

## **МЕТОДИКА РАСЧЁТА ФУНДАМЕНТНЫХ КОНСТРУКЦИЙ НА ПОДРАБАТЫВАЕМЫХ ТЕРРИТОРИЯХ**

Тимченко Р.А., Кришко Д.А., Богатынский А.В.

ГБУЗ «Криворожский национальный университет»  
г. Кривой Рог, Украина

**АНОТАЦІЯ:** Існуюча нормативна методика розрахунку фундаментних конструкцій апроксимує поверхню осідання від підземних виробок за допомогою параболічної моделі. Це не дозволяє при розрахунку враховувати геометрію викривлення земної поверхні. Розглянута в статті методика позбавлена цього недоліку та додатково надає змогу визначити можливу зону розміщення будівлі згідно нормативних вимог.

**АННОТАЦИЯ:** Существующая нормативная методика расчета фундаментных конструкций аппроксимирует поверхность оседания от подземных разработок при помощи параболической модели. Это не позволяет при расчете учитывать геометрию искривления земной поверхности. Рассмотренная в статье методика лишена этого недостатка и дополнительно даёт возможность определить возможную зону размещения здания согласно нормативам.

**ABSTRACT:** Existing regulatory methods of construction foundation calculation approximates the settlement surface because of underground developments by parabolic model. It doesn't allow taking into consideration geometry of Earth surface curvature. Proposed method has no this lack as well as gives opportunity to determine a possible zone of building placement to meet the Norms.

**КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА:** фундамент, подрабатываемые территории

## ВВЕДЕНИЕ

Нормативные документы [2,7-9] определяют искривление земной поверхности от подработки в виде радиусообразной деформации. Согласно им, расчетное оседания любой точки основания, вызванное кривизной земной поверхности следует определять по формуле:

где  $n_k$  и  $m_k$  – коэффициенты перегрузки и условий работы, принимаемые по соответствующим таблицам;  $R$  – ожидаемый радиус искривления земной поверхности;  $x$  – расстояние от точки, которая рассматривается до центра искривления.

Это не соответствует действительности, так как мульда сдвижения имеет более сложную геометрию (рис. 1.).

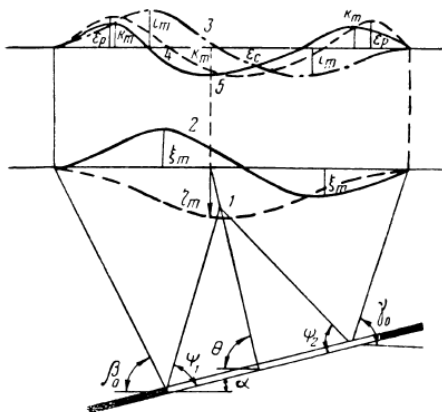


Рис. 1. Кривые оседания и деформации мульды сдвижения:

- 1 – вертикальные оседания; 2 – горизонтальные сдвигения; 3 – наклоны;  
4 – кривизна; 5 – горизонтальные деформации (растяжения, сжатия)

Существующая методика расчёта фундаментных конструкций на подрабатываемых территориях не позволяет точно определить расчётные значения искомых величин, так как не учитывает геометрию мульды оседания. В связи с этим существует необходимость создания такой методики расчёта, которая бы могла решить данную проблему.

## РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЙ

За основу предлагаемой методики расчёта круглых фундаментных конструкций на подрабатываемых территориях была взята методика НИИСКА [6], основанная на решении дифференциальных уравнений для балки и плиты соответственно:

$$\nabla^2 (D\nabla^2 Z) + KZ = q \quad d$$

где  $D = \frac{Eh^3}{12(1-\nu^2)}$  – цилиндрическая жесткость плиты;  $Z$  – вертикальное

перемещение точек плиты относительно исходного положения;  $K$  – коэффициент жесткости основания;  $\nu$  – коэффициент Пуассона;  $E$  – модуль упругости материала плиты или балки;  $q$  – интенсивность внешней нагрузки;  $\nabla^2 = \frac{\partial^2}{\partial r^2} + \frac{1}{r} \frac{\partial}{\partial r} + \frac{1}{r^2} \frac{\partial^2}{\partial \theta^2}$  – оператор Лапласа в полярных координатах.

Кроме того, учитывается принцип суперпозиции оседаний, который показывает, что вертикальные перемещения плиты можно показать в виде суммы изгибов ее под воздействием поперечных нагрузок и искривления основания:

$$Z(r, \theta) = w(r, \theta) + \eta(r, \theta)$$

где  $w(r, \theta)$  – вертикальные перемещения точек плиты от действия нагрузки на плиту;  $\eta(r, \theta)$  – вертикальные перемещения плиты от искривления поверхности земли.

С учётом (2) и (3) получим дифференциальные уравнения для балки и плиты на искривлённом основании соответственно:

$$\nabla^2 (D\nabla^2 w) + \nabla^2 (D\nabla^2 \eta) = q - Kw \quad d \quad (6)$$

Наличие производной четвертой степени в уравнениях (5) и (6) исключает возможность использования уравнения (1) для определения осадки плиты, так как оседание от подработки не будет иметь влияние на оседание от нагрузки, что не соответствует действительности.

В связи с этим был произведён выбор подходящей модели оседания земной поверхности для использования в методике расчёта. Выбор производился из трёх наиболее известных в геомеханике уравнений [1, 3 - 5]: уравнение кривой оседания по С.Г. Авершину, уравнения осадки за С.П. Колбенкову, семейство уравнений для описания кривых осадок.

Были сформированы требования к математическим моделям поверхности оседания с целью выбора оптимальной для расчёта балок и

плит на подрабатываемых территориях и произведена аппроксимация функций средствами MS EXCEL [10].

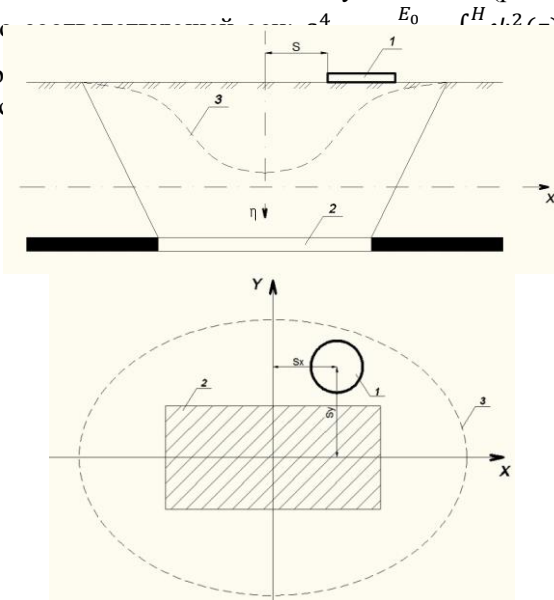
Был сделан вывод, что наибольшее соответствие строительным нормам, согласно проведенных исследований, показывает модель кривой оседания по проф. Колбенкову (величина достоверности аппроксимации наибольшая). Учитывая это, дифференциальные уравнения (5) и (6), с учётом четвертой производной можно преобразовать:

$$\nabla^2 \nabla^2 w + s^4 w = \frac{q}{D} - \eta_{\max} 8\pi^3 \frac{(L_x^2 + L_y^2)^2}{L_x^4 L_y^4} \sin\left(\frac{2\pi(x + S_x)}{L_x}\right) \sin\left(\frac{2\pi(y + S_y)}{L_y}\right) w$$

д  
е  
=

$k4EJ$ ;  $S_i$  – расстояние от прогнозируемой точки наибольшего оседания, до начала балки по соответствующей оси (рис. 2);  $L_i$  – полумульда по

$\psi$  – функция р  
высота слоя ос



d  
d  
x  
·  
β  
=  
q  
E  
J  
η  
m  
a  
x

Рис. 2. Схема к расчёту балки на подрабатываемых территориях:

1 – балка (плита); 2 – выработанное пространство; 3 – мульда сдвижения. Решением же уравнений (7) и (8) будут соответственно выражения (9) и

$$w(x) = C_1 \cdot U_1 + C_2 \cdot U_2 + C_3 \cdot U_3 + C_4 \cdot U_4 + \frac{q}{k} -$$

·  
x  
η  
S  
m  
L  
a  
)

$$w(\rho, \theta) = C_1 \cdot u_0(\xi) + C_2 \cdot v_0(\xi) + C_3 \cdot f_0(\xi) + C_4 \cdot g_0(\xi) + \frac{q}{k} - \eta_{\max} 8\pi^3 \frac{(L_x^2 + L_y^2)^2}{L_x^4 L_y^4} \sin\left(\frac{2\pi(x + S_x)}{L_x}\right) \sin\left(\frac{2\pi(y + S_y)}{L_y}\right) \quad (10)$$

где  $\xi = \rho/L_0$ ;  $L_0 = \sqrt[4]{\frac{D}{k}}$ ;  $u_0, v_0$  – мнимая и действительная часть функции Бесселя;  $f_0, g_0$  – мнимая и действительная часть функции Ганкеля;  $C_i$  – неизвестные коэффициенты уравнения.

В данном случае конструкции являются статически неопределимыми: неизвестные начальные параметры не могут быть найдены из уравнений статики. Они находятся из граничных условий. Для нахождения этих 4 неизвестных начальных параметров у нас есть столько же уравнений: по 2 каких-либо параметра на каждом краю балки равны нулю – всего 4 уравнения.

В зависимости от вида граничных условий будут равны нулю:

1. В жёсткой заделке – перемещение и угол поворота;
2. При шарнирном закреплении – перемещение и изгибающий момент;
3. На свободном краю – изгибающий момент и перерезывающая сила.

Для плитного фундамента граничные условия запишутся в виде:

=  
≠

Выбрав граничные условия можно получить 4 уравнения с 4-мя неизвестными коэффициентами  $C_i$ , решив которые получим искомые величины общего оседания по формуле (4) с учётом (9) (10), а моментов и внутренних усилий по известным формулам [6].

Важным вопросом при проектировании зданий и сооружений на подрабатываемых территориях является определение площадей для их размещения на территориях, где прогнозируются деформации от подработки.

Эти площадки должны определяться исходя из непревышения допустимых величин деформации, определяемых по табл. 24 прил. 3 [9].

Можно записать следующие условия (с учётом того, что наибольший уклон по мульде будет наблюдаться в радиальном направлении):

$$S \geq n_s \cdot Z; y = n_k (w_x; y + \eta_x; y) i \geq$$

где  $n_s; n_k$  – коэффициенты надёжности по деформациям;  $x; y$  – переменные координаты центра плиты, относительно точки

максимального оседания;  $[S]$  – максимально допустимое оседание фундамента;  $[i]$  – максимально допустимый крен здания;  $\alpha$  – угол диаметра проходящего через центр мурды оседания (рис. 3).

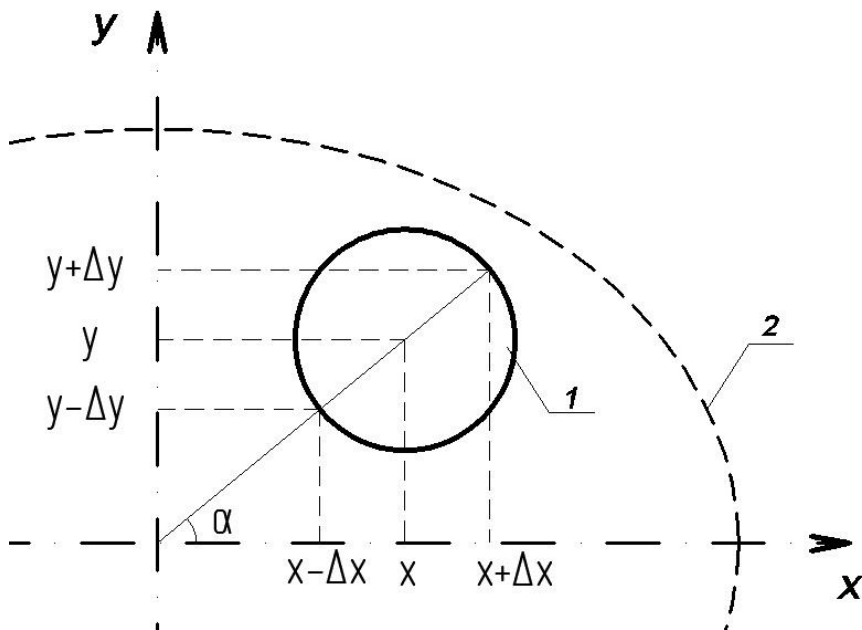


Рис. 3. Схема к определению крена и оседания фундамента:  
1 – фундаментная плита; 2 – граница мурды сдвига

Решив неравенство (15) можно получить область  $Q(x; y; [S]; [i]; D)$ , которая будет являться геометрическим местом точек, в которых нормативами не допускается размещение центра плиты (рис. 4).

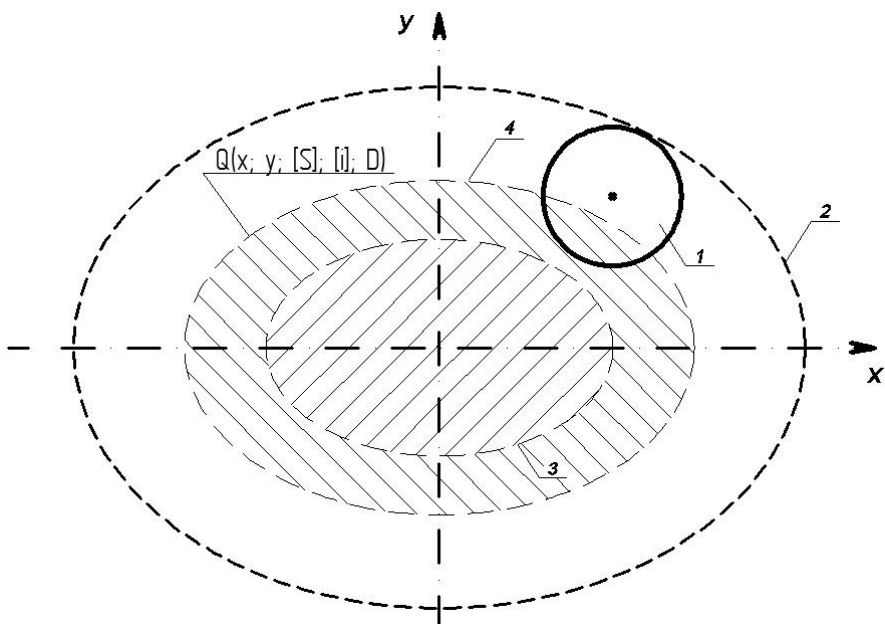


Рис. 4. Зона, в которой допускается размещение центра здания:  
 1 – фундаментная плита; 2 – граница мульды сдвига; 3 – зона с недопустимым значением оседания; 4 – зона с недопустимыми значениями кренов

## ВЫВОДЫ

Предложенная методика расчёта фундаментных конструкций на подрабатываемых территориях позволяет более точно определить деформационные характеристики фундамента при его взаимодействии с искривлённым основанием, так как учитывает геометрию искривления основания. Кроме того, предложенная методика позволяет определять безопасную, с точки зрения нормативных кренов и оседаний, зону возможного расположения в плане проектируемого фундамента.

## ЛИТЕРАТУРА

1. Авершин С. Г. Сдвигание горных пород при подземных разработках / С. Г. Авершин. – М.: Углетехиздат, 1947. – 244 с.

2. ДБН В. 1.1.-5-2000. Будинки і споруди на підроблюваних територіях і просідних ґрунтах – Київ.: Державний комітет будівництва, архітектури і житлової політики України, 2000. – 70 с.
3. Кодунов Б.А., Лященко М.А. Исследование формы мульды сдвижения горных пород и земной поверхности // Збірник матеріалів регіональної науково-практичної конференції “Дні науки - 2011”, Красноармійськ, 2011. - т.1, С. 108-111.
4. Кратч Г. Сдвижение горных пород и защита подрабатываемых сооружений / Г. Кратч. – М.: Недра, 1978. – 494 с.
5. Маркшейдерское дело/ [под. ред. д.т.н. Д.Н. Оглобина]. – М.: Недра, 1972. – 590 с.
6. Методика расчёта круглых плит на деформируемом основании. – К.: НИИСК, 1971. – 56 с.
7. Руководство по проектированию зданий и сооружений на подрабатываемых территориях. Часть I // Донецкий ПромстройНИИпроект, НИИСК. – М.: Стройиздат, 1983. – 136 с.
8. Руководство по проектированию зданий и сооружений на подрабатываемых территориях. Часть II // Донецкий ПромстройНИИпроект, НИИСК. – М.: Стройиздат, 1986. – 304 с.
9. Руководство по проектированию зданий и сооружений на подрабатываемых территориях. Часть III. / НИИСК Госстроя СССР – М.: Стройиздат, 1985. – 211 с.
10. Тімченко Р.О. Визначення оптимальної моделі поверхні осідання в задачах розрахунку плитних фундаментів на підроблювальних територіях/ Р.О. Тімченко, Д.А. Крішко, А.В. Богатинський // Вісник Криворізького національного університету. – Кривий Ріг: КНУ, 2016. – Вип. 36. – С. 153-161.

Статья поступила в редакцию 16.09.2016 г.