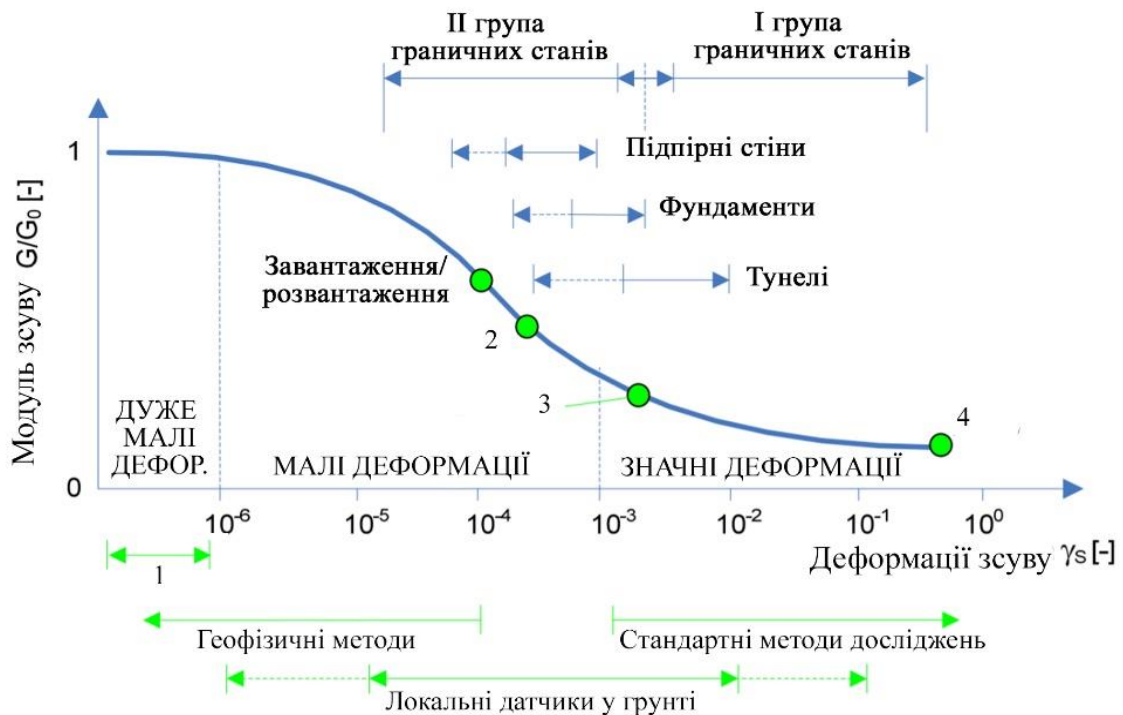


Рис. 1. Зміни жорсткості в залежності від значень деформації зсуву; порівняння з діапазонами для геотехнічних задач, груп граничних станів та методів визначення механічних характеристик ґрунту на основі [5, 6]; 1 - тест на пенетрацію сейсмічним конусом; 2 – тест дилатометром (тест Маркеті); 3 – звичайне навантаження; 4- тест на пенетрацію.



Якщо врахувати, що розрахунок конструкцій ведеться за двома групами граничних станів використовуючи залежність між модулем зсуву та дотичних деформацій у відносних показниках з нанесенням відповідних точок, що відповідають методам досліджень механічних показників ґрунту отримаємо Рис. 1. на якому видно характерні точки, що доводять необхідність врахування змін жорсткості навіть при малих деформаціях ґрунту.

Загалом, доки визначається перша група граничних станів аналіз може виконуватись з використанням базової лінійної моделі Мора-Кулона. З іншого боку, точний аналіз напружено-деформованого стану вимагає застосування вдосконалених моделей, які точніше апроксимують співвідношення напружень і деформацій та враховують зміцнення та розжиження ґрунту. Рекомендації, щодо використання моделей матеріалу для розрахунку методом скінчених елементів з врахуванням виду ґрунту та типу розрахунку наведено в рекомендаціях до програмних комплексів [3, 7], що можна представити у виді Таб. 1.

Таблиця 1

Використання моделей матеріалу для розрахунку споруд методом скінчених елементів

Модель ґрунту	Група граничних станів	Пісок	Супіщані ґрунти, суглинки		Глини	
			дилатансія Dilatant	контракція Non-dilatant	тверді	пластичні
Mohr-Coulomb	I	+	+/-	-	+/-	-
	II	-	-	-	-	-
	дин.	-	+/-	-	-	-
Modified Mohr-Coulomb	I	+	+	+	+	+
	II	+/-	+/-	+/-	+/-	+
	дин.	-	+	+	+	+
Modified Cam-Clay	I	-	-	+	-	+
	II	-	-	+/-	-	+
HS-Small Strain	I	+	+	+	+	+
	II	+	+	+	+	+
	дин.	+	+	+	+	+
UBCSAND	I	+	+	+		
	II	+	+	+	-	-
	дин.	+	+	+	-	-

- не рекомендовано застосовувати, +/- може використовуватися, але не рекомендується з точки зору якості результатів, + рекомендовано до застосування.

Висновок.

Наведені рекомендації щодо використання моделей ґрунтів для розрахунку методом скінчених елементів з урахуванням виду ґрунту та типу розрахунку дозволяють зменшити вірогідність помилок у розрахунках та можуть бути використані при проектуванні різних типів гідротехнічних споруд.

Список використаних джерел

1. Zienkiewicz O. C. The finite element method. – McGraw-Hill Book Company (UK) Limited, 1986. – 787 p.



2. Солодей І. І. Особливості створення розрахункових моделей при дослідженні напружено-деформованого стану підземних споруд / І. І. Солодей, Е. Ю. Петренко, Г. А. Затилук // Опір матеріалів і теорія споруд. - 2019. - Вип. 102. - С. 139-149. - Режим доступу: http://nbuv.gov.ua/UJRN/omts_2019_102_15.

3. Brinkgreve RBJ Plaxis finite element code for soil and rock analyses// Brinkgreve RBJ, Kumarswamy S, Swolfs WM, Zampich L, Ragi Manoj/ Plaxis BV, Bentley Systems, Incorporated, Philadelphia, 2019.- P. 16.

4. Benz T. A small-strain overlay model// Benz T., Vermeer P., Schwab R. J./ Numer Anal Methods Geomech 33, 2009. pp.25–44.

5. Atkinson J. and Sallfors G., Experimental determination of soil properties. In Proc. 10th ECSMFE, volume 3, pages 915–956, Florence, Italy, 1991.

6. Obrzud R.F. On the use of the Hardening Soil Small Strain model in geotechnical practice / Numerics in geotechnics and structures, 2010.

7. Пособие по расчетам GTS NX [Электронный ресурс] // Midas GTS NX. – 2020. – Режим доступу до ресурсу: <http://ru.midasuser.com/web/page.php?no=65>.

References:

1. Zienkiewicz O. C. The finite element method. - Megrow-Hill Book Company (UK) Limited, 1986. -- 787 p.

2. Solodey I. I. Peculiarities of the stem of the rozrakhunkovyh models with an advanced loaded-deformed mill of the ground sporud / I. I. Solodey, E. Yu. Petrenko, G. A. Zatilyuk // Opir materialiv and theory sporud. - 2019. - VIP. 102. - S. 139-149. - Access mode: http://nbuv.gov.ua/UJRN/omts_2019_102_15.

3. Brinkgreve RBJ Plaxis finite element code for soil and rock analyzes // Brinkgreve RBJ, Kumarswamy S, Swolfs WM, Zampich L, Ragi Manoj / Plaxis BV, Bentley Systems, Incorporated, Philadelphia, 2019.- P. 16.

4. Benz T. A small-strain overlay model // Benz T., Vermeer P., Schwab R. J. / Numer Anal Methods Geomech 33, 2009. pp. 25–44.

5. Atkinson J. and Sallfors G., Experimental determination of soil properties. In Proc. 10th ECSMFE, volume 3, pages 915–956, Florence, Italy, 1991.

6. Obrzud R.F. On the use of the Hardening Soil Small Strain model in geotechnical practice / Numerics in geotechnics and structures, 2010.

7. A guide for calculating GTS NX [Electronic resource] // Midas GTS NX. - 2020. - Mode of access to the resource: <http://ru.midasuser.com/web/page.php?no=65>.

Abstract. *The paper provides recommendations for the selection and application of soil models used in computer simulation of structures. The analysis of the limits of application of the following models of soil deformation is performed: Mohr - Coulomb model ("Mohr - Coulomb"); hardened soil model ("Hardening Soil"); the model of the soil which is strengthened, taking into account small deformations "Hardening Soil" ("Small strain stiffness"); model that takes into account soil rarefaction UBCSAND. These recommendations reduce the probability of errors in the calculations and can be used in the design of various types of hydraulic structures.*

Keywords: *soil models, finite element method, hydraulic structures.*