

УДК 69.04

## ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ПРОГРАММНОГО КОМПЛЕКСА PLAXIS ДЛЯ РАСЧЁТА ПЛИТНЫХ ФУНДАМЕНТОВ НА ПОДРАБАТЫВАЕМЫХ ТЕРРИТОРИЯХ

ТИМЧЕНКО Р. А.<sup>1\*</sup>, *д.т.н., проф.*,  
КРИШКО Д. А.<sup>2\*</sup>, *к.т.н., ст. преп.*  
БОГАТЫНСКИЙ А. В.<sup>3\*</sup>, *асп.*  
САВЕНКО В. О.<sup>4\*</sup>, *асп.*

<sup>1\*</sup> Кафедра промышленного, гражданского и городского строительства, Государственное высшее учебное заведение "Криворожский национальный университет", ул. XXII-го Партсъезда, 11, 50027, Кривой Рог, Украина, тел. +38 (0564) 71-95-98, e-mail: radomirtimchenko@mail.ru, ORCID ID: 0000-0002-0684-7013

<sup>2\*</sup> Кафедра промышленного, гражданского и городского строительства, Государственное высшее учебное заведение "Криворожский национальный университет", ул. XXII-го Партсъезда, 11, 50027, Кривой Рог, Украина, тел. +38 (0564) 71-95-98, e-mail: dak\_sf@mail.ru, ORCID ID: 0000-0001-5853-8581

<sup>3\*</sup> Кафедра промышленного, гражданского и городского строительства, Государственное высшее учебное заведение "Криворожский национальный университет", ул. XXII-го Партсъезда, 11, 50027, Кривой Рог, Украина, тел. +38 (0564) 71-95-98, tioma432@e-mail.ua, ORCID ID: 0000-000-3423-3577

<sup>4\*</sup> Кафедра промышленного, гражданского и городского строительства, Государственное высшее учебное заведение "Криворожский национальный университет", ул. XXII-го Партсъезда, 11, 50027, Кривой Рог, Украина, тел. +38 (0564) 71-95-98, e-mail: sav\_vov1@mail.ru, ORCID ID: 0000-0003-0679-8909

**Аннотация.** *Цель.* Задача расчёта плитных фундаментов (на примере круглого фундамента) на подрабатываемой территории сложна и для получения удовлетворительного решения необходим анализ и учёт огромного количества факторов. Нормативы демонстрируют решение данной задачи в линейной форме, что лишь приближенно описывает происходящие процессы. Однако, применение численных методов решения (например, метода конечных элементов) может позволить устранить этот недостаток. При этом огромное количество факторов требует применения компьютерных технологий для рационализации процесса расчёта. Целью работы является сравнение результатов расчёта контактных напряжений на подошве круглой фундаментной плиты (линейного расчёта и расчёта при помощи ПК PLAXIS) при взаимодействии с радиусообразно искривлённым основанием, вследствие воздействия подработок. *Методика.* Для выполнения поставленной задачи определяли расчетные значения отпора грунта под подошвой круглой фундаментной плиты сооружения башенного типа при воздействии радиусообразных деформаций I-IV групп. Расчёт производился для различных вариантов деформации: а) при кривизне выпуклости и полном контакте подошвы фундамента с грунтом; б) при кривизне вогнутости и полном контакте подошвы фундамента с грунтом; в) при кривизне выпуклости и неполном контакте подошвы фундамента с грунтом; г) при кривизне вогнутости и неполном контакте подошвы фундамента с грунтом. Радиус деформаций варьировался от 1 до 15 км. Круглый фундамент проектировался жестким. *Результаты.* При сравнении результатов двух расчётов можно увидеть, что расчёт при помощи PLAXIS выдает более низкие пиковые контактные давления (на 12...19 % ниже, чем при линейном решении) и несколько выровненную эпюру (отсутствуют бесконтактные участки). *Научная новизна и практическая значимость.* Применение программного комплекса PLAXIS для расчёта круглых фундаментных плит в условиях подрабатываемых территорий позволяет более качественно смоделировать взаимодействие фундамента и неравномерно-деформируемого основания и получить экономический эффект, вследствие снижения пиковых напряжений.

**Ключевые слова:** контактные напряжения, подрабатываемые территории, круглая фундаментная плита, ПК PLAXIS.

## ВИКОРИСТАННЯ ПРОГРАММНОГО КОМПЛЕКСУ PLAXIS ДЛЯ РОЗРАХУНКУ ПЛИТНИХ ФУНДАМЕНТІВ НА ПІДРОБЛЮВАЛЬНИХ ТЕРИТОРІЯХ

ТИМЧЕНКО Р. О.<sup>1\*</sup>, *д.т.н., проф.*,  
КРИШКО Д. А.<sup>2\*</sup>, *к.т.н., ст. викл.*,  
БОГАТИНСЬКИЙ А. В.<sup>3\*</sup>, *асп.*,  
САВЕНКО В. О.<sup>4\*</sup>, *асп.*

<sup>1\*</sup> Кафедра промислового, цивільного та міського будівництва, Державний вищий навчальний заклад "Криворізький національний університет", вул. XXII-го Партсъезда, 11, 50027, Кривий Ріг, Україна, тел. +38 (0564) 71-95-98, e-mail: radomirtimchenko@mail.ru, ORCID ID: 0000-0002-0684-7013

<sup>2\*</sup> Кафедра промислового, цивільного та міського будівництва, Державний вищий навчальний заклад "Криворізький національний університет", вул. XXII-го 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

<sup>3\*</sup> Кафедра промислового, цивільного та міського будівництва, Державний вищий навчальний заклад "Криворізький національний університет", вул. XXII-го 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

<sup>4\*</sup> Кафедра промислового, цивільного та міського будівництва, Державний вищий навчальний заклад "Криворізький національний університет", вул. XXII-го Партз'їзду, 11, 50027, Кривий Ріг, Україна, тел. +38 (096) 326-76-81, e-mail: sav\_vov1@mail.ru, ORCID ID: 0000-0003-0679-8909

**Анотація. Мета.** Задача розрахунку плитних фундаментів (на прикладі круглого фундаменту) на підроблювальній території складна і для отримання задовільного рішення необхідні аналіз та врахування величезної кількості факторів. Нормативні документи демонструють рішення даної задачі у лінійній формі, що лише приблизно описує процеси, що виникають. Проте, використання чисельних методів рішення (наприклад, методу скінчених елементів) може дозволити позбутися цього недоліку. При цьому велика кількість факторів вимагає використання комп'ютерних технологій для раціоналізації процесу розрахунку. Метою роботи є порівняння результатів розрахунку контактних напружень на підшві круглої фундаментної плити (лінійного розрахунку та розрахунку за допомогою ПК PLAXIS) при взаємодії з радіусоподібно деформованою основою, в результаті підземних виробок. **Методика.** Для виконання поставленої задачі визначали розрахункові значення контактних напружень під підшвою круглої фундаментної плити споруди баштового типу при впливу радіусоподібних деформацій I-IV груп. Розрахунок проводився для різних варіантів деформації: а) при кривизні випуклості та повним контактом підшви фундаменту з ґрунтом; б) при кривизні ввігнутості та повним контактом підшви фундаменту з ґрунтом; в) при кривизні випуклості та неповним контактом підшви фундаменту з ґрунтом; г) при кривизні ввігнутості та неповним контактом підшви фундаменту з ґрунтом. Радіус деформації варіювався від 1 до 15 км. Круглий фундамент проектувався жорстким. **Результати.** При порівнянні результатів двох розрахунків можна побачити, що розрахунок за допомогою PLAXIS видає більш низькі пікові контактні тиски (на 12...19 % нижче, ніж при лінійному вирішенні) та дещо вирівняну епюру (відсутні безконтактні ділянки). **Наукова новизна та практична значимість.** Використання програмного комплексу PLAXIS для розрахунку круглих фундаментних плит в умовах підроблювальних територій дозволяє більш якісно змоделювати взаємодію фундаменту та нерівномірно-деформованої основи та отримати економічний ефект внаслідок зниження значень пікових навантажень.

**Ключові слова:** контактні напруження, підроблювальні території, кругла фундаментна плита, ПК PLAXIS.

## USING PLAXIS FOR SLAB FOUNDATION CALCULATION ON UNDERMINED TERRITORIES

TIMCHENKO R. A. <sup>1\*</sup>, *Dr. Sc. (Tech), Prof.*,

KRISHKO D. A. <sup>2\*</sup>, *Cand. Sc., senior lect.*,

BOGATYNSKIY A. V. <sup>3\*</sup>, *PhD student*,

SAVENKO V. O. <sup>4\*</sup>, *PhD student*.

<sup>1\*</sup> Department of industrial, civil and urban building, 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

<sup>2\*</sup> Department of industrial, civil and urban building, 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](mailto:dak_sf@mail.ru), ORCID ID: 0000-0001-5853-8581

<sup>3\*</sup> Department of industrial, civil and urban building, 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](mailto:tioma432@e-mail.ua), ORCID ID: 0000-000-3423-3577

<sup>4\*</sup> Department of industrial, civil and urban building, 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: [sav\\_vov1@mail.ru](mailto:sav_vov1@mail.ru), ORCID ID: 0000-0003-0679-8909

**Abstract. Purpose.** Slab foundation calculation problem (for example round slab foundation) on the undermined territories is difficult and we need to get analysis and inventory a huge amount of factors for receiving satisfactory solution. The guidelines show us solution of this problem with linear form. It's describing occurred processes approximately. Numerical methods application (for example finite elements method) can remove this disadvantage. In this case, huge amount of factors need to use computer technologies for calculation rationalization. Comparison of the contact tensions calculation results (linear calculation and calculation with PLAXIS) on round foundation slab base with radial bended ground base on undermined territories was our aim. **Methodology.** For this task execution we defined calculated values of contact tensions on round slab foundation base of tower-type building with radial bend I-IV groups. Calculation was made for different type of deformation: a) convexity curvatures and full contact of foundation base with soil; b) concavity curvatures and full contact of foundation base with soil; c) convexity curvatures and not full contact of foundation base with soil; d) concavity curvatures and not full contact of foundation base with soil. Deformation radius varied from 1 to 15 km. Round foundation slab designed as rigid. **Originality.** Comparison of two calculation can show us that the

calculation with using PLAXIS gives us lower unfavorable contact tensions (12...19 % lower than linear solution) and aligned diagrams (non-contact zone is absent). **Practical value.** PLAXIS using for round foundation calculation in case of undermined territories allow modeling round foundation slab interaction with non-uniform deformed base more qualitative.

**Key words:** contact tensions, undermined territories, round foundation slab, PLAXIS.

## Введение

Строительство новых зданий и сооружений на территориях, где распространены выработки полезных ископаемых (подрабатываемые территории), требует особо тщательного и научно обоснованного подхода к проектированию и расчету той части этих сооружений, которые связаны с геотехнической инженерией. При устройстве фундамента на таких грунтах необходимы специальные меры, обеспечивающие устойчивость здания, как при его строительстве, так и при эксплуатации [1]. Кроме того, учет сложности напластования грунтового массива, изменение гидрологических условий и применение различных конструкционных материалов на этапе проектирования позволяют существенно снизить окончательную стоимость объекта.

Выемка пластов залежей полезных ископаемых вызывает образование в недрах земли пустот значительных размеров. Породы, залегающие в кровле горных выработок, под действием силы тяжести и горного давления приходят в движение, обуславливая развитие процесса сдвига всей толщ, включая земную поверхность.

В результате сдвига и деформации толщи горных пород деформируется и нарушается целостность крепи горных выработок (стволов, квершлагав, околоствольных выработок, штреков), попавших в зону сдвига. Объекты, расположенные на земной поверхности и также попавшие в зону сдвига, деформируются, а при неблагоприятных условиях подработки даже разрушаются. Например, в стенах и фундаментах гражданских и промышленных зданий возникают трещины, межэтажные перекрытия теряют устойчивость, наблюдаются перекосы оконных и дверных проемов, происходит отслаивание и падение штукатурки, и т.д.

Для башенных сооружений, для которых используется круглый жесткий фундамент характерно возникновение кренов и оседаний сверх допустимых значений. Это происходит вследствие образования мульды сдвига [2,3].

Задача расчёта круглого фундамента на подрабатываемой территории сложна и для получения удовлетворительного решения необходим анализ и учёт огромного количества факторов. Нормативы [4] демонстрирует решение данной задачи в линейной форме, что лишь приближенно описывает происходящие процессы. Однако, применение численных методов решения (например, метода конечных элементов) может позволить устранить этот недостаток [5,6,7]. При этом, огромное количество факторов требует применения

компьютерных технологий, для рационализации процесса расчёта.

Современные программы МКЭ представляют собой уже не просто метод расчета напряжения, которые в дальнейшем инженер должен сопоставлять со свойствами грунтов, современные программы МКЭ по существу являются аппаратом математического моделирования всех процессов, протекающих в грунте. Они автоматически сопоставляют напряжение с прочностными свойствами грунтов и с помощью определенных процедур обеспечивают соответствие картины напряжений условиям равновесия и заданным свойствам грунта. При этом инженеру уже нет нужды самому анализировать поля напряжений, да и информация о них становится излишней. Совершенная программа может обеспечить инженера информацией, не требующей дальнейшей обработки, в том числе в графическом виде. Одной из таких программ является программа PLAXIS.

PLAXIS – конечно-элементный программный комплекс, широко используемый во всём мире в инженерной геотехнике и проектировании [8]. PLAXIS представляет собой простой и удобный пакет конечноэлементных программ для выполнения расчётов сложных комплексных геотехнических проектов в области современного высокотехнологического строительства. В процессе двухмерных и трёхмерных расчётов, доступных в программах PLAXIS, определяются напряжения, деформации, прочность (устойчивость) в сложных геотехнических системах с учётом совместной работы инженерных конструкций и их взаимодействия с грунтом на этапах строительства, эксплуатации и реконструкции. Для анализа работы фундамента методом конечных элементов использовалась программа PLAXIS.

## Цель

Целью работы является сравнение результатов расчёта контактных напряжений на подошве круглой фундаментной плиты при взаимодействии с радиусообразно искривлённым основанием (вследствие воздействия подработок) по линейным зависимостям и в ПК PLAXIS.

## Методика

Для выполнения поставленной задачи определим расчетные значения отпора грунта под подошвой круглой фундаментной плиты сооружения башенного типа при воздействия радиусообразных деформаций I-IV групп.

Радиус фундамента составляет 5,0 м. Согласно [9] заменим круглую форму подошвы фундамента равновеликой квадратной со стороны квадрата:

$$l_{\phi} = b_{\phi} = \sqrt{\frac{\pi \cdot D^2}{4}} = \sqrt{\frac{3,14 \cdot 10^2}{4}} = 8,86 \text{ м.} \quad (1)$$

Исходные данные: физико-механические характеристики грунта –  $E = 20 \text{ МПа}$ ,  $\varphi'' = 30^{\circ}$ ,  $c'' = 20 \text{ кПа}$ ,  $\gamma'' = 26,5 \text{ кН/м}^3$ ,  $\mu = 0,30$ , коэффициент жесткости основания  $c = 13220 \text{ кН/м}^3$ , нормативные нагрузки на уровне подошвы фундамента  $N'' = 4100 \text{ кН}$ ,  $W'' = 1320 \text{ кН}\cdot\text{м}$ , расчетные нагрузки  $N^p = 4510 \text{ кН}$ ,  $W^p = 1452 \text{ кН}\cdot\text{м}$ . Бетон В25  $E = 30 \text{ МПа}$ , толщина плиты 2 м.

Эпюры контактного давления, согласно [4], линейны и имеют вид (рис.2):

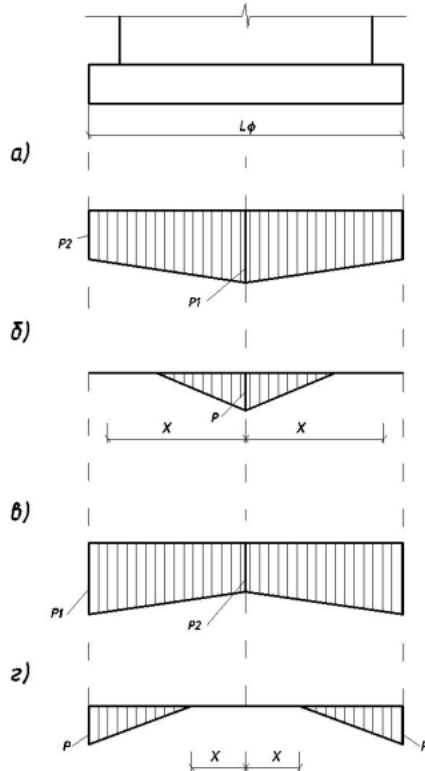


Рис.1. Эпюры контактных напряжений круглого жесткого фундамента при взаимодействии с радиусообразно деформируемым основанием /

Contact strains diagrams of round rigid slab foundation interaction with radial deformed base:

- a) при кривизне выпуклости и полном контакте подошвы фундамента с грунтом;
- б) при кривизне вогнутости и полном контакте подошвы фундамента с грунтом;
- в) при кривизне выпуклости и неполном контакте подошвы фундамента с грунтом;
- г) при кривизне вогнутости и неполном контакте подошвы фундамента с грунтом /

- a) In case of salience curvature with full contact of foundation and base;
- б) In case of concavity curvature with full contact of foundation and base;
- в) In case of salience curvature with non-full contact of foundation and base;
- г) In case of salience curvature with non-full contact of foundation and base

Учитывая, что сооружение башенного типа запроектировано по жесткой конструктивной схеме, расчет фундаментной плиты на криволинейно-деформируемом основании выполняется в зависимости от значения коэффициента  $\eta$  [4]:

$$\eta = \frac{16 \cdot N \cdot R}{n_k \cdot m_k \cdot c \cdot b_{\phi} \cdot l_{\phi}^3}, \quad (2)$$

где:  $N$  – равнодействующая всех вертикальных нагрузок на основание, кН;

$R$  – ожидаемый радиус кривизны земной поверхности, м;

$l_{\phi}$  – длина фундаментной плиты в плоскости изгиба, м;

$b_{\phi}$  – ширина фундаментной плиты, м;

$c$  – коэффициент жесткости основания кН/м<sup>3</sup>;

$n_k$  – коэффициент перегрузки;

$m_k$  – коэффициент условий работы.

При ожидаемых деформациях земной поверхности для групп территорий (I, II, III, IV), при кривизне выпуклости и вогнутости, при полном контакте подошвы фундамента с грунтом получены значения отпора грунта по формулам [4]:

$$P_1 = \frac{N}{l_{\phi}} + \frac{n_k \cdot m_k \cdot c \cdot b_{\phi} \cdot l_{\phi}^2}{16 \cdot R}; \quad (3)$$

$$P_2 = \frac{N}{l_{\phi}} - \frac{n_k \cdot m_k \cdot c \cdot b_{\phi} \cdot l_{\phi}^2}{16 \cdot R}.$$

Эпюры отпора грунта для  $R_1 = 15 \text{ км}$ ,  $R_2 = 10 \text{ км}$ ,  $R_3 = 5 \text{ км}$ ,  $R_4 = 2 \text{ км}$  при кривизне выпуклости представлены на рис.1, а, при кривизне вогнутости – на рис. 1, б.

При кривизне выпуклости и неполном контакте подошвы фундамента с грунтом для определения эпюры отпора (рис. 1, в) использованы формулы [10]:

$$P = \sqrt[3]{\frac{n_k \cdot m_k \cdot c \cdot b_{\phi} \cdot N^2}{2 \cdot R}}; \quad (4)$$

$$x = \sqrt[3]{\frac{2 \cdot N \cdot R}{n_k \cdot m_k \cdot c \cdot b_{\phi}}}$$

При кривизне вогнутости и неполном контакте подошвы фундамента с грунтом для определения эпюры отпора (рис. 1, г) фундамента использованы формулы:

$$P = \frac{n_k \cdot m_k \cdot c \cdot b_{\phi}}{2 \cdot R} \cdot \left( \frac{l_{\phi}^2}{4} - x^2 \right); \quad (5)$$

$$x = \sqrt[3]{\alpha + \beta} + \sqrt[3]{\alpha - \beta} + \frac{l_{\phi}}{6},$$

где  $\alpha$  и  $\beta$  – величины, определяемые по формулам:

$$\alpha = \frac{N \cdot R}{n_k \cdot m_k \cdot c \cdot b_{\phi}} - \frac{l_{\phi}^3}{27}; \tag{6}$$

$$\beta = \sqrt{\frac{N^2 \cdot R^2}{n_k^2 \cdot m_k^2 \cdot c^2 \cdot b_{\phi}^2} - \frac{2 \cdot N \cdot l_{\phi}^3 \cdot R}{27 \cdot n_k \cdot m_k \cdot c \cdot b_{\phi}}}$$

Результаты расчёта показаны на рис. 2.

Результаты расчёта контактных напряжений в программном комплексе PLAXIS (для радиусов деформации 10 и 1 км) показаны на рис. 3.

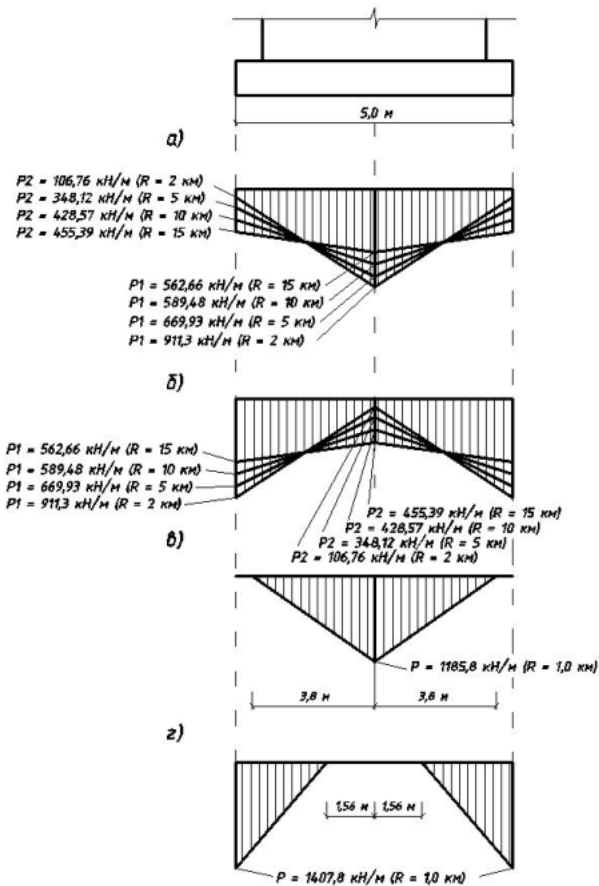


Рис. 2. Эпюры взаимодействия фундамента с криволинейно-деформируемым основанием /

Contact strains diagrams of foundation interaction with non-linear deformed base:

- а) при кривизне выпуклости и полном контакте подошвы фундамента с грунтом;
- б) при кривизне вогнутости и полном контакте подошвы фундамента с грунтом;
- в) при кривизне выпуклости и неполном контакте подошвы фундамента с грунтом;
- г) при кривизне вогнутости и неполном контакте подошвы фундамента с грунтом /

а) In case of salience curvature with full contact of foundation and base; б) In case of concavity curvature with full contact of foundation and base; в) In case of salience curvature with non-full contact of foundation and base; г) In case of

salience curvature with non-full contact of foundation and base.

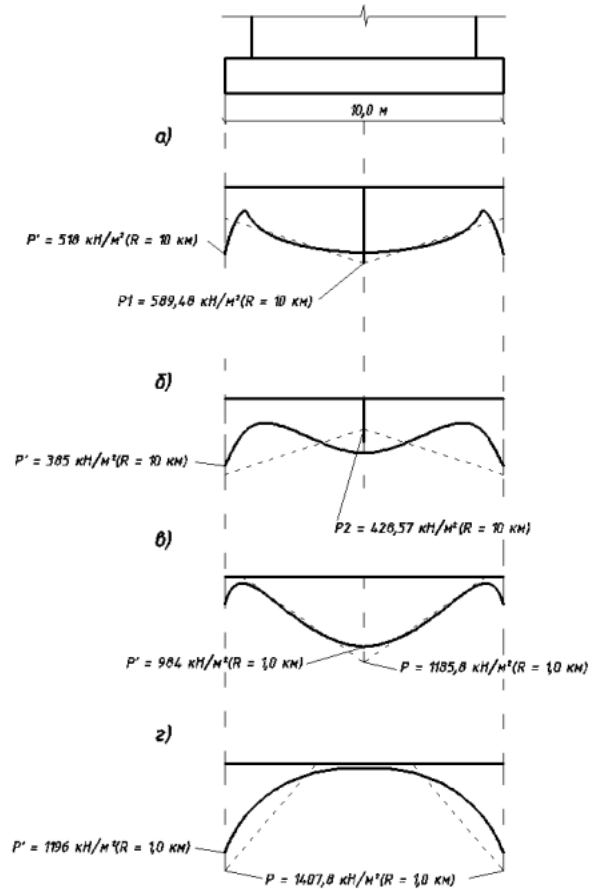


Рис. 3. Эпюры взаимодействия фундамента с криволинейно-деформируемым основанием (по результатам расчёта в PLAXIS)

Пунктиром показаны эпюры, полученные в результате линейного расчёта /

Contact strains diagrams of foundation interaction with non-linear deformed base (by the calculation with PLAXIS software). Linear calculation resulting diagrams drew as dashed lines:

- а) при кривизне выпуклости и полном контакте подошвы фундамента с грунтом;
- б) при кривизне вогнутости и полном контакте подошвы фундамента с грунтом;
- в) при кривизне выпуклости и неполном контакте подошвы фундамента с грунтом;
- г) при кривизне вогнутости и неполном контакте подошвы фундамента с грунтом /

а) In case of salience curvature with full contact of foundation and base; б) In case of concavity curvature with full contact of foundation and base; в) In case of salience curvature

with non-full contact of foundation and base; z) In case of salience curvature with non-full contact of foundation and base

### Научная новизна и практическая значимость

Применение программного комплекса PLAXIS для расчёта круглых фундаментных плит в условиях подрабатываемых территорий позволяет более качественно смоделировать взаимодействие фундамента и неравномерно-деформируемого основания и получить некоторый экономический эффект, вследствие снижения пиковых напряжений.

### СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ / REFERENCES

- ДБН В. 1.1.-5-2000. Захист від небезпечних геологічних процесів. Будинки і споруди на підроблюваних територіях і просідаючих ґрунтах; Введ. з 2000-07-01. – Київ, 2000. – Ч. 1: Будинки і споруди на підроблюваних територіях). – 70 с.; Ч. 2 : Будинки і споруди на просідаючих ґрунтах. – 89 с.
- ДБН В. 1.1.-5-2000. *Zakhyst vid nebezpechnykh heologichnykh protsesiv. Budynky ta sporudy na pidroblyvalnykh terytoriiakh ta prosidaiuchykh gruntakh* [State Building Guidelines V. 1.1.-5-2000. Protection from dangerous geological processes. Buildings and construction on undermined territories and giving soils]. Kyiv, 2000. 70 p.
- Рогова, Т. Б. Сдвигения и деформации пород и земной поверхности при ведении горных работ / Т.Б. Рогова. – Кемерово : КузГТУ, 2015. – 50 с.
- Rogova T.B. *Sdvizheniya i deformatsii porod i zemnoy poverkhnosti pri vedenii gornykh robot* [Movement and deformation of rocks and soil surface with mining operations]. Kemerovo, KuzGTU Publ., 2015. 50 p.
- Гусев, В. Н. Сдвигение и деформации горных пород / В. Н. Гусев, Е. М. Волохов. – Санкт-Петербург: Санкт-Петербургский горный институт им. Г. В. Плеханова, 2003. – 83 с.
- Gusev V.N. Volokhov E.M. *Sdvizhenie i deformatsii gornykh porod* [Movement and deformation of mining rocks]. Sankt-Peterburg, Sankt-Peterburgskiy gornyy institut im. G. V. Plekhanova, 2003. 83 p.
- Руководство по проектированию зданий и сооружений на подрабатываемых территориях. Часть III. Башенные, транспортные и заглубленные сооружения, трубопроводы. / НИИСК Госстроя СССР. – М.: Стройиздат, 1985. – 211 с.
- Rukovodstvo po proektirovaniyu zdaniy i sooruzheniy na podrabatyvaemykh terrytoriyakh. Chast III. Bashennye, transportnye, i zaglublennye sooruzheniya, truboprovody* [Guidelines of buildings and construction on undermined territories design. Part III Tower-type, transport and underground constructions, pipes]. Moscow, Stroyizdat Publ., 1985. 211 p.
- Варвак, П. М. Метод сеток в задачах расчёта строительных конструкций / П. М. Варвак, Л. П. Варвак. – М.: Стройиздат, 1977. – 204 с.
- Varvak P.M. Varvak L.P. *Metod setok v zadachakh stroitelnykh konstruksiy* [Grating method in building constructions problem]. Moscow, Stroyizdat Publ., 1977. 204 p.
- Клепиков, С. Н. Расчет конструкций на деформируемом основании / С. Н. Клепиков. – К. : НИИСК, 1996. – 204 с.

### Выводы

С помощью программного комплекса PLAXIS анализ расчётов в линейной и нелинейной постановке показывает снижение пиковых контактных давлений (на 12...19 % на упругопластическом основании), выравнивание эпюр и отсутствие бесконтактных участков. Таким образом, повышается точность полученных результатов, что позволяет улучшить качество проектирования плитных фундаментов.

Klepikov S.N. *Paschet konstruksiy na deformiruemom osnovanii* [Constructions on deforming base calculation]. Kyiv, NIISK Publ., 1996. 204 p.

7. 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. – Кривий Ріг, 2008. – Вип. 21. – С. 113-116.

Timchenko R.A. *Primenenie program MKE dlya modelirovaniya raboty sistemy "osnovanie – inzhenernoe sooruzhenie" v usloviyakh neravnomernykh deformatsiy osnovaniya* [FEM programs using for “base – construction” system behavior modeling in case of non-uniform base deformations]. *Visnyk Kryvorizhkyo Tekhnichnogo Universytetu* [Bulletin of Kryvorizhkyi Tehnichyy Universytet], 2008, issue 21, pp. 113-116.

8. Вопросы определения несущей способности буронабивных свай на современном этапе проектирования / Б. А. Базаров, А. В. Коннов, А. Н. Конакбаева, Д. А. Бекежанова // Технология производства металлов и вторичных материалов. – Караганда, 2012. – Вип. 1. – С. 241-245

Bazarov V.A., Konnov A.V., Konakbaeva A.N., Bekezhanova D.A. *Voprosy opredeleniya nesushchey sposobnosti buronabivnykh svay na sovremennom etape proektirovaniya* [Bored piles bearing capacity definition problems in modern design]. *Tekhnologiya proizvodstva metallov i vtorichnykh materialov - Technology of production of metals and recycled materials*, 2012, issue 1, pp. 241-245.

9. Кальницкий, А. А. Расчёт и конструирование железобетонных фундаментов гражданских и промышленных зданий и сооружений. Учеб. Пособие для вузов / А. А. Кальницкий, Л. М. Пешковский. – М.: Высшая школа, 1975 – 261 с.

Kalnitkiy A.A., Peshkovskiy L.M. *Raschet i konstruirovaniye zhelezobetonnykh fundamentov grazhdanskikh i promyshlennykh zdaniy i sooruzheniy* [Civil and industrial ferroconcrete foundations calculation and design]. Moscow, Vysshaya Shkola Publ., 1975. 261 p.

10. Тимченко, Р. А. Методика расчета круглых плитных фундаментов в условиях неравномерно-деформируемого основания при сложном нагружении / Р.А. Тимченко. – Кривой Рог : Криворожский технический университет, 2008. – 24 с.

Timchenko R.A. *Metodika rascheta kruglykh plitnykh fundamentov v usloviyakh neravnomerno-deformiruemogo osnovaniya pri slozhnom nagruzhении* [Round slab foundation on non-uniform deformed base calculation method]. Kryvoy Rog, Kryvyi Rih Technical University Publ., 2008. 24 p.