

УДК 624.151.5

ВИБІР ПРОГРАМНОГО КОМПЛЕКСУ ДЛЯ ВИРІШЕННЯ КОНТАКТНОЇ ЗАДАЧІ

ХОРУЖЕНКО І.В.^{1*}, ас.
ТИМЧЕНКО Р.О.^{2*}, д.т.н, проф.,
КРИШКО Д.А.^{3*}, к.т.н., ст. викл.,

^{1*} Кафедра Прикладної механіки та загальноінженерних дисциплін, Державний вищий навчальний заклад «Криворізький національний університет», вул. Віталія Матусевича, 11, 50027, Кривий Ріг, Дніпропетровська обл., Україна, тел. +38 (056) 409-06-06, e-mail: tafita88ross@gmail.com, ORCID ID: 0000-0001-7824-533

^{2*} Кафедра Промислового, цивільного та міського будівництва, Державний вищий навчальний заклад «Криворізький національний університет», вул. Віталія Матусевича, 11, 50027, Кривий Ріг, Дніпропетровська обл., Україна, тел. +38 (056) 409-06-06, e-mail: radomirtimchenko@mail.ru, ORCID ID: 0000-0002-0684-7013

^{3*} Кафедра Промислового, цивільного та міського будівництва, Державний вищий навчальний заклад «Криворізький національний університет», вул. Віталія Матусевича, 11, 50027, Кривий Ріг, Дніпропетровська обл., Україна, тел. +38 (056) 409-06-06, e-mail: dak_sf@mail.ru, ORCID ID: 0000-0001-5853-8581

Анотація. Мета. Аналіз та систематизація існуючого програмного забезпечення для розрахунку фундаментів, а також вибір оптимального варіанту програмного комплексу для вирішення контактної задачі при взаємодії фундаменту з основою, що нелінійно деформується. **Аналіз.** Проведено огляд основного програмного забезпечення, що використовуються при розрахунках фундаментів та основ, проаналізовано їх можливості, сфери використання. Було представлено принципи відмінності у результатах визначення вертикального осідання стрічкового фундаменту аналітичним методом і методом кінцевих елементів в умовах плоскої та просторової задач на базі програмного комплексу PLAXIS. **Результати.** Програмні засоби надають велику бібліотеку кінцевих елементів і є потужним інструментом аналізу. Використання різного програмного забезпечення дозволить удосконалити процес розрахунку фундаментів та основ. Інтегровані системи міцнісного аналізу і проектування конструкцій на основі методу кінцевих елементів дозволяють визначити напружено-деформований стан конструкцій від статичних і динамічних дій, а також виконати ряд функцій проектування елементів конструкцій. Для вирішення контактної задачі при взаємодії фундаменту з основою, що нелінійно деформується найбільш досконалим є варіант використання програми PLAXIS. Результати порівняння розрахунків осідань фундаменту, виконаних за плоскою деформованою схемою аналітичним методом і методом кінцевих елементів (PLAXIS 2D), показали, що їх величини відрізняються всього на 9-15%. Величини осідань фундаменту, розраховані методом кінцевих елементів, в умовах просторової задачі (PLAXIS 3D) в середньому на 41% менше величин осідань, отриманих в умовах плоскої задачі (PLAXIS 2D). Відносна різниця осідань, отримана методом кінцевих елементів в умовах просторової задачі, має значно менші значення (0,00077), ніж при використанні плоскої задачі (0,0022). **Наукова новизна.** В статті було проаналізовано відомості про найбільш досконалі програми для розрахунку фундаментів і основ, характеризуються їх можливості, сфери використання, що дає можливість при вирішенні контактної задачі вибрати оптимальний варіант програмного забезпечення для конкретної мети. **Практична значимість.** Використання програмного комплексу PLAXIS 3D при моделюванні взаємодії фундаменту з основою, що нерівномірно деформується, дозволяє отримати більш точні результати діючих зусиль та контактних напруг.

Ключові слова: програмні комплекси, метод кінцевих елементів, взаємодії фундаменту з основою, PLAXIS.

ВЫБОР ПРОГРАММНОГО КОМПЛЕКСА ДЛЯ РЕШЕНИЯ КОНТАКТНОЙ ЗАДАЧИ

ХОРУЖЕНКО И.В.^{1*}, ас.
ТИМЧЕНКО Р.А.^{2*}, д.т.н, проф.,
КРИШКО Д.А.^{3*}, к.т.н., ст. преп.,

^{1*} Кафедра Прикладной механики и общинженерных дисциплин, Государственное высшее учебное заведение «Криворожский национальный университет», ул. Виталия Матусевича, 11, 50027, Кривой Рог, Днепропетровская обл., Украина, тел. +38 (056) 409-06-06, e-mail: tafita88ross@gmail.com, ORCID ID: 0000-0001-7824-533

^{2*} Кафедра Промышленного, гражданского и городского строительства, Государственное высшее учебное заведение «Криворожский национальный университет», ул. Виталия Матусевича, 11, 50027, Кривой Рог, Днепропетровская обл., Украина, тел. +38 (056) 409-06-06, radomirtimchenko@mail.ru, ORCID ID: 0000-0002-0684-7013

^{3*} Кафедра Промышленного, гражданского и городского строительства, Государственное высшее учебное заведение «Криворожский национальный университет», ул. Виталия Матусевича, 11, 50027, Кривой Рог, Днепропетровская обл., Украина, тел. +38 (056) 409-06-06, e-mail: dak_sf@mail.ru, ORCID ID: 0000-0001-5853-8581

Аннотация. *Цель.* Анализ и систематизация существующего программного обеспечения для расчета фундаментов, а также выбор оптимального варианта программного комплекса для решения контактной задачи при взаимодействии фундамента с нелинейно деформируемым основанием. *Анализ.* Проведен обзор основного программного обеспечения, используемых при расчетах фундаментов и оснований, проанализированы их возможности, сферы использования. Были представлены принципиальные различия в результатах определения вертикальной осадки ленточного фундамента аналитическим методом и методом конечных элементов в условиях плоской и пространственной задач на базе программного комплекса PLAXIS. *Результаты.* Программные средства предоставляют большую библиотеку конечных элементов и является мощным инструментом анализа. Использование различного программного обеспечения позволит усовершенствовать процесс расчета фундаментов и оснований. Интегрированные системы прочностного анализа и проектирования конструкций на основе метода конечных элементов позволяют определить напряженно-деформированное состояние конструкций от статических и динамических воздействий, а также выполнить ряд функций проектирования элементов конструкций. Для решения контактной задачи при взаимодействии фундамента с нелинейно деформируемым основанием наиболее совершенным является вариант использования программы PLAXIS 3D. Результаты сравнения расчетов осадок фундамента, выполненных по плоской деформированной схеме аналитическим методом и методом конечных элементов (PLAXIS 2D), показали, что их величины отличаются всего на 9-15%. Величины осадок фундамента, рассчитанные методом конечных элементов, в условиях пространственной задачи (PLAXIS 3D) в среднем на 41% меньше величин осадок, полученных в условиях плоской задачи (PLAXIS 2D). Относительная разница осадок, полученная методом конечных элементов в условиях пространственной задачи, имеет значительно меньшие значения (0,00077), чем при использовании плоской задачи (0,0022). *Научная новизна.* В статье были проанализированы сведения про наиболее совершенные программы для расчета фундаментов и оснований, характеризуются их возможности, сферы использования, что позволяет при решении контактной задачи выбрать оптимальный вариант программного обеспечения для конкретной цели. *Практическая значимость.* Использование программного комплекса PLAXIS 3D при моделировании взаимодействия фундамента с неравномерно деформируемым основанием позволяет получить более точные результаты действующих усилий и контактных напряжений.

Ключевые слова: программные комплексы, метод конечных элементов, взаимодействия фундамента с основанием, PLAXIS.

CHOOSING OF PROGRAM COMPLEX FOR SOLVING THE CONTACT PROBLEM

KHORUZHENKO I. V. ^{1*}, *asst.*

TIMCHENKO R. A. ^{2*}, *Dr.Sc.(Tech), Prof.,*

KRISHKO D. A. ^{3*}, *Cand.Sc.(Tech), senior lect.,*

^{1*} Department of applied mechanics and engineering disciplines, State higher educational institution "Kryvyi Rih National University", str. Vitaliya Matusevicha, 11, 50027, Kryvyi Rih, Ukraine, phone +38 (056) 409-06-06, e-mail: tafita88ross@gmail.com, ORCID ID: 0000-0001-7824-533

^{2*} Department of industrial, civil and urban building, State higher educational institution "Kryvyi Rih National University", str. Vitaliya Matusevicha, 11, 50027, Kryvyi Rih, Ukraine, phone +38 (056) 409-06-06, e-mail: radomirtimchenko@mail.ru, ORCID ID: 0000-0002-0684-7013

^{3*} Department of industrial, civil and urban building, State higher educational institution "Kryvyi Rih National University", str. Vitaliya Matusevicha, 11, 50027, Kryvyi Rih, Ukraine, phone +38 (056) 409-06-06, e-mail: dak_sf@mail.ru, ORCID ID: 0000-0001-5853-8581

Abstract. *Purpose.* Analysis and systematization of the existing software for the calculation of the foundations and the choice of optimal software for solving the contact problem in the interaction of foundation with the nonlinear deformable base. *Analysis.* Was performed overview of the main software that are used in the calculation of foundations and bases, analyzed their possible areas of use. Were presented fundamental differences in the results of determination the vertical shrinkage of the strip foundation by the analytical method and finite element method in the conditions of planar and spatial tasks on the basis of PLAXIS. *Findings.* The software provides a large library of finite elements and it is a potent analysis tool. Using different software would improve the process of calculating the foundations and bases. Integrated system of structural analysis and design of structures based on the finite element method allows determining the stress-strain state of structures from static and dynamic influences and performing a number of structural elements of the design features. To solve the contact problem in the interaction foundation with nonlinear deformable base the most advanced option of using is PLAXIS program. Comparison Results foundation subsidence calculations performed by the deformed flat circuit by the analytical method and finite element method (PLAXIS 2D), showed that their values differ by only 9-15%. Foundation subsidence values that were calculated by the finite element method in conditions of spatial problem (PLAXIS 3D) by an average of 41% less subsidence values received in terms of plane problem (PLAXIS 2D). The relative difference subsidence received by the finite element method in terms of spatial problem has a much smaller value (0.00077) than with the flat problem (0.0022). *Originality.* In the article was analyzed information about the most advanced software for the calculation of foundations and bases, are characterized their ability, scope of use, allowing to choose the optimal version of the software for a specific purpose in solving the structural problem. *Practical value.* Using software system PLAXIS 3D during modeling of foundation interaction with the base which deforms unevenly allows you to get more accurate results acting forces and contact stresses.

Keywords: program complexes, finite element method, interaction of foundation with the base, PLAXIS.

Вступ

Проектування основ та фундаментів є комплексним процесом, під час якого необхідно враховувати значну кількість важливих факторів. Розрахувати окремі параметри фундаменту можна різними методами, які діляться на дві великі групи: аналітичні та числові. Аналітичні методи розрахунку мають багато недоліків, наприклад: велика похибка розрахунку, складність розрахунку просторових фундаментів, проектування фундаментів при специфічних інженерно-геологічних умовах, висока трудомісткість розрахункових робіт. Тому останнім часом все більше використовують саме числові методи розрахунку, які дозволяють моделювати більш складні конструкції та значно полегшують розрахунки [9,10].

Мета

Метою роботи є аналіз та систематизація існуючого програмного забезпечення для розрахунку фундаментів, а також вибір оптимального варіанту програмного комплексу для вирішення контактної задачі при взаємодії фундаменту з основою, що нелінійно деформується.

Аналіз

Програмою для моделювання та розрахунку як фундаментів так і всіх конструкцій будівель в цілому є ЛІРА-САПР. Це багатофункціональний програмний комплекс, призначений для проектування і розрахунку машинобудівних та будівельних конструкцій різного призначення. Розрахунки в програмі виконуються як на статичні, так і на динамічні впливи. Основою розрахунків є метод кінцевих елементів (МКЕ). Різні модулі, що підключаються (процесори) дозволяють робити підбір і перевірку перерізів сталевих і залізобетонних конструкцій, моделювати ґрунт, розраховувати мости і поведінку будівель в період монтажу тощо [4].

Безпосередньо в складовій ЛІРА в системі ГРУНТ за даними інженерно-геологічних вишукувань майданчика будівництва (розташування та характеристики свердловин) проводиться побудова тривимірної моделі ґрунту (рис. 1) [8].

Відповідно до цієї моделі на всій області плити визначаються значення коефіцієнтів постелі C_1 , C_2 , що залежать від навантажень на фундаментну плиту та навантажень від прилеглих будівель, а також обчислюється глибина стиснутої товщини та осідання. Осідання можуть бути обчислені за схемою лінійно пружного напівпростору відповідно до положень нормативу.

Коефіцієнти постелі можуть бути обчислені за трьома методиками. За бажанням користувача в автоматичному режимі може бути організований ітераційний процес, що уточнює тиск на ґрунт під подошвою проектованої плити. Користувач має можливість переглянути розташування шарів в довільних вертикальних і горизонтальних зрізах

ґрунтового масиву, а також картину ізополів коефіцієнтів постелі.

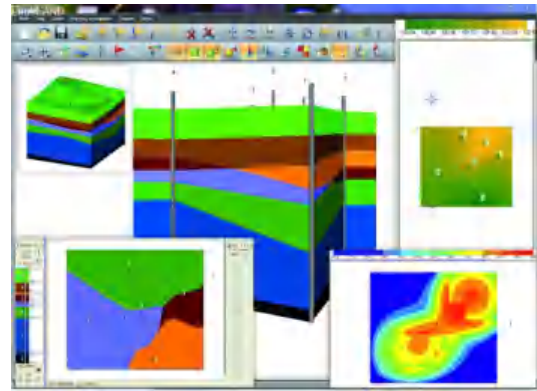


Рис. 1. 3D масив ґрунту / 3D array of soil

Величини коефіцієнтів постелі для кожного кінцевого елемента автоматично передаються в загальну комп'ютерну модель для подальшого розрахунку конструкції спільно з ґрунтовою основою. На основі тривимірної моделі ґрунту є можливість згенерувати кінцеелементну модель з автоматичним визначенням жорсткості кожного КЕ в залежності від їх місця розташування в різних шарах ґрунтового масиву. Ця модель може бути використана для розрахунку системи: надземне будова, фундаментні конструкції, ґрунтовий масив.

Наступною багатофункціональною програмою для розрахунку залізобетонних і армокаміяних конструкцій багатоповерхових каркасних будівель є МОНОМАХ-САПР [5]. Комплекс складається із окремих програм, кожна з яких може працювати автономно. Програми, що розраховують фундаменти та основи, є ФУНДАМЕНТ та ГРУНТ.

В розділі ФУНДАМЕНТ проектується монолітний залізобетонний фундамент під колони для заданих інженерно-геологічних умов будівництва. Формування схеми виконується в режимі імпорту і в автономному режимі. Виконується розрахунок основи і фундаменту. Визначається необхідна площа перерізу арматури, проводиться конструювання. Виконується креслення (рис. 2).

В розділі ГРУНТ формується просторова модель ґрунтової основи за заданими інженерно-геологічними умовами майданчика будівництва. Для опису майданчика будівництва задається база характеристик шарів ґрунту (ІГЕ), вказується розташування та відмітки гирла свердловин, шари ґрунту, що складають ту чи іншу свердловину. Для довільних штампів навантажень від проектаних або існуючих будівель визначається поле осідань; за декількома методиками виконується розрахунок і визначення жорсткості ґрунтової основи (коефіцієнтів постелі) (рис. 3).

Також програмою для розрахунку фундаментів та основ є ЕСПРІ [4]. Вона включає в себе 9 окремих програм: розрахунок пальово-плитного фундаменту; несуча здатність паль за результатами польових

випробувань; параметри пружної основи C1, C2; розрахунок одиночної палі; розрахунок палі на спільну дію навантажень; осідання умовного фундаменту; головні та еквівалентні напруги в ґрунті; стійкість схилу; стійкість багаточарового схилу (рис. 4).

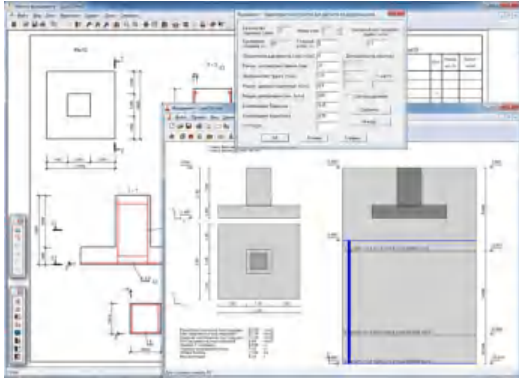


Рис. 2. Розрахунок фундаменту / Computation of the foundation

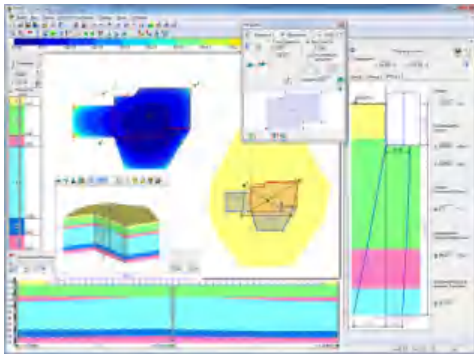


Рис. 3. Модель ґрунтової основи / Model of the subgrade

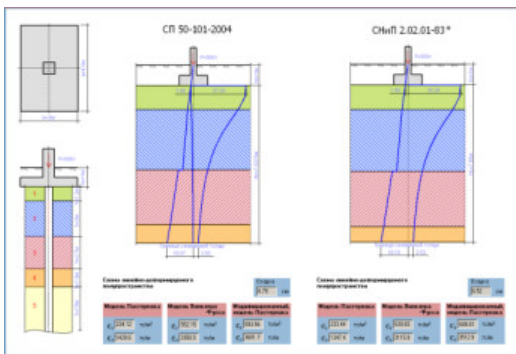


Рис. 4. Розрахунок фундаменту / Computation of the foundation

Однією з найпоширеніших програм є сертифікований комплекс PLAXIS 3D, призначений для комплексних розрахунків напружено-деформованого стану та стійкості геотехнічних об'єктів різного призначення методом кінцевих елементів в умовах просторової задачі. Цей програмний комплекс розроблений для розрахункового обґрунтування споруд, що проектується, на стадіях будівництва, експлуатації та реконструкції. В даний час є великий досвід

застосування програми PLAXIS в геотехнічному будівництві [1,3,6,7,11-13].

Результати

Було отримано принципові відмінності у результатах визначення вертикального осідання стрічкового фундаменту аналітичним методом і методом кінцевих елементів в умовах плоскої та просторової задачі. Важливою частиною початкового етапу розрахунку в програмі PLAXIS 3D є створення геометричної моделі. Модель являє собою реальну тривимірну задачу. Основні елементи – робочі площини та геологічні колонки. Розрахункова просторова модель фундаменту і навколишнього ґрунту представлена на рис. 5.

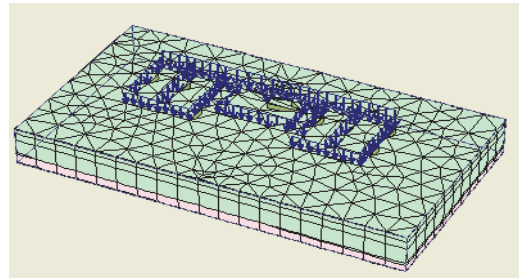


Рис. 5. Тривимірна модель фундаменту і розрахункової області / 3D model of the foundation and computational domain

Значення величин осідань фундаменту, що були отримані в результаті просторового моделювання з використанням програмного комплексу PLAXIS 3D, представлені в табл. 1. За величини осідань фундаментів приймалися вертикальні переміщення точок підшви фундаменту.

Згідно з чинним нормативним документом [2] максимальне осідання фундаменту для будівлі, що була розглянута, не повинне перевищувати 0,18 м, а гранична відносна різниця осідання дорівнює 0,0024. Максимальне осідання фундаменту, отримане в ході розрахунку, становить 0,018 мм, а відносна різниця осідання суміжних фундаментів - 0,00077, що набагато менше граничних значень.

Для оцінки впливу просторової розрахункової схеми (PLAXIS 3D) на одержані результати було виконано їх порівняння з величинами осідань, отриманими аналітичним методом за нормативом [7] і МКЕ за програмою PLAXIS 2D [12] в умовах плоскої задачі.

У табл. 2 наведені результати порівняння цих величин осідання фундаментів. На рис. 6 представлена діаграма порівняння величин осідань фундаменту по різних осях будівлі, отриманих аналітичним методом за ДБН В 2.1-10-2009 і методом кінцевих елементів в умовах плоскої (PLAXIS 2D) і просторової (PLAXIS 3D) задачі.

Таблиця 1

Значення величини осідання і відносної різниці осідань, що були отримані в умовах просторової задачі за програмою PLAXIS 3D / The value of sedimentation and relative difference of subsidence, resulting in a three-dimensional objective according to the program PLAXIS 3D

Вісь	Осідання фундаменту, м	Значення відносної різниці осідань
1, 8	0,012	-
2, 7	0,013	0,00012
3, 6	0,013	0,00003
4, 5	0,014	0,00028
A	0,011	-
Б	0,011	0,00003
В	0,016	0,00064
Г	0,018	0,00077

Таблиця 2

Результати порівняння величин вертикальних осідань, отриманих аналітичним методом і методом кінцевих елементів/ The results of comparison of the vertical sediment obtained by the analytical method and the finite element method

Вісь	Величина осідання, розрахована за ДБН В 2.1-10-2009, м	Величина осідання, розрахована за PLAXIS 2D, м	Величина осідання, розрахована за PLAXIS 3D, м
1, 8	0,019	0,021	0,012
2, 7	0,028	0,029	0,013
3, 6	0,016	0,021	0,013
4, 5	0,007	0,014	0,014
A	0,011	0,020	0,011
Б	0,016	0,023	0,011
В	0,026	0,030	0,016
Г	0,031	0,034	0,018

Аналіз розрахунків дозволив зробити наступні висновки:

1. Виконані розрахунки осідання фундаментів показали, що розрахункові величини осідань і відносної різниці осідань не перевищують максимальних величин, регламентованих нормативними документами.

2. Результати порівняння розрахунків осідань фундаменту, виконаних за плоскою деформованою схемою аналітичним методом за ДБН В 2.1-10-2009 і методом кінцевих елементів за програмою PLAXIS 2D, показали, що їх величини відрізняються всього на 9-15% для найбільш навантажених осей.

3. Величини осідань фундаменту, розраховані методом кінцевих елементів, в умовах просторової задачі (PLAXIS 3D) в середньому на 41% менше величин осідань, отриманих в умовах плоскої задачі (PLAXIS 2D), що добре узгоджується з результатами натурних спостережень.

4. Відносна різниця осідань, отримана методом кінцевих елементів в умовах просторової задачі, має значно менші значення (0,00077), ніж при використанні плоскої задачі (0,0022). Це свідчить про те, що програма PLAXIS 3D бере до уваги реальний

перерозподіл вертикальних напружень, враховуючи просторову жорсткість фундаменту.

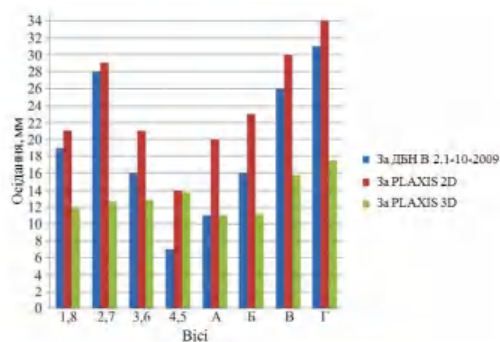


Рис. 6. Порівняння величин осідань фундаменту по різним осям будівлі, отриманих аналітичним методом за ДБН В 2.1-10-2009 і методом кінцевих елементів в умовах плоскої і просторової задачі/ Comparison of the values of the foundation sediment along the different axes of the building, received by the analytical method by the DBN В 2.1-10-2009 and method of finite elements in a planar or spatial tasks

5. Для будівель складної конфігурації в плані і тих, що мають значну різницю прикладених на фундаменти навантажень, використання програми PLAXIS 3D краще, ніж PLAXIS 2D, так як дозволяє отримати більш точні результати величин осідань.

Наукова новизна та практична значимість

В статті було проаналізовано відомості про найбільш досконалі програми для розрахунку фундаментів і основ, характеризуються їх можливості, сфери використання, що дає можливість при вирішенні контактної задачі вибрати оптимальний варіант програмного забезпечення для конкретної мети.

Використання програмного комплексу PLAXIS 3D при моделюванні взаємодії фундаменту з основою, що нерівномірно деформується, дозволяє отримати більш точні результати діючих зусиль та контактних напруг.

Висновки

1. Інтегровані системи міцнісного аналізу і проектування конструкцій на основі методу кінцевих елементів дозволяють визначити напружено-деформований стан конструкцій від статичних і динамічних дій, а також виконати ряд функцій проектування елементів конструкцій.

2. Використання програмного забезпечення дозволить виконувати розрахунки швидко, з можливістю змін вихідних даних; отримані результати ілюструються у вигляді чітких і зрозумілих схем, малюнків та моделей, які дозволяють скласти повноцінну картину роботи фундаменту або основи.

3. Для вирішення контактної задачі при взаємодії жорсткого фундаменту з основою, що нелінійно деформується найбільш досконалим є

варіант використання програми PLAXIS 3D.

4. Для будівель складної конфігурації в плані і тих, що мають значну різницю прикладених на

фундаменти навантажень, використання програми PLAXIS 3D краще, ніж PLAXIS 2D, так як дозволяє отримати більш точні результати величин осідань.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Голубев А.И. Программный комплекс PLAXIS – эффективный инструмент для геотехнических расчетов транспортных сооружений / Голубев А.И., Селецкий А.В. // Дороги. Инновации в строительстве. 2011. № 9. – С. 58-60.
2. Державні будівельні норми В.2.1.-10-2009. Основи та фундаменти будинків і споруд. Основні положення проектування. – Київ. : Мінрегіонбуд України, 2009. – 161 с.
3. Игошева Л.А. Сравнение результатов определения вертикальной осадки ленточного фундамента аналитическим методом и методом конечных элементов / Игошева Л.А., Клевко В.И. // Вестник Пермского национального исследовательского политехнического университета. Прикладная экология. Урбанистика. – 2014. – № 3 (15). – С. 30–38.
4. ЛИРА – САПР 2011. Учебное пособие. Гензерский Ю.В., Медведенко Д.В., Палиенко О.И., Титок В.П. – Киев: Электронное издание, 2011, – 396 с.
5. МОНОМАХ-САПР 2011. Учебное пособие. Примеры расчета и проектирования. Батрак Л.Г., Городецкий Д.А., Лазарев А.А., Рассказов А.А., Юсипенко С.В. – Киев: Электронное издание, 2011. – 320 с.
6. Руководство пользователя Plaxis 2D 2015: Пер. с англ. СПб.: НИП-Информатика, 2015. – 424 с.
7. Руководство пользователя Plaxis 3D AE 2015: Пер. с англ. СПб.: НИП-Информатика, 2015. – 430 с.
8. Федоров Д.А. Численное исследование задачи совместного расчета конструкций с основаниями по реализациям в вычислительных комплексах SCAD и «ЛИРА» / Федоров Д.А., Мокляк К.Г. // Известия высших учебных заведений. Строительство. 2011. – №12. – С. 97-104.
9. SCAD Office. Версия 21. Вычислительный комплекс SCAD++: пособие / Карпиловский В.С., Криксунов Э.З., Малиаренко А.А., Микитаренко М.А., Перельмутер А.В., Перельмутер М.А. - Москва: Изд-во СКАД СОФТ, 2015. –808 с.
10. SCAD Office. Реализация СНиП в проектирующих программах: пособие / Карпиловский В.С., Криксунов Э.З., Малиаренко А.А., Микитаренко М.А., Перельмутер А.В., Перельмутер М.А., Федоровский В.Г., Юрченко В.В.- Москва: СКАД СОФТ, 2014. – 480 с
11. PLAXIS — инструмент инженера-геотехника. Примеры расчетов // CADmaster. – 2002. – № 3. – С. 62-65.
12. Plaxis 2D 2015. Reference manual, Delft University of Technology & PLAXIS b.v., The Netherland, – 424 p.
13. Plaxis 3D 2015. Reference manual, Delft University of Technology & PLAXIS b.v., The Netherland, – 430 p.

REFERENCES

1. Golubev A.I. and Seletskiy A.V. *Programmnyy kompleks PLAXIS – effektivnyy instrument dlya geotekhnicheskikh rashchetov transportnykh sooruzheniy* [Program complex PLAXIS - an effective tool for geotechnical calculations of transport facilities]. *Dorogi. Innovatsii v stroitelstve* [Roads. Innovations in construction]. 2011, № 9, pp. 58-60. (in Russian)
2. Minregion Ukraine. *Osnovy ta fundamenti budynkiv i sporud. Osnovni polozhennia proektuvannia*: DBN V.2.1.-10-2009 [State standard of Ukraine V.2.1.-10-2009. Bases and foundations of buildings and structures. The main provisions of the design]. Kyiv, 2009, 161 p. Available at: <http://www.dbn.at.ua>.
3. Igosheva L.A. and Kleveko V.I. *Sravnenie rezultatov opredeleniya vertikalnoy osadki lentochnogo fundamenta analiticheskim metodom i metodom konechnykh elementov* [Comparison of the results of determining the vertical shrinkage of the tape foundation by the analytical method and finite element method]. *Vestnik Permskogo natsionalnogo issledovatel'skogo politekhnicheskogo universiteta. Prikladnaya ekologiya. Urbanistika* [Herald of Perm National Research Polytechnic University. Applied Ecology. Urbanity.]. 2014, no. 3 (15), pp. 30–38. (in Russian)
4. Genzerskiy Yu.V., Medvedenko D.V., Palienko O.I. and Titok V.P. *LIRA – SAPR 2011. Uchebnoe posobie* [LIRA - CAD 2011. Tutorial]. Kyiv, 2011, 396 p. (in Russian)
5. Batrak L.G., Gorodetskiy D.A., Lazarev A.A., Rasskazov A.A. and Yusipenko S.V. *MONOMAH-SAPR 2011. Uchebnoe posobie. Primery rascheta i proektirovaniya* [MONOMAH-CAD 2011 Manual. Examples of calculation and design]. Kyiv, 2011, 320 p. (in Russian)
6. *Rukovodstvo polzovatelya Plaxis 2D 2015* [User Manual Plaxis 2D 2015]. *NIP-Informatika* [NPC-Informatics]. Saint Petersburg, 2015, 424 p. (in Russian)
7. *Rukovodstvo polzovatelya Plaxis 3D AE 2015* [User Manual Plaxis 3D AE 2015]. *NIP-Informatika* [NPC-Informatics]. Saint Petersburg, 2015, 430 p. (in Russian)
8. Fedorov D.A. and Moklyak K.G. *Chislennoe issledovanie zadachi sovmestnogo rascheta konstruktсий s osnovaniyami po realizatsiyam v vychislitelnykh kompleksakh SCAD i «LIRA»* [Numerical investigation of the problem the joint analysis of structures with foundations on the implementation of computer systems and SCAD and "LIRA"]. *Izvestiya vysshikh uchebnykh zavedeniy. Stroitelstvo* [Proceedings of the higher educational institutions. Building]. 2011, no.12, pp. 97-104. (in Russian)
9. Karpilovskiy V.S., Kriksunov E.Z., Malyarenko A.A., Mikitarenko M.A., Perelmutter A.V. and Perelmutter M.A. *SCAD Office. Versiya 21. Vyichislitelnyy kompleks SCAD: posobie* [SCAD Office. Version 21. The computing complex SCAD ++: Tutorial]. Moscow : Izd-vo SKAD SOFT, 2015, 808 p. (in Russian)
10. Karpilovskiy V.S., Kriksunov E.Z., Malyarenko A.A., Mikitarenko M.A., Perelmutter A.V., Perelmutter M.A., Fedorovskiy V.G. and Yurchenko V.V. *SCAD Office. Realizatsiya SNIp v proektiruyushchikh programmakh: posobie* [SCAD Office. Realization of SNiP in projecting programs: Tutorial]. Moscow : SKAD SOFT Publ., 2014, 480 p. (in Russian)
11. *PLAXIS – instrument inzhenera-geotekhnika. Primery raschetov* [PLAXIS – geotechnical engineering tool. Calculation examples]. CADmaster, 2002, no. 3, pp. 62-65. (in Russian)
12. Plaxis 2D 2015. Reference manual, Delft University of Technology & PLAXIS b.v., The Netherland, 424 p.
13. Plaxis 3D 2015. Reference manual, Delft University of Technology & PLAXIS b.v., The Netherland, 430 p.