УДК 624.131.54

РОЗРАХУНОК ФУНДАМЕНТІВ-ОБОЛОНОК ДЛЯ СПОРУД БАШТОВОГО ТИПУ НА ВПЛИВ НЕРІВНОМІРНИХ ОСІДАНЬ ОСНОВИ

ТИМЧЕНКО Р. О. [1*], *д. т. н., проф.,*
СЄДІН В. Л. [2*], *д. т. н., проф.,*
КРІШКО Д. А. [3*], *к. т. н., ст. викл.*

[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 основ і фундаментів, Державний вищий навчальний заклад «Придніпровська державна академія будівництва та архітектури», вул. Чернишевського, 24-а, 49600, Дніпропетровськ, Україна, тел. +38 (0562) 47-16-61, e-mail: geotecprof@mail.ru, ORCID ID: 0000-0003-2293-7243

[3*] 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

Анотація. Постановка проблеми. Серед споруд баштового типу часто трапляються такі, фундаменти яких виконують у вигляді круглої або кільцевої плити, на яку спирається усічена конічна оболонка, що є продовженням ядра жорсткості. Круглі в плані і кільцеві залізобетонні фундаменти застосовуються в основному в інженерних спорудах, таких як димові труби, силоси, водонапірні башти, резервуари. Будівлі і споруди, побудовані на несприятливих територіях, зазнають деформаційного впливу від основи. Ступінь ослаблення основи залежить від величини горизонтальних деформацій та зміни структури і стану ґрунту. ***Мета роботи.*** Знижені характеристики ослабленої основи визначаються по-різному, залежно від природи, виду і величини деформаційних впливів. Не для всіх випадків є конкретні рекомендації щодо їх визначення. Робота круглих, кільцевих, полігонального обрисів фундаментних плит у цих умовах недостатньо вивчена і потребує розгляду. ***Висновок.*** Одна з актуальних проблем проектування фундаментних конструкцій у складних ґрунтових умовах - визначення граничних деформаційних впливів для певного виду фундаменту за заданих силових навантажень. Таку задачу можна розв'язувати, поступово збільшуючи деформаційні впливи на фундамент (збільшення кривизни, нахилу, осідань, розмірів уступу, діаметра провалів). Фундаментні конструкції слід проектувати з такими розмірами, щоб відношення жорсткостей плити й основи відповідало найбільшій носійній здатності плити, у цьому випадку найповніше використовуються носійні здатності елементів системи.

Ключові слова*: деформаційні впливи, фундамент, ґрунт*

РАСЧЕТ ФУНДАМЕНТОВ-ОБОЛОЧЕК ДЛЯ СООРУЖЕНИЙ БАШЕННОГО ТИПА НА ВОЗДЕЙСТВИЯ НЕРАВНОМЕРНЫХ ОСАДОК ОСНОВАНИЯ

ТИМЧЕНКО Р. А.[1*], *д. т. н., проф.,*
СЕДИН В. Л.[2*], *д. т. н., проф.,*
КРИШКО Д. А.[3*], *к. т. н., ст. преп.*

[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 оснований и фундаментов, Государственное высшее учебное заведение «Приднепровская государственная академия строительства и архитектуры», ул. Чернышевского, 24-а, 49600, Днепропетровск, Украина, тел. +38 (0562) 47-16-61, e-mail: geotecprof@mail.ru, ORCID ID: 0000-0003-2293-7243

[3*] 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

Аннотация. Постановка проблемы. Среди сооружений башенного типа часто встречаются такие, фундаменты которых выполняют в виде круглой либо кольцевой плиты, на которую опирается усеченная коническая оболочка, являющаяся продолжением ядра жесткости. Круглые в плане и кольцевые железобетонные фундаменты применяются в основном в инженерных сооружениях, таких как дымовые трубы, силосы, водонапорные башни, резервуары. Здания и сооружения, построенные на неблагоприятных территориях, претерпевают деформационные воздействия от основания. Степень ослабления основания зависит от величины горизонтальных деформаций и изменения структуры и состояния грунта. ***Цель.*** Сниженные

характеристики ослабленного основания определяются по-разному, в зависимости от природы, вида и величины деформационных воздействий. Не для всех случаев имеются конкретные рекомендации по их определению. Работа круглых, кольцевых, полигонального очертания фундаментных плит в этих условиях недостаточно изучена и требует рассмотрения. ***Вывод.*** Одной из актуальных проблем проектирования фундаментных конструкций в сложных грунтовых условиях является определение предельных деформационных воздействий для определенного вида фундамента при заданных силовых нагружениях. Такую задачу можно решать при постепенном увеличении деформационных воздействий на фундамент (увеличение кривизны, наклона, оседаний, размеров уступа, диаметров провалов). Фундаментные конструкции следует проектировать с такими размерами, чтобы отношение жесткостей плиты и основания соответствовало наибольшей грузоподъемности плиты, тогда наиболее полно используются несущие способности элементов системы.

Ключевые слова*: деформационные воздействия, фундамент, грунт*

CALCULATION OF FOUNDATIONS-COVERS FOR CONSTRUCTIONS OF TOWER TYPE ON THE IMPACT OF UNEVEN SUBSIDENCE OF BASE

TIMCHENKO R. A.[1*], *Dr.Sc.(Tech.), Prof.*,
SEDIN V. L.[2*], *Dr.Sc.(Tech.), Prof.*,
KRISHKO D. A.[3*], *Ph.D., senior lect.*

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

[2*] Foundation Engineering Department, State higher educational institution «Prydniprovs'ka State Academy of civil engineering and architecture», Chernyshevskogo str., 24a, 49600 Dnipropetrovsk, Ukraine, tel. +38 (0562) 47-16-61, e-mail: geotecprof@mail.ru, ORCID ID: 0000-0003-2293-7243

[3*] Department of architecture and urban planning, State higher educational establishment «Kryvyi Rig National University», str. XXII-th party Congress, 11, 50027, Kryvyi Rig, Ukraine, tel. +38 (0564) 71-95-98, e-mail: dak_sf@mail.ru, ORCID ID: 0000-0001-5853-8581

Summary. Problem statement. Among the constructions of the tower type there are the foundations are made as round or circular plate and a truncated conical coverleans on it being a continuation of kernel hardness. The round in plan and circular annular reinforced concrete foundations are mainly used in engineering structures, such as chimneys, silos, water towers, tanks. Buildings and structures built on the unfavorable areas are exposed with deformation influence from the foundation. The degree of weakening of the foundation depends on the size of the horizontal deformations and change of the structure and state of the soil. **Purpose.** Reduced the characteristics of weak bases are defined differently, depending on the nature, type and size of deformation. Not for all cases, there are specific recommendations as for their definition. The work of round, circular, polygonal shape of the foundation plates is not studied enough in these conditions and requires consideration. **Conclusion.** One of the actual problems of the foundation structures design is to define the limits of deformation effects for a certain type of foundation for a given force loading in hard soil conditions. This task can be solved with a gradual increase of deformation impacts on foundation (increasing of curvature, slope, subsidence, dimensions of the ledge, the diameter of the failures). Foundation structures should be designed with such dimensions that the ratio of the stiffness of the plate and the foundation will be conformed to the highest capacity of plate, then supporting capacity of the elements of the system are used most fully.

Key words: *deformation impacts, foundation, soil*

Постановка проблеми. Серед споруд баштового типу часто трапяються такі, фундаменти яких виконують у вигляді круглої або кільцевої плити, на яку спирається усічена конічна оболонка, яка є продовженням ядра жорсткості. Круглі в плані і кільцеві залізобетонні фундаменти застосовуються в основному в інженерних спорудах, таких як димові труби, силоси, водонапірні башти, резервуари.

Будівлі і споруди, побудовані на несприятливих територіях, зазнають деформаційного впливу від основи. Ступінь ослаблення основи залежить від величини горизонтальних деформацій та зміни структури і стану ґрунту [1-2].

Мета статті. Знижені характеристики ослабленої основи визначаються по-різному, залежно від природи, виду і величини деформаційних впливів. Не для всіх випадків є конкретні рекомендації щодо їх визначення. Робота круглих, кільцевих, полігонального обрисів фундаментних плит у цих умовах недостатньо вивчена і потребує розгляду.

Виклад основного матеріалу. Деформаційні впливи на фундамент із боку основи, не пов'язані з навантаженням від споруди (викривлення поверхні основи, нерівномірні осідання, провали), відображаються у розрахунковій схемі додатковими переміщеннями поверхні основи [3]. Якщо, наприклад, до деформування основи фундамент займає положення 1, показане на рисунку 1, то після деформаційних впливів він буде займати положення 2. Тоді додаткове переміщення кожної точки підошви фундаменту від деформаційних впливів (рис. 2) може бути показане у вигляді суми трьох складових:

$$S_i = S_i^f + S_i^{-_2} + S_i^{\Delta P_i} = S_i^f + X_i \cdot {}^{-}{}_2 + S_i^{\Delta P_i}, \quad (1)$$

де S_i^f – рівномірне переміщення фундаменту як абсолютно твердого тіла; $S_i^{-_2}$ – переміщення точки за рахунок повороту (додаткового крену) на кут фундаменту ${}^{-}{}_2$; $S_i^{\Delta P_i}$ – додатковий прогин точки, що викликаний зміною епюри реактивних тисків і враховує деформативність (гнучкість) плити.

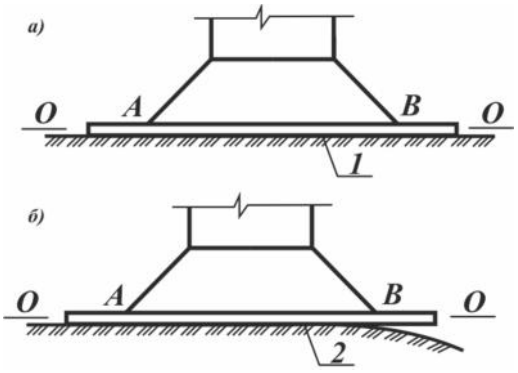

Рис. 1. Деформаційні впливи на фундамент:
а – фундамент до деформування основи;
б – фундамент після деформування основи

Рівномірне занурення фундаменту в ґрунт не викликає додаткових зусиль у конструкціях, якщо не враховувати бічні тиски. Поворот фундаменту (споруди) викликає зсув центру ваги будівлі, що зумовлює додатковий ексцентриситет e_{-_2}, внаслідок чого виникає додатковий згинальний момент величиною:

$$M_2 = F \cdot e_{-_2} = F \cdot H_{ö} \cdot {}^{-}{}_2, \quad (2)$$

де F – сумарне вертикальне навантаження; $H_{ö}$ – висота центра ваги будівлі відносно підошви фундаменту.

Третя складова ($S_i^{\Delta P_i}$) залежить від реактивних тисків до і після деформаційних впливів і від показника гнучкості плити. Якщо реактивні тиски позначити відповідно $P_1(r,¨)$ і $P_2(r,¨)$ для кожної точки ***i***, зміна відпору ґрунту запишеться так:

$$\Delta P_i = P_{2,i}(r,¨) - P_{1,i}(r,¨) = \Delta P_i(r,¨). \quad (3)$$

Оскільки деформаційні дії відбуваються під час експлуатації, тобто після того, як основа вже була під тисками $P_1(r,¨)$, і з урахуванням того, що грунт є нелінійно-деформованим і непружним тілом, то, визначаючи напружено-деформований стан фундаментних конструкцій, необхідно враховувати особливості роботи (деформування) ґрунту основи.

Деформаційні впливи викликають збільшення контактних тисків в одних точках (додаткове навантаження), а в інших ділянках - їх зменшення (розвантаження), тому для розв'язання даної задачі необхідно мати реальну діаграму деформування ґрунту (залежність між тисками й осіданнями при навантаженні і розвантаженні, рис. 3).

На характер розподілу опору ґрунту впливають не тільки анізотропія основи і силові фактори, а і жорсткості фундаментних конструкцій, насамперед плити. Зазвичай в розрахунках фундамент приймається нескінченно жорстким [2; 4], але дослідження показали, що плита завжди згинається, особливо при утворенні тріщин і ліній зламу [5], це свідчить, що розрахунок плити слід виконувати як конструкції кінцевої жорсткості.

Задача розрахунку фундаментних конструкцій на деформаційний вплив із боку заснування належить до геометрично нелінійних, і розв'язуючи її, вирішенні необхідно враховувати як спільну роботу елементів системи, так і нелінійні властивості матеріалів фундаменту й основи. Така задача зазвичай розв'язується методом послідовних наближень [6]. Будемо розв'язувати її в три етапи.

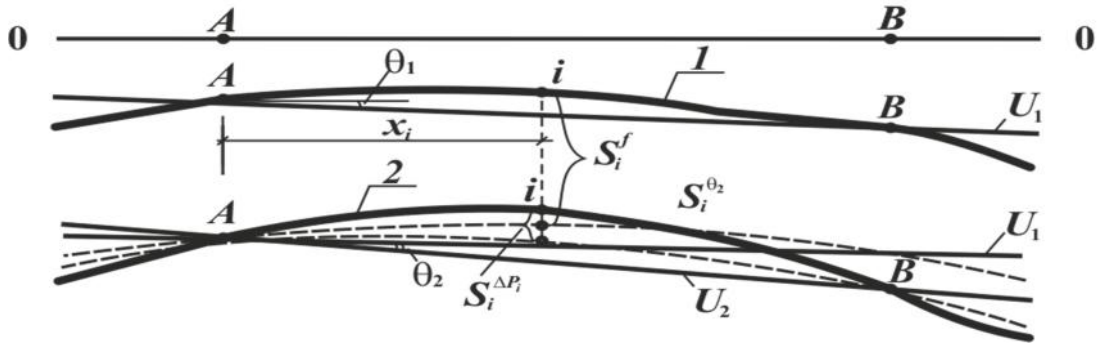

Рис. 2. Переміщення точок серединної поверхні плити до і після деформаційних впливів

На першому етапі розв'язується контактна задача до деформації основи. Фундамент розглядається спочатку як абсолютно жорстке тіло (рис. 4) і тиски по підошві фундаменту в кожній точці *i* визначаються за формулою:

$$P_i = \frac{F}{A} + \frac{m \cdot e_i}{W} \cdot \cos \ddot{}_i , \qquad (4)$$

де $e_i = r_i / R_0$ – безрозмірна координата; A, W – площа і момент опору підошви плити.

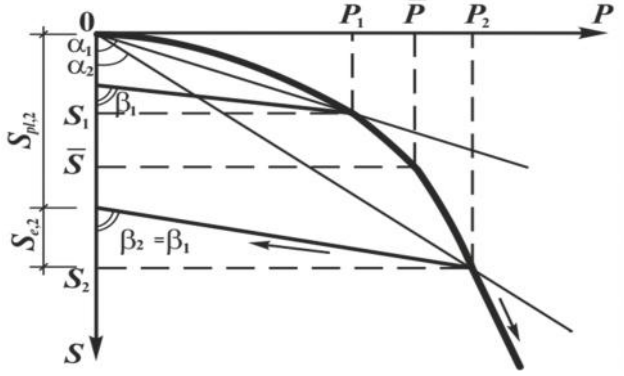

Рис.3. Діаграма деформування ґрунту

Знаючи значення опору ґрунту, можна на діаграмі деформування визначити осідання S_i [3; 4] й уточнити коефіцієнт жорсткості основи в кожній точці за формулою:

$$k_i = tg\sim_i = \frac{R}{S_i + \bar{S}\left(R/\bar{P} - 1\right)}, \qquad (5)$$

де R – граничний тиск на основу; $\bar{S}$ – осідання основи при тиску $\bar{P}$, рівному середньому тиску по підошві фундаменту.

На другому кроці наближень розв'язується контактна задача для плити, завантаженої силовими факторами з боку оболонки, при коефіцієнтах жорсткості, визначених у 1-му наближенні (5), але з урахуванням деформативності плити. Зовнішні навантаження на плиту визначаються як опорні реакції при розрахунку оболонки на дію вертикальної сили і моменту; нижній контур оболонки закладено в плиту, що служить опорою для неї. Розв'язок контактної задачі у 2-му наближенні (з урахуванням гнучкості плити) дає нові значення реактивних тисків, звідси нові значення осідань, а також нові коефіцієнти жорсткості основи. Знову завантажують плиту зовнішніми навантаженнями, взятими з попереднього етапу розрахунку, тепер при нових знайдених значеннях коефіцієнтів жорсткості розв'яується контактна задача. Процес триває до заданої точності на *m*-му кроці наближень. Розрахункові параметри для кожної точки *i* підошви фундаменту будуть $k_{1,i}^{(m)}, S_{1,i}^{(m)}, P_{1,i}^{(m)}$.

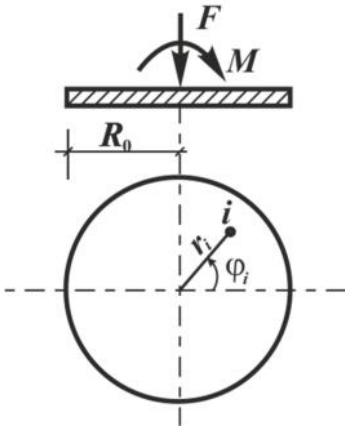

Рис. 4. Координати точки для штампа

На другому етапі розв'яується контактна задача на деформованій основі, тобто після деформаційних впливів, але без урахування залишкових деформацій ґрунту. Як на першому етапі, так і на 1-му кроці визначають реактивні тиски абсолютно жорсткого фундаменту з урахуванням де-

формації основи. Для основних видів деформування основні розрахункові величини опору ґрунту для штампу наведені у праці [7]. За діаграмою знаходять осідання і коефіцієнти жорсткості. На наступному кроці плиту завантажують зовнішніми навантаженнями, але з урахуванням її дійсної жорсткості. Подальший хід розв'язання аналогічний першому етапу. Остаточні розрахункові параметри будуть $k_{2,i}^{(n)}, S_{2,i}^{(n)}, P_{2,i}^{(n)}$.

На третьому етапі порівнюють значення реактивних тисків у різних точках підошви фундаменту до і після деформаційних впливів, щоб установити знак і величини приросту опору ґрунту, при цьому можливі три випадки:

1. Якщо $P_{1,i}^{(m)} \le P_{2,i}^{(n)}$, то фактичне значення коефіцієнта жорсткості знаходять по кривій навантаження і він визначається за формулою (5) при тиску $P_{2,i}^{(n)}$.

2. Якщо $P_{1,i}^{(m)} > P_{2,i}^{(n)}$, то коефіцієнт жорсткості знаходять по кривій розвантаження і він визначається за формулою:

$$k_i = tg\ _i = \frac{P_{1,i}^{(m)}}{S_{e,i}} = \frac{P_{1,i}^{(m)}}{S_{1,i}^{(m)} - S_{pl,i}}. \qquad (6)$$

3. Якщо $P_{2,i}^{(n)} = 0$, то коефіцієнт жорсткості дорівнює нулю (відрив основи від підошви фундаменту).

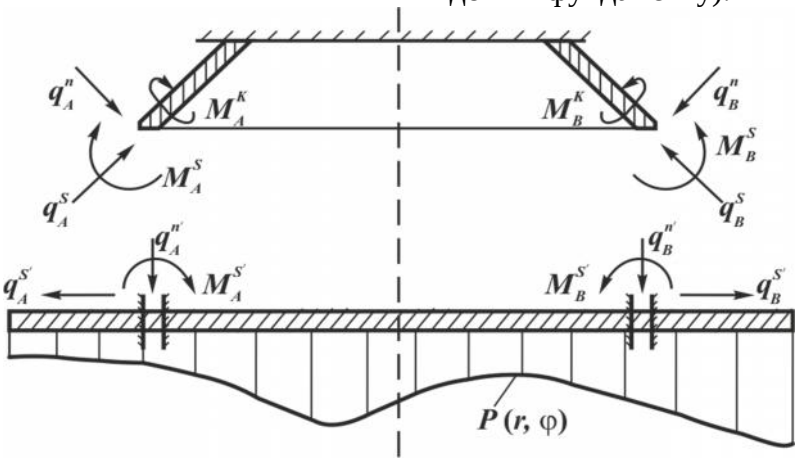

Рис.5. Спільна работа елементів

Після корегування коефіцієнтів жорсткості остаточно розв'язують контактну задачу і визначають напружено-деформований стан фундаментних конструкцій. Деформації плити й оболонки описуються рівняннями технічної теорії тонких пластин і оболонок [8]. Використання обчислювальної техніки дозволяє застосовувати різні числові методи будівельної механіки або замінити континуальну систему дискретною у вигляді перехресних балок еквівалентних жорсткостей. З числових методів найбільш доцільний метод сіток для таких видів конструкцій, коли прогини, зусилля, а також граничні умови мають вираз у формі кінцевих різниць. Таким методом можна розрахувати як плиту, так і оболонку, використовуючи при цьому радіальну решітку регулярної структури. Безперервну основу замінюють еквівалентними силами, прикладеними у вузлах сітки; величини цих сил визначають за формулою:

$$P_i = \overline{P}_i \cdot A_i, \qquad (7)$$

де A_i – вантажна площа, яка припадає до вузла i; $\overline{P}_i$ – середнє значення реактивних тисків у межах вузла.

Силові впливи на плиту з боку оболонки прикладають у відповідних вузлах [9].

Вплив різних видів деформацій на напружено-деформований стан фундаментних конструкцій може бути оцінений відповідним вибором епюри жорсткісних характеристик або реактивних тисків при урахуванні крену споруди. Для виконання такого розрахунку плиту завантажують реактивними силами (рис. 5) і визначають опорні реакції в місцях стику плити з оболонкою. Тоді внутрішню частину плити можна розглядати як круглу пластину, за-

кріплену по контуру і зовнішню – кільцеву, закріплену по внутрішньому контуру.

Сумарні опорні зусилля (реакції) визначаються як зовнішні силові впливи, прикладені до нижнього контуру оболонки; її верхній контур жорстко закріплений. Така постановка завдання дозволяє враховувати спільну роботу елементів системи.

Відмінна особливість конструкцій, що взаємодіють із ґрунтом, - те, що для їх перетворення на геометрично змінювану систему необхідне утворення пластичних шарнірів у декількох перетинах, що говорить про їх підвищену несучу здатність. Дослідження несучої здатності фундаментних конструкцій проводиться методом зростаючих навантажень; при цьому розглядається лише просте навантаження. Одночасно перевіряють стан (якщо не утворилися пластичні шарніри) компонентів системи «основа-фундамент» на кожному кроці збільшення зовнішніх навантажень.

По досягненні граничних значень контактних напружень на ґрунт в одному перерізі подальший розрахунок виконується без їх збільшення, тобто при нульовому значенні характеристик жорсткості основи.

Висновки. Одна з актуальних проблем проектування фундаментних конструкцій у складних ґрунтових умовах - це визначення граничних деформаційних впливів для певного виду фундаменту при заданих силових навантаженнях. Таку задачу можна розв’язувати, поступово збільшуючи деформаційні впливи на фундамент (збільшення кривизни, нахилу, осідань, розмірів уступу, діаметрів провалів). Фундаментні конструкції слід проектувати з такими розмірами, щоб відношення жорсткостей плити й основи відповідало найбільшій несучій здатності плити, у цьому випадку найповніше використовуються несучої здатності елементів системи.

ВИКОРИСТАНА ЛІТЕРАТУРА

1. 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).
2. Захист від небезпечних геологічних процесів. Будинки і споруди на підроблюваних територіях і просідних ґрунтах : ДБН В. 1.1.-5-2000. – Чинні від 2000-07-01. – Вид. офіц. – Київ, 2000. – Ч. 1 : Будинки і споруди на підроблюваних територіях. – 70 с. ; Ч. 2 : Будинки і споруди на просідаючих ґрунтах. – 89 с. – (Державні будівельні норми України).
3. 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.
4. Клепиков С. Н. Расчет конструкций на неупругом основании при сложном нагружении / С. Н. Клепиков // Основания, фундаменты и механика грунтов. – 1983. – № 5. – С. 15-17.
5. Литвиненко А. Г. Результаты испытаний круглых железобетонных плит на упругом основании / А. Г. Литвиненко, В. И. Иваненко // Экспериментальные исследования инженерных сооружений. Методы, приборы, оборудование, метрологическое обеспечение : тез. докл. к V Всесоюзной конференции (Таллин, сентябрь 1981) / Науч.-исслед. ин-т стройконструкций. – Киев, 1981. – С. 27.
6. Обозов В. И. Опыт внедрения нелинейных методов расчета фундаментных конструкций / В. И. Обозов. – Москва : Стройиздат, 1984. – 60 с.
7. 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.
8. 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.
9. Синицын А. П. Расчет балок и плит на упругом основании за пределом упру гости : пособие для проектировщиков / А. П. Синицын. – Изд. 2-е, доп. и перераб. – Москва : Стройиздат, 1974. – 176 с.

REFERENCES

1. Minrehionbud Ukrayiny *Obiekty budivnytstva ta promyslova produktsiia budivel’nogo pryznachennia. Osnovy ta fundamenty budynkiv i sporud. Osnovy ta fundamenty 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]. Kyiv, 2009, 107 p. (in Ukrainian).

2. *Zakhyst vid nebezpechnykh geologichnykh protsesiv. Budynky i sporudy na pidrobliuvanykh terytoriiakh i prosidnykh gruntakh:* DBN V. 1.1.-5-2000. V 2-kh ch. [Protection from dangerous geological processes. Buildings and constructions on undermined territories and shrinking soils: SCN V. 1.1.-5-2000. In 2 part]. Kyiv, 2000. (in Ukrainian).
3. Klepikov S.N., Borodacheva F.N., Mashkin A.V., Romanov O.M., Cpervinskiy Ya.I. and Makienko V.E. *Metodicheskie rekomendatsii po uchetu nelineynykh svoystv osnovaniya pri raschete konstruktsiy po real'nym diagrammam deformirovaniya grunta* [Guidelines for the accounting of non-linear properties in the the calculation of structures of the real diagram of soil deformation]. Kiev: NIISK Gosstroya SSSR, 1985, 60 p. (in Russian).
4. Klepikov S.N. *Raschet konstruktsiy na neuprugom osnovanii pri slozhnom nagruzhenii* [Calculation of constructions on inelastic base under complex loading]. *Osnovaniya, fundamenty i mekhanika gruntov* [Base, foundation, mechanins of soil]. 1983, no 5, pp. 15-17. (in Russian).
5. Litvinenko A.G. and Ivanenko V.I. *Rezul'taty ispytaniy kruglykh zhelezobetonnykh plit na uprugom osnovanii* [Results of tests of round concrete slabs on an elastic foundation]. *Eksperimental'nye issledovaniya inzhenernykh sooruzheniy. Metody, pribory, oborudovanie, metrologicheskoe obespechenie :* [Experimental study of engineering structures. Methods, devices, equipment, metrological providing]. Nauch.-issled. in-t stroykonstruktsiy [Science and research institute of construction structures]. Kiev, 1981, p. 27. (in Russian).
6. Obozov V.I. *Opyt vnedreniya nelineynykh metodov rascheta fundamentnykh konstruktsiy* [Experience of introduction of nonlinear methods of calculation of foundation structures]. Moscow: Stroyizdat, 1984, 60 p. (in Russian).
7. Donetskiy Promstroy NIIproekt Gosstroya SSSR and Nauch.-issled. in-t stroykonstruktsiy Gosstroya SSSR. *Rukovodstvo po proektirovaniyu zdaniy i sooruzheniy na podrabatyvaemykh territoriyakh. Ch. 3. Bashennye, transportnye i zaglublennye sooruzheniya, truboprovody* [Guidelines for the design of buildings and structures on undermined territories. Part 3: Tower, transport and deeped structures, pipelines]. Moscow: Stroyizdat, 1986, 225 p. (in Russian).
8. Nauch.-issled. in-t osnovaniya i podzem. sooruzheniy im. N.M. Gersevanova. *Rukovodstvo po proektirovaniyu plitnykh fundamentov karkasnykh zdaniy i sooruzheniy bashennogo tipa* [Guidelines on design slab foundation of framed buildings and structures of tower type]. Moscow: Stroyizdat, 1984, 263 p. (in Russian).
9. Sinitsyn A.P. *Raschet balok i plit na uprugom osnovanii za predelom uprugosti: posobie dlya proektirovshchikov* [Calculation of beams and plates on elastic foundation beyond elasticity: A guide for planners]. Izd. 2-e [2-d edition]. Moscow: Stroyizdat, 1974, 176 p. (in Russian).

Стаття рекомендована до друку 15.03.2015 р. Рецензент: д-р т. н., проф. Є. А. Єгоров

Надійшла до редколегії: 16.04.2015 р. Прийнята до друку: 24.04.2015 р