

УДК 624.15.04

МАТЕМАТИЧНЕ МОДЕЛЮВАННЯ НЕЛІНІЙНО-НЕПРУЖНИХ КОНТАКТНИХ ЗАДАЧ

ТИМЧЕНКО Р. О.^{1*} д. т. н., проф.,
КРИШКО Д. А.^{2*}, к. т. н., ст. викл.,
БОГАТИНСЬКИЙ А. В.^{3*}, асп.,
САВЕНКО В. В.^{4*}, інж.

^{1*} Кафедра архітектури та містобудування, Державний вищий навчальний заклад «Криворізький національний університет», вул. XXII Партз'їзду, 11, 50027, Кривий Ріг, Україна, тел. +38 (0564) 71-95-98, e-mail: radomirtimchenko@mail.ru, ORCID ID: 0000-0002-0684-7013

^{2*} Кафедра архітектури та містобудування, Державний вищий навчальний заклад «Криворізький національний університет», вул. XXII Партз'їзду, 11, 50027, Кривий Ріг, Україна, тел. +38 (0564) 71-95-98, e-mail: dak_sf@mail.ru, ORCID ID: 0000-0001-5853-8581

^{3*} Кафедра архітектури та містобудування, Державний вищий навчальний заклад «Криворізький національний університет», вул. XXII Партз'їзду, 11, 50027, Кривий Ріг, Україна, тел. +38 (096) 326-76-81, e-mail: tioma432@e-mail.ua, ORCID ID: 0000-000-3423-3577

^{4*} ТОВ «НДПІ БУДТЕХЕКСПЕРТИЗА», вул. Димитрова, 31/1, 50027, Кривий Ріг, Україна, тел. . +38 (097) 730-56-30, e-mail: sav_vov1@mail.ru, ORCID ID: 0000-0003-0679-8909

Анотація. *Постановка проблеми.* Розрахунок споруд, які не сприймають нерівномірні деформації, зводиться в загальному вигляді до визначення осідань фундаменту та розрахунку на міцність та стійкість елементів їх конструкцій. В таких розрахунках не звертають увагу на деформування споруди спільно з основою як єдиної системи. Зовсім інша картина спостерігається у випадку розрахунку споруди в складних інженерно-геологічних умовах. Основою таких споруд є ґрунти, що нерівномірно стискаються чи сприймають переміщення земної поверхні, викликані механічними або фізичними процесами у земній корі. Розрахунок конструкцій таких споруд неможливий без урахування взаємного впливу споруди та основи. Одним із найважливіших розрахункових параметрів, що входять у рівняння, яке описує спільне деформування системи «основа – фундамент – надфундаментна споруда» під час розрахунку конструкцій в складних інженерно-геологічних умовах, є коефіцієнт жорсткості основи. **Мета статті.** Визначити особливості розрахунку фундаментів із саморегульовальними властивостями в умовах нерівномірно-деформованої основи методом змінного коефіцієнту жорсткості. **Висновок.** Аналіз сучасних методів розрахунку конструкцій з урахуванням деформаційних властивостей ґрунту показав, що для розв'язання задачі взаємодії основи та фундаментів в умовах підроблюваних територій найдоцільніше застосування математичного моделювання: методу змінних коефіцієнтів жорсткості основи у відомих трактуваннях. Крім того, слід ураховувати зниження значень коефіцієнтів жорсткості залежно від величин відносних горизонтальних деформацій розтягу в напрямку простягання пластів та перпендикулярно до них. Використання для розрахунку конструкцій у складних інженерно-геологічних умовах діаграм, що описують нелінійно-непружні властивості ґрунту, зумовлює зниження узагальнених зусиль від 20-30 % до 50 % і більше порівняно з пружним розрахунком, залежно від жорсткості системи «основа – фундамент – надфундаментна споруда» та умов контакту основи та фундаменту.

Ключові слова: *нерівномірно деформована основа, метод змінного коефіцієнта жорсткості, діаграми деформування, нелінійно-непружна взаємодія*

МАТЕМАТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ НЕЛИНЕЙНО-НЕУПРУГИХ КОНТАКТНЫХ ЗАДАЧ

ТИМЧЕНКО Р. А.^{1*}, д. т. н., проф.,
КРИШКО Д. А.^{2*}, к. т. н., ст. преп.,
БОГАТЫНСКИЙ А. В.^{3*}, асп.,
САВЕНКО В. В.^{4*}, инж.

^{1*} Кафедра архитектуры и градостроительства, Государственное высшее учебное заведение «Криворожский национальный университет», ул. XXII Партсъезда, 11, 50027, Кривой Рог, Украина, тел. +38 (0564) 71-95-98, e-mail: radomirtimchenko@mail.ru, ORCID ID: 0000-0002-0684-7013

^{2*} Кафедра архитектуры и градостроительства, Государственное высшее учебное заведение «Криворожский национальный университет», ул. XXII Партсъезда, 11, 50027, Кривой Рог, Украина, тел. +38 (0564) 71-95-98, e-mail: dak_sf@mail.ru, ORCID ID: 0000-0001-5853-8581

^{3*} Кафедра архитектуры и градостроительства, Государственное высшее учебное заведение «Криворожский национальный университет», ул. XXII Партсъезда, 11, 50027, Кривой Рог, Украина, тел. +38 (096) 326-76-81, e-mail: tioma432@e-mail.ua, ORCID ID: 0000-000-3423-3577

^{4*} ООО "НДПИ БУДТЕХЭКСПЕРТИЗА", ул. Димитрова, 31/1, 50027, Кривой Рог, Украина, тел. . +38 (097) 730-56-30, e-mail: sav_vov1@mail.ru, ORCID ID: 0000-0003-0679-890950027

Аннотация. Постановка проблемы. Расчёт сооружений, которые не воспринимают неравномерные деформации, сводится в общем виде к определению оседания фундамента и расчёта на прочность и устойчивость элементов их конструкций. В таких расчётах не обращают внимания на деформирование сооружения совместно с основанием как единой системы. Совсем другая картина наблюдается при расчёте сооружения в сложных инженерно-геологических условиях. Основанием таких сооружений являются грунты, которые неравномерно сжимаются или испытывают перемещения земной поверхности, вызванные механическими или физическими процессами в земной коре. Расчёт конструкций таких сооружений невозможен без учёта взаимного влияния сооружения и основания. Одним из самых важных расчётных параметров, входящих в уравнение, которое описывает совместное деформирование системы «основание – фундамент – надфундаментное сооружение» при расчёте конструкций в сложных инженерно-геологических условиях, есть коэффициент жесткости основания. **Цель статьи.** Определить особенности расчёта фундаментов с саморегулирующими свойствами в условиях неравномерно-деформируемого основания методом переменного коэффициента жесткости. **Вывод.** Анализ современных методов расчёта конструкций с учётом деформационных свойств грунта показал, что для решения задачи взаимодействия основания и фундамента в условиях подрабатываемых территорий целесообразно использование математического моделирования: метода переменного коэффициента жесткости основания. Кроме того, следует учитывать понижение значений коэффициентов жесткости основания в зависимости от величины относительных горизонтальных деформаций растяжения в направлении простирающихся пластов или же перпендикулярно им. Использование для расчёта конструкций в сложных инженерно-геологических условиях диаграмм, которые описывают нелинейно-неупругие свойства грунта, приводит к уменьшению обобщенных усилий от 20-30 % до 50 % и более в сравнении с упругим расчётом, в зависимости от жесткости системы «основание – фундамент – надфундаментное строение» и условий контакта основания и фундамента.

Ключевые слова: *неравномерно деформированное основание, метод переменного коэффициента жесткости, диаграммы деформирования, нелинейно-неупругое взаимодействие*

MATHEMATIC MODEELING OF NONLINEAR-INELASTIC BASE-FOUNDATION CONTACT PROBLEM

TIMCHENKO R. O. ^{1*}, *Dr.Sci.Tech, Prof.*,

KRISHKO D. A. ^{2*}, *Ph.D., senior lect.*,

BOGATYNSKIY A. V. ^{3*}, *PhD student*,

SAVENKO V.O. ^{4*}, *eng.*

^{1*} Department of architecture and urban planning, State higher educational institution «Kryvyi Rih National University», str. XXII-th party Congress, 11, 50027, Kryvyi Rih, Ukraine, phone +38 (0564) 71-95-98, e-mail: radomirtimchenko@mail.ru, ORCID ID: 0000-0002-0684-7013

^{2*} Department of architecture and urban planning, State higher educational institution «Kryvyi Rih National University», str. XXII-th party Congress, 11, 50027, Kryvyi Rih, Ukraine, phone +38 (0564) 71-95-98, e-mail: dak_sf@mail.ru, ORCID ID: 0000-0001-5853-8581

^{3*} Department of architecture and urban planning, State higher educational institution «Kryvyi Rih National University», str. XXII-th party Congress, 11, 50027, Kryvyi Rih, Ukraine, phone +38 (096) 326-76-81, e-mail: tioma432@e-mail.ua, ORCID ID: 0000-000-3423-3577

^{4*} SRIDS «BUDTEHEKSPERTYZA», str. Dimitrova, 31/1, 50027, Kryvyi Rih, Ukraine, phone . +38 (097) 730-56-30, e-mail: sav_vov1@mail.ru, ORCID ID: 0000-0003-0679-8909

Abstract. Raising of problem. Calculation of buildings, that isn't carrying non-uniform deformation, is going to definition of foundation displacement and calculation of their elements hardness and sustainability. In that case we don't pay attention on building and base cooperative deformations. Another view we can see in case of building calculation with hard geological conditions. Base of such buildings is uneven compressible soils or displacement carrying soil. Calculation of these constructions is impossible without building and base mutual influence consideration. One of the most important calculation parameters in cooperative deformation equations is base stiffness factor. **Purpose.** Purpose is to define peculiar properties of self-regulation foundation calculation in case of non-uniform base deformation by the variable base stiffness factor. **Conclusion.** Analysis of modern construction calculation methods with deformation soil properties demonstrated that variable base stiffness factor method employment is the most reasonable for solution of undermined base and foundation interaction problem. Besides, we need to take into account variable base stiffness factor decrease depended on relative horizontal extension deformation value. Nonlinear-inelastic soil diagram application for calculation of construction with hard geological conditions lead to main deformation 50% decrease compared with elastic calculation depended on "base – foundation – building" structure stiffness.

Key words: *non-uniform base deformation, variable base stiffness factor method, deformation diagram, nonlinear-inelastic interaction*

Постановка проблеми. Розрахунок споруд, які не сприймають нерівномірні деформації, зводиться в загальному вигляді

до визначення осідань фундаменту та розрахунок на міцність та стійкість елементів їх конструкцій. В таких розрахунках не звер-

тають уваги на деформування споруди спільно з основою як єдиної системи.

Зовсім інша картина спостерігається у разі розрахунку споруди в складних інженерно-геологічних умовах. Основою таких споруд є ґрунти, що нерівномірно стискаються, чи сприймають переміщення земної поверхні, викликані механічними або фізичними процесами у земній корі. Розрахунок конструкцій таких споруд неможливий без урахування взаємного впливу споруди та основи.

Одним із найважливіших розрахункових параметрів, що входять у рівняння, яке описує спільне деформування системи «основа – фундамент – надфундаментна споруда» в процесі розрахунку конструкцій в складних інженерно-геологічних умовах, є коефіцієнт жорсткості основи.

Аналіз публікацій. Можливість урахування нерівномірності та неоднорідності нашарувань ґрунтів, а також вимушеного зсуву земної поверхні внаслідок хімічних, фізичних та механічних процесів, що відбуваються в земній корі (наприклад, від підроблювання), з'явилася з уведенням у практику розрахунку конструкцій на нерівномірно-деформованій основі методу змінного коефіцієнта жорсткості основи [2; 3].

Мета статті. Визначити особливості розрахунку фундаментів з саморегулювальними властивостями в умовах нерівномірно-деформованої основи методом змінного коефіцієнта жорсткості.

Викладення матеріалу. Коефіцієнт жорсткості основи характеризується [1] як розрахункова величина, яка є сукупністю факторів, що описують деформування системи, а не тільки вказує на фізичні особливості ґрунту. Коефіцієнт жорсткості основи являє собою інтегральну характеристику деформування системи «основа – фундамент – надфундаментна споруда», що залежить не тільки від контактних умов, форми та площі фундаменту, характеру ґрунтових нашарувань, специфічних властивостей ґрунту, а й від жорсткості даної фундаментної конструкції та виду прикладеного навантаження [4-7].

Коефіцієнти жорсткості, що характеризують опір поверхні ґрунту стиску на різноманітних точках основи, визначаються за формулою:

$$K = p / S, \quad (1)$$

де p – тиск, прикладений до поверхні основи; S – переміщення поверхні основи.

В умовах значної неоднорідності ґрунтів та у разі зсуву земної поверхні виникає навантаження, яке на окремих ділянках основи суттєво відрізняється від середнього тиску. В такому випадку необхідно знати значення коефіцієнта жорсткості за різних навантажень. В умовах довготривалих навантажень необхідне також значення коефіцієнта жорсткості для різних моментів часу. Таким чином, коефіцієнти жорсткості визначаються виходячи з очікуваних осідань основи під навантаженням.

Застосування в розрахунках методу змінного коефіцієнта жорсткості основи пов'язане не тільки з труднощами визначення вірогідного закону його зміни в плані системи «основа – фундамент – надфундаментна споруда», що розраховується, а й з труднощами обчислювального характеру. Навіть у разі розрахунку найпростішої системи «балка – неоднорідна основа» при змінних коефіцієнтах диференційного рівняння вигину осі балки в загальному випадку застосовуються числові методи інтегрування. З практики розрахунку відомо, що кількість вузлів інтегрування такого виду рівнянь, як правило, прямо пропорційно впливає на точність розрахунку (мається на увазі більш точне знаходження функції вигинів та її похідних).

Очевидно, що чим точніше фізична або математична модель відображає розглядуване явище, тим точніше збігаються результати розрахунку та дійсність. Задання зміни коефіцієнта жорсткості основи в плані споруди, яка розраховується, у вигляді аналітичної залежності не завжди відповідає дійсності і є наслідком неможливості отримання розв'язку рівняння з випадково заданими коефіцієнтами в аналітичному вигляді.

Таким чином, вірогідне визначення значень коефіцієнтів жорсткості основи за його нерівномірних деформацій - одна з найважливіших передумов, що впливають на якість розрахунку системи «основа – фундамент – надфундаментна споруда».

У випадку будівництва та експлуатації споруд на нерівномірно стисливих та осідаючих основах виникають області контакту, в яких реактивний тиск під фундаментом значно перевищує розрахунковий опір основи. В цих зонах виникає пластична течія ґрунту, яка зумовлює нелінійний зв'язок між напруженнями та деформаціями стиску.

Специфіка розрахунку, що дозволяє найбільш економічно спроектувати споруду в складних інженерно-геологічних умовах, нерозривно пов'язана з правильним описом нелінійно-непружних властивостей основи. Найпростіший опис поведінки ґрунту під час навантаження та розвантаження наведено у вигляді діаграми деформування (рис. 1).

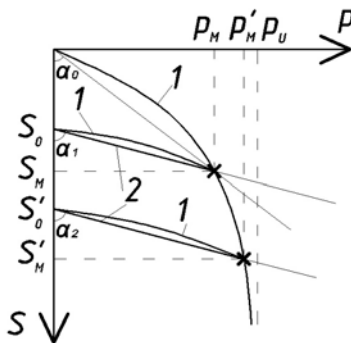


Рис. 1. Діаграма деформування основи:
1 – гілка навантаження; 2 – гілка розвантаження

Нелінійна діаграма деформування основи та її розвантажна гілка слугують вихідними передумовами для визначення значень коефіцієнтів жорсткості основи. При цьому коефіцієнт жорсткості визначається після знаходження розрахункового опору основи за нормативним документом [4] та осідання фундаменту при цьому розрахунковому опорі.

$$K_1 = R / S_R. \quad (2)$$

Для гілки розвантаження коефіцієнт жорсткості, відповідно до (2), визначається як:

$$K_2 = R \cdot \operatorname{tg} \alpha / P_M. \quad (3)$$

Трактування нелінійно-непружних властивостей основи та описання їх за допомогою діаграм деформування, а також підхід до використання цих діаграм у розрахунках різних учених значно відрізняються.

Найширші можливості використання коефіцієнта змінної жорсткості (а саме за гіперболічною залежністю) для розрахунку будівель на підроблюваних територіях розкриті С. М. Клепиковим, О. О. Петраковим та Р. О. Тімченко [2; 8; 9; 10]. При цьому тиск на нелінійній ділянці згідно з [2] визначається як:

$$P = P_u \cdot S / (P_u / K + S), \quad (4)$$

де P_u – граничний опір основи, що визначається згідно з нормативами;

K – початковий коефіцієнт жорсткості:

$$K = K_1 \cdot P_u / (P_u - R). \quad (5)$$

Диференціальне рівняння вигину осі фундаменту зі змінною згинною та зсувною жорсткістю за допомогою методу скінченних різниць зводиться до системи лінійних алгебраїчних рівнянь. Оскільки під час розв'язання задачі враховується різна поведінка ґрунту при навантаженні та розвантаженні, а також можливість втрати контакту фундаменту з основою, дана задача розв'язується ітераційно [11].

Для фундаментів з не плоскою контактною поверхнею діаграма деформування основи має більш складний характер.

Розглянемо запропонований авторами фундамент (рис. 2), призначений для роботи в умовах нерівномірно-деформованої основи.

Його робота базується на теорії переривчастих фундаментів [12]. Перевагою його є виникнення аркового ефекту між опорними ділянками плити, під вкладеннями з низько модульного матеріалу 1.

Діаграма деформування основи для фундаменту на рисунку 2 зображена на рисунку 3. На відміну від діаграми на рисунку 1, графік осідань має не плавний, а ступеневий вигляд. Це пояснюється тим, що на ділянці від S_1 до S_2 відбувається саморегуляція фундаменту за рахунок деформації низькомодульного матеріалу.

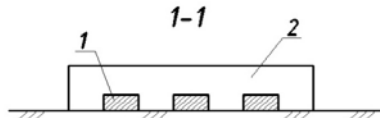
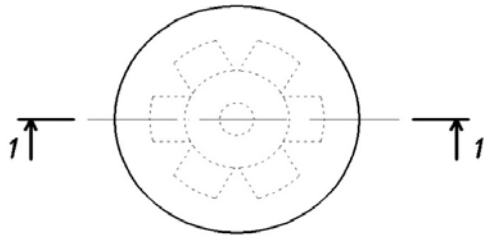


Рис. 2. Кругла фундаментна плита, призначена для нерівномірно-деформованих основ:

1 – вкладення з низькомодульного матеріалу;
2 – фундаментна плита

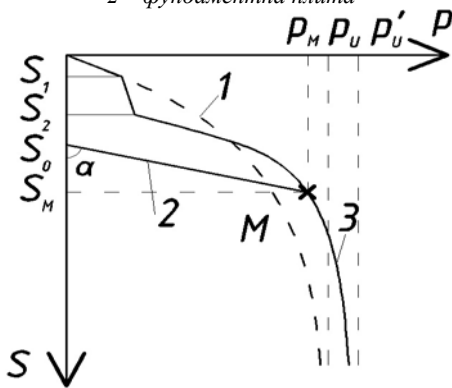


Рис. 3. Діаграма деформування основи під фундаментом із саморегулювальними властивостями.

1 – графік деформування фундаменту того ж розміру, але з плоскою контактною поверхнею; 2 – гілка розвантаження; 3 – гілка навантаження

Для опису такого графіка функція (4) не годиться. Замість неї необхідно використовувати такі вирази:

$$P(S) = P_u \cdot S / (P_u / K + S); \quad (6)$$

$$P'(S) = (P_u - P(S)) / (P_u / K + S) \quad (7)$$

при $S > S_2$;

$$P(S) = P_u S_1 / (P_u / K + S_1); \quad (8)$$

$$P'(S) = (P_u - P(S)) / (P_u / K + S_1) \quad (9)$$

при $S_2 > S \geq S_1$

$$\text{та } P(S) = P_u \bar{S} / (P_u / K + \bar{S}) \quad (10)$$

$$P'(S) = (P_u - P(\bar{S})) / (P_u / K + \bar{S}) \quad (11)$$

при $S < S_1$,

де P'_u – граничний опір основи під фундаментом з ефектом саморегуляції;
 $\bar{S} = S - (S_2 - S_1)$.

Висновок. Аналіз сучасних методів розрахунку конструкцій з урахуванням деформаційних властивостей ґрунту показав, що для розв’язання задачі взаємодії основи та фундаментів в умовах підроблювальних територій найдоцільніше застосування математичного моделювання: методу змінних коефіцієнтів жорсткості основи у трактуванні Клепикова, Петракова, Тімченка. Крім того, слід урахувувати зниження значень коефіцієнтів жорсткості залежно від величин відносних горизонтальних деформацій розтягу в напрямку простягання пластів та перпендикулярно до них.

Використання для розрахунку конструкцій у складних інженерно-геологічних умовах діаграм, що описують нелінійно-непружні властивості ґрунту, зумовлює зниження узагальнених зусиль від 20-30 % до 50 % і більше порівняно з пружним розрахунком, залежно від жорсткості системи «основа – фундамент – надфундаментна споруда» та умов контакту основи та фундаменту.

ВИКОРИСТАНІ ДЖЕРЕЛА

1. Герсеванов Н. М. К вопросу о коэффициенте постели для расчета фундаментов и оснований / Н. М. Герсеванов // Проект и стандарт. – 1935. – № 10. – С. 27-28.
2. Клепиков С. Н. Расчет конструкций на деформируемом основании / С. Н. Клепиков. – Киев : НИИСК, 1996. – 204 с.
3. Крутов В. И. Основания и фундаменты на просадочных грунтах / В. И. Крутов. – Киев : Будівельник, 1982. – 224 с.
4. Об'єкти будівництва та промислова продукція будівельного призначення. Основи та фундаменти будинків і споруд. Основи та фундаменти споруд. Основні положення проектування : ДБН В.2.1-10-2009. – Введ. вперше зі скасуванням на території України СНиП 2.02.01-83 ; чинні від 2009-07-01. – Київ : Мінрегіонбуд України, 2009. – 107 с. – (Державні будівельні норми України).
5. Захист від небезпечних геологічних процесів. Будинки і споруди на підроблюваних територіях і просідних грунтах : ДБН В.1.1.-5-2000. – Введ. з 2000-07-01. – Вид. офіц. – Київ, 2000. – Ч. 1 : Будинки і споруди на підроблюваних територіях). – 70 с. ; Ч. 2 : Будинки і споруди на просідаючих грунтах. – 89 с. – (Державні будіве-

льні норми України).

6. Методические рекомендации по учету нелинейных свойств основания при расчете конструкций по реальным диаграммам деформирования грунта / С. Н. Клепиков, Ф. Н. Бородачева, А. В. Машкин, О. М. Романов, Я. И. Червинский, В. Е. Макиенко. – Киев : НИИСК Госстроя СССР, 1985. – 60 с.
7. Руководство по проектированию плитных фундаментов каркасных зданий и сооружений башенного типа / Науч.-исслед. ин-т основания и подзем. сооружений им. Н.М. Герсеванова. – Москва : Стройиздат, 1984. – 263 с.
8. Петраков А. А. Исследование кренов жестких плитных фундаментов / А. А. Петраков, Н. А. Петракова // Будівельні конструкції : міжвідом. наук.-техн. зб. / Н.-д. ін-т буд. конструкцій (НДІБК). – Київ, 2011. – Вип. 75, кн. 1. – С. 470-477.
9. Тимченко Р. А. Применение программ МКЭ для моделирования работы системы „основание – инженерное сооружение“ в условиях неравномерных деформаций основания / Р. А. Тимченко // Вісник Криворізького технічного університету : зб. наук. пр. / ред. Ю. Г. Вілкул. – Кривий Ріг, 2008. – Вип. 21. – С. 113-116.
10. Тимченко Р. А. Вопросы геотехнических исследований для плитных фундаментов высотных зданий и сооружений / Р. А. Тимченко // Вісник Придніпровської державної академії будівництва та архітектури. – 2006. – № 4. – С. 53-58.
11. Руководство по проектированию зданий и сооружений на подрабатываемых территориях. Ч. 3 : Башенные, транспортные и заглубленные сооружения, трубопроводы / Донецкий ПромстройНИИпроект Госстроя СССР, Науч.-исслед. ин-т стройконструкций Госстроя СССР. – Москва : Стройиздат, 1986. – 225 с.
12. Фидаров М. И. Проектирование и возведение прерывистых фундаментов / М. И. Фидаров. – Москва : Стройиздат, 1986. – 157 с.

REFERENCES

1. Gersevanov N.M. *K voprosu o koeffitsiente posteli dlya rascheta fundamentov i osnovaniy* [On the items about rigidity coefficient of elastic foundation for a variety of soils for the calculation of bases]. *Proekt i standar* [Project and standard]. 1935, no. 10, pp. 27-28. (in Russian).
2. Klepikov S.N. *Raschet konstruksiy na deformiruemom osnovanii* [Structural analysis on the basis of a deformed]. Kiev: NIISK, 1996, 204 p. (in Russian).
3. Krutov V.I. *Osnovaniya i fundamenti na prosadochnykh gruntakh* [Foundations on subsiding soils]. Kiev: Budiveln'nyk, 1982, 224 p.
4. *Ob'ekty budyvnytstva ta proyislova produktsiia budivelnogo pryznachennia. Osnovy ta fundamenti budynkiv i sporud. Osnovy ta fundamenti sporud. Osnovni polozhennia proektuvannia : DBN V.2.1-10-2009.* [Objects of construction and industrial products for construction purposes. Bases and foundations of buildings and structures. Bases and foundations of buildings. The main provisions of the design: SCN V.2.1-10-2009.]. Kiev: Minregionbud Ukrainy, 2009, 107 p.
5. *Zakhyst vid nebezpechnykh geologichnykh protsesiv. Budynky i sporudy na pidroblivanykh teritoriiakh i prosidnykh gruntakh: DBN V.1.1.-5-2000. Ch. 1: Budynky i sporudy na pidroblivanykh teritoriiakh). Ch. 2: Budynky i sporudy na prosidaiuchykh gruntakh* [Protection from dangerous geological processes. Buildings and structures on undermined territories and subsiding soils: SCN V.1.1.-5-2000. Kiev, 2000.
6. Klepikov S.N., Borodacheva F.N., Mashkin A.N., Romanov O.M., Chervinskiy Ya.I. and Makienko V.E. *Metodicheskie rekomendatsii pouchetu nelineynykh svoystv osnovaniya pri raschete konstruksiy po real'nykh diagrammam deformirovaniya grunta* [Guidelines for the accounting of non-linear properties of the base of the calculation of the real designs of soil deformation diagrams]. Kiev: NIISK Gosstroya SSSR, 1985, 60 p.
7. Nauch.-issled. in-t osnovaniya i podzem. sooruzheniy im. N.M. Gersevanova. *Rukovodstvo po proektirovaniyu plitnykh fundamentov karkasnykh zdaniy i sooruzheniy bashennogo tipa* [Guideon design of slab foundation frame and buildings of tower type]. Moskow: Stroyizdat, 1984, 263 p.
8. Petrakov A.A. and Petrakova N.A. *Issledovanie krenov zhestkikh plitnykh fundamentov* [Study of hard rolls block foundations]. *Budiveln'ni konstruksii* [Buiding constructions]. Kiev, 2011, no. 75, vol. 1, pp. 470-477.
9. Timchenko R.A. *Primenenie programm MKE dlya modelirovaniya raboty sistemy „osnovanie – inzhenernoe sooruzhenie“ v usloviyakh neravnomernykh deformatsiy osnovaniya* [Application of FEM programs for the modeling of the system "foundation - engineering construction" in conditions of an uneven formations of the base]. *Visnyk Krivoriz'kogo tekhnichnogo universitetu* [Bulletin of Krivorizskyi technical university]. Krivoy Rog, 2008, no. 21, pp. 113-116.
10. Timchenko R.A. *Voprosy geotekhnicheskikh issledovaniy dlya plitnykh fundamentov vysotnykh zdaniy i sooruzheniy* [Items of geotechnical studies forth eslab foundation of high-rise buildings]. *Visnyk Prydniprovsk'koi derzhavnoi akademii budyvnytstva ta arkhitektury* [Bulletin of Prydniprovsk'ka state academy civil engineering and architecture]. Dnepropetrovsk, 2006, no. 4, pp. 53-58.
11. Donetskii Promstroy NIIproekt Gosstroya SSSR and Nauch.-issled. in-t stroykonstruksiy Gosstroya SSSR. *Rukovodstvo po proektirovaniyu zdaniy i sooruzheniy na podrabatyvaemykh territoriyakh. Ch. 3* [Guidelines for the design of buildings and structures on undermined territories. Part 3]. Moskow: Stroyizdat, 1986, 225 p.
12. Fidarov M.I. *Proektirovanie i vozvedenie preryvistykh fundamentov* [Design and construction of the intermittent foundation]. Moskow: Stroyizdat, 1986, 157 p.

Рецензент: д-р т. н., проф. Н. М. Ершова

Надійшла до редколегії: 27.05.2015 р. Прийнята до друку: 29.05.2015 р.