



КУШНЕР САМУИЛ ГЕЦЕЛЕВИЧ

Кандидат технических наук, старший научный сотрудник, член Международного общества механики грунтов и геотехники, научный консультант и советник головы г. Днепродзержинска по вопросам градостроительства.

Основные направления деятельности: расчет и проектирование зданий и сооружений на структурно-неустойчивых грунтах; разработка методов прогноза осадок оснований фундаментов; исследование причин деформаций и аварий строительных объектов, разработка методов их восстановления и усиления; проблемы экологии строительства.

Автор более 100 опубликованных работ.

E-mail: o.frankfurt@qmx.de

УДК 624.131.431

НАПРЯЖЕННОЕ СОСТОЯНИЕ ОСНОВАНИЯ ПОД ПОЛОСОЙ ПОЛУБЕСКОНЕЧНОЙ ПРОТЯЖЕННОСТИ

Ключевые слова: компоненты напряжений, полосовая нагрузка, касательные напряжения, нормальные напряжения, торец фундамента.

Неравномерное давление на ленточные фундаменты пристроек к зданиям за счет влияния их свободных торцов зачастую приводит к отклонению пристроек от основного здания, а неравномерное давление на основания устоев мостов от примыкающих насыпей может вызвать наклон устоев в сторону насыпей. Это имело место в Днепродзержинске на железнодорожном и автодорожном мостах, причем наклон устоев едва не вызвал обрушение пролетных строений. Используемое для расчета решение плоской задачи теории упругости для нагруженной полосы бесконечной длины неэффективно.

Представленное решение пространственной задачи для полосовой нагрузки полубесконечной длины уточняет напряженное состояние оснований у свободных торцов ленточного фундамента, а также в основаниях фундаментов устоев мостов от давления примыкающих насыпей. Компоненты напряжений от равномерной нагрузки и напряжения σ_z от треугольной нагрузки получены интегрированием по площади полосы значений напряжений для элементарной сосредоточенной силы. Остальные компоненты напряжений от треугольной нагрузки находились из известного решения, определяющего напряжения под нагруженным такой же нагрузкой прямоугольным фундаментом.

Ход решения: начало координат перемещается вдоль оси y из центра фундамента в его торец; искомые компоненты напряжений находят из компонент напряжений под прямоугольным фундаментом путем определения предела этих напряжений при $l \rightarrow \infty$.

Полученные решения отвечают условиям на бесконечности, а нормальные напряжения σ_z , σ_x и касательные τ_{xz} при $-\infty < y < \infty$ переходят в известные решения для плоской деформации. Напряжения τ_{xy} и τ_{yz} затухают примерно на расстоянии $y=2,5b$ от торца полосы, а напряжение σ_y становится постоянным и в расчетах не учитывается.

Вычитая из решения, отвечающего полосе полубесконечной длины с началом координат в точке $x=0$, $y=0$ такое же решение с началом координат в точке $x=0$, $y=l$ для равномерной нагрузки и соответственно $x=-b/2$, $y=0$ и $x=-b/2$, $y=l$ для треугольной нагрузки получаем более простое по сравнению с известным решение, определяющее компоненты напряжений в основании прямоугольного фундамента. Таким образом, зная решение для любого вида полосовой нагрузки, можно найти решение для прямоугольного фундамента и наоборот. Полученные формулы позволяют решать и упруго-пластические задачи. Здесь b и l ширина и длина полосы.

Uneven pressure on the strip foundations of building extensions due to the influence of their free ends often leads to the setting extensions aside from the main building, and uneven pressure on the ground of bridge abutments from adjoining embankments can cause the abutments slope in the direction of the embankments. This took place in Dneprodzerzhinsk (Ukraine) on railway and highway bridges, and abutments slope nearly caused the breaking-down of the bridge superstructures. The plane problem solution of the theory of elasticity for a loaded strip of an infinite length used in calculating is inefficient.

The presented solution of the spatial problem for a semi-infinite length strip load specifies the ground stress condition at the free ends of the strip foundation, and also in foundation grounds of the bridge abutments from the pressure of adjoining embankments. The components of even load stress and triangular load stress σ_z are obtained by integration of stress values for the elementary concentrated force over the area of the strip. The other components of triangular load stresses, according to the known solution defining stresses, were under the rectangular foundation of the same load. The solution: central point of coordinates moves along the y -axis from the center of the foundation to its end; the target stress components are of stress components under a rectangular foundation by defining the limit of these stresses, when $l \rightarrow \infty$.

The obtained solutions satisfy the conditions on infinity; the normal stresses σ_z , σ_x and the shear stresses τ_{xz} change to the known solutions for the plane strain when $-\infty < y < \infty$. The stresses τ_{xy} and τ_{yz} are damped approximately on the distance of $y=2,5b$ from the strip end, and the stress σ_y becomes permanent and is not taken into account when calculating.

Subtracting from the solution corresponding to the strip of a semi-infinite length with the central point of coordinates of $x=0$, $y=0$, the same solution with the central point of coordinates of $x=0$, $y=l$ for even stress and respectively $x=-b/2$, $y=0$ and $x=-b/2$, $y=l$ for the triangular load we get an easier solution compared to the known one which determine the stress components at the rectangular foundation ground.

So that, knowing the solution for any kind of strip load it is possible to find the solutions for rectangular foundation and vice versa. The obtained formulas allow solving plasto-elastic tasks. Here, b and l are the width and the length of the strip.

1. ВСТУПЛЕНИЕ

Неравномерное давление на ленточные фундаменты пристроек к зданиям за счет влияния их свободных торцов зачастую приводит к отклонению пристроек от основного здания, а неравномерное давление на основания устоев мостов от примыкающих насыпей может вызвать наклон устоев в сторону насыпей. Это произошло в Днепродзержинске на железнодорожном и автомобильном мостах при высоте насыпей до 10 м, причем наклон устоев едва не вызвал обрушение пролетных строений. Используемое для расчета решение плоской задачи для нагруженной полосы бесконечной длины не эффективно, так как не учитывает влияние торцов фундамента.

2. НАПРЯЖЕНИЯ В ОСНОВАНИИ ПОЛОСЫ

В решении пространственной задачи для полосы полубесконечной длины из работы Кушнера [1] найдены все компоненты напряжений в ее основании от равномерной нагрузки и напряжения $\sigma_{z\Delta, str}$ от треугольной нагрузки (рис.1, а, б). Это решение получено интегрированием по площади полосы значений напряжений от элементарной сосредоточенной силы по формулам Буссинеска (1885). Оно уточняет напряженное состояние у свободных торцов ленточных фундаментов и в основаниях устоев мостов от давления примыкающих насыпей.

Приведем здесь только значения напряжений $\sigma_{z\Delta, str}$ от треугольной нагрузки

$$\sigma_{z\Delta, str} = p_0 \frac{x}{2\pi b} \left\{ \arctg \frac{B_1}{z} + \arctg \frac{B_2 y}{z R_1} + \frac{z}{2} \left[\frac{B_1}{B_1^2 + z^2} \left(2 + 3 \frac{R_1}{y} \right) - \frac{B_2}{y R_1} \left(\frac{y^2}{B_1^2 + z^2} + \frac{y^2 + 3z^2}{y^2 + z^2} \right) \right] - \frac{z^3 (1 + y/R_1)}{x (B_1^2 + z^2)} \right\} \frac{B_1}{B_2} \quad (1)$$

$$= p_0 \frac{x}{2\pi b} [\Psi(B_1) - \Psi(B_2)]$$

$B_1 = b - x$, $B_2 = -x$, $R_1 = \sqrt{B_1^2 + y^2 + z^2}$, $R_2 = \sqrt{B_2^2 + y^2 + z^2}$, p_0 - максимальная ордината треугольной нагрузки.

Остальные компоненты напряжений для треугол-

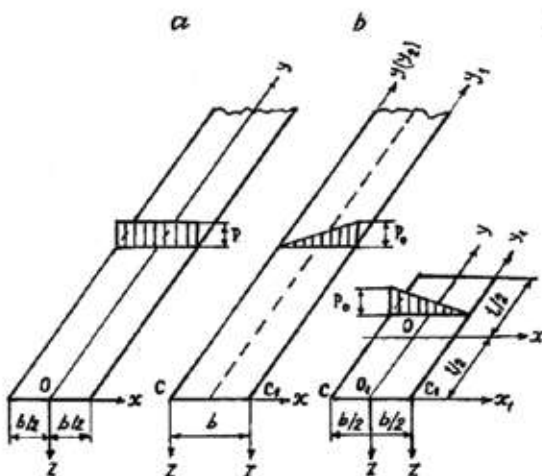


Рис 1. Схемы нагружения ленточного (полоса) и прямоугольного фундаментов: а и б- полоса полубесконечной длины; с - прямоугольный фундамент.

ной нагрузки найдены позднее на основании решения Короткина (1938), определяющего все компоненты напряжений в основании прямоугольного фундамента.

Ход решения (рис. 1, с): начало координат перемещается из центра прямоугольного фундамента в его торец; в случае равномерной нагрузки - вдоль центральной оси y ; в случае треугольной нагрузки - в точку C_1 с помощью подстановок: $y=y_1-l/2$, $x=x_1+b/2$ где y , x и y_1 , x_1 соответственно старые и новые координаты; компоненты напряжений выражаются формулами, отвечающими новому расположению начала координат; для каждой компоненты напряжения находится предел при $l \rightarrow \infty$. В формуле (1), определяющей напряжения $\sigma_{z\Delta, str}$, нулевые ординаты треугольной нагрузки расположены слева (рис. 1, б), а в решении Короткина - справа (рис. 1, с). Окончательное решение находим путем разворота нагрузки на 180° , т. е. переноса начала координат из точки C_1 в точку C за счет изменения знаков при координатах x на обратные. В окончательных решениях для полосы индексы «1» и «2», относящиеся к новым осям y_1 , x_1 и y_2 , опускаем. Так получены значения компонентов касательных напряжений $\tau_{yz\Delta, str}$, $\tau_{zx\Delta, str}$ и $\tau_{xy\Delta, str}$, а также нормальных напряжений $\sigma_{x\Delta, str}$ и $\sigma_{y\Delta, str}$.

2.1. Касательные напряжения

Эти напряжения выражаются формулами:

$$\tau_{yz\Delta, str} = \frac{p_0}{2\pi} \frac{z^2}{b} \left\{ \frac{1}{R_1} \left[1 + \frac{x(x-b)}{y^2 + z^2} \right] - \frac{1}{R_2} \left[1 + \frac{x^2}{y^2 + z^2} \right] \right\}, \quad (2)$$

$R_1 = \sqrt{(x-b)^2 + y^2 + z^2}$, $R_2 = \sqrt{x^2 + y^2 + z^2}$, $m_1 = x-b$, $m_2 = x$.

$$\tau_{zx\Delta, str} = -\frac{p_0}{2\pi} \left\{ \frac{z^2}{R_1^2} \left[1 + \frac{y}{R_1} \right] + \frac{z}{b} \left[\arctg \frac{x-b}{z} - \arctg \frac{x}{z} + \arctg \frac{(x-b)y}{zR_1} - \arctg \frac{xy}{zR_2} \right] \right\}. \quad (3)$$

Формула (3) представляет полосу с началом координат в точке C - рис. 1, б, простирающуюся от $y=0$ до $y \rightarrow \infty$. Прибавив к ней такое же выражение, но с обратными знаками при y , отвечающее полосе, с координатами от $y=0$ до $y \rightarrow -\infty$, приходим к решению Герсеванова (1933) для полосы бесконечной длины в виде

$$\tau_{zx\Delta, strG} = \frac{p_0}{\pi} \left\{ \frac{z^2}{(x-b)^2 + z^2} + \frac{z}{b} \left[\arctg \frac{x-b}{z} - \arctg \frac{x}{z} \right] \right\}. \quad (4)$$

Здесь $\tau_{zx\Delta, str} = const$ на всем протяжении полосы. Далее имеем

$$\tau_{xy\Delta, str} = -\frac{p_0}{2\pi b} \left\{ \frac{bz}{R_1} + z \ln \frac{R_2 - m_2}{R_1 - m_1} - (1 - 2\nu) \left[z \ln \frac{R_1 - m_1}{R_2 - m_2} - m_2 \ln \frac{R_1 + z}{R_2 + z} - b + y \left(-\arctg \frac{m_1}{y} + \arctg \frac{m_2 z}{y R_1} \right)^{m_1} \right] \right\}, \quad (5)$$

где ν - коэффициент поперечной деформации.

Для раскрытия выражений с индексом i здесь и далее используется формула (6)

$$F_i = F_1 - F_2. \quad (6)$$

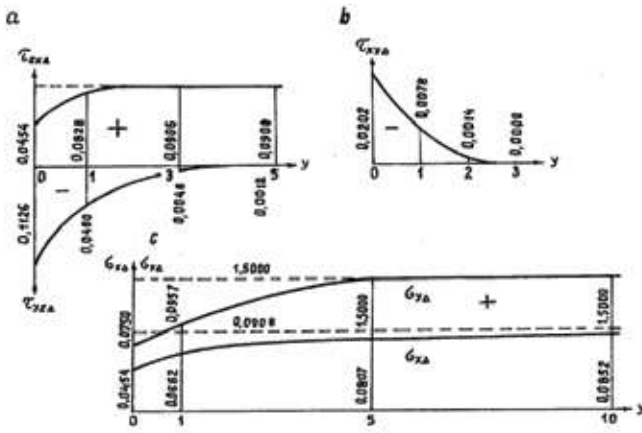


Рис 2. Графики распределения напряжений под полосой полубесконечной длины: а – напряжения $\tau_{x\Delta,стр}$ и $\tau_{y\Delta,стр}$; б – напряжения $\tau_{xy\Delta,стр}$; в – напряжения $\sigma_{x\Delta,стр}$ и $\sigma_{y\Delta,стр}$.

Графики распределения компонентов касательных напряжений, построенные на численных примерах для безразмерных значений ширины полосы и координат на вертикалях, проведенных через точки, лежащие на геометрической оси полосы, приведены на рис. 2, а и б. В численных примерах принято: $b=2$, $\nu=0,3$, $x=z=1$, $0 \leq y \leq 5$ и $0 \leq y \leq \infty$.

Из полученных формул и графиков следует, что: в основании полосы бесконечной длины (плоская задача) касательные напряжения $\tau_{y\Delta,стр}$ и $\tau_{xy\Delta,стр}$ отсутствуют; в основании полосы полубесконечной длины (пространственная задача) эти напряжения возникают за счет влияния свободного торца, причем в торце ($y=0$) они максимальны и практически затухают на расстоянии $y \cong 2,5b$ от него; напряжения $\tau_{x\Delta,стр}$, возникающие в основании полосы бесконечной длины, под полубесконечной полосой на расстоянии $y \cong 2,5b$ возрастают в два раза от половинного значения в торце до значения, отвечающего формуле (4) и сохраняют это значение вплоть до бесконечности.

2.2. Нормальные напряжения $\sigma_{x\Delta,стр}$ и $\sigma_{y\Delta,стр}$

Они выражаются формулами:

$$\sigma_{x\Delta,стр} = \frac{p_0}{2\pi b} \left[2z \ln \frac{R_1 + y}{R_2 + y} + \frac{m_1 b z}{m_1^2 + z^2} \left(1 + \frac{y}{R_1} \right) - (1 - 2\nu) y \ln \frac{R_1 + z}{R_2 + z} - m_2 \left(\arctg \frac{m_i}{z} + \arctg \frac{m_i y}{z R_i} \right)_{m_2}^{m_1} + (1 - 2\nu) m_2 \left(\arctg \frac{m_i}{y} - \arctg \frac{m_i z}{y R_i} \right)_{m_2}^{m_1} \right]. \quad (7)$$

Для перехода от формулы (7) к формуле, выражающей напряжения $\sigma_{x\Delta,стрG}$ в основании полосы бесконечной длины, поступаем так же, как и при выводе формулы (4). При этом находим

$$\sigma_{x\Delta,стрG} = \frac{p_0}{2\pi} \left[\frac{z}{b} \ln \frac{(x-b)^2 + z^2}{x^2 + z^2} - \frac{x}{b} \left(\arctg \frac{x-b}{z} + \arctg \frac{x}{z} \right) + \frac{(x-b)z}{(x-b)^2 + z^2} \right], \quad (8)$$

что также полностью соответствует решению Герсеванова [3].

$$\sigma_{y\Delta,стр} = \frac{p_0}{2\pi b} \left\{ z \ln \frac{R_1 + y}{R_2 + y} - (1 - 2\nu) \left[y \ln \frac{R_1 + z}{R_2 + z} + z \ln \frac{R_1 + y}{R_2 + y} \right] + m_2 \left[\frac{yz}{m_2 R_i} + \frac{m_i y z}{(y^2 + z^2) R_i} - \arctg \frac{m_i}{z} - \arctg \frac{m_i y}{z R_i} + (1 - 2\nu) \left(-\arctg \frac{m_i}{y} + \arctg \frac{m_i}{z} + \frac{m_i R_i}{yz} \right) \right] \right\}. \quad (9)$$

Для полосы бесконечной длины получаем

$$\sigma_{y\Delta,стрK} = \frac{p_0}{\pi b} \nu \left[z \ln \frac{(x-b)^2 + z^2}{x^2 + z^2} + 2x \left(-\arctg \frac{x-b}{z} + \arctg \frac{x}{z} \right) \right]. \quad (10)$$

Выражение (10) можно получить также из обобщенного закона Гука. При $\epsilon_y=0$ получаем

$$\sigma_y = \nu(\sigma_x + \sigma_z). \quad (11)$$

Подставляя в (11) значения напряжений для плоской деформации: $\sigma_{x\Delta,стр}$ из (8) и σ_z из решения Гереванова [3], получаем результат в точности совпадающий с (10).

Графики (рис. 2, в) распределения компонентов нормальных напряжений $\sigma_{x\Delta,стр}$ и $\sigma_{y\Delta,стр}$ построены для тех же параметров, которые были приняты в рис. 2, а и б.

Как видим, значения компонентов нормальных напряжений в торце полубесконечной полосы равны половине значений тех же напряжений под бесконечной полосой. Далее они быстро ($\sigma_{y\Delta,стр}$) или медленно ($\sigma_{x\Delta,стр}$) возрастают, асимптотически приближаясь к напряжениям под бесконечной полосой. Погрешность вычислений значений $\sigma_{y\Delta,стр}$ составила от 1,6 до 2,3 %.

3. НАПРЯЖЕНИЯ В ОСНОВАНИИ ПРЯМОУГОЛЬНИКА

Короткин в [2] определил все компоненты напряжений и перемещений под прямоугольным фундаментом исходя из предложенной академиком Галеркиным функции напряжений, причем конечные формулы представлены в чрезвычайно сложном виде. Сложность вычисления напряжений в основании равномерно нагруженного прямоугольного фундамента по этим формулам обусловила необходимость использования для этих целей метода угловых точек.

Универсальное решение пространственной задачи для полосы полубесконечной длины из упоминавшейся работы Кушнера, позволяет с помощью метода суперпозиции легко определить напряженное состояние в основании прямоугольного фундамента.

Для определения напряженного состояния в основании нагруженного равномерной (p) или треугольной (максимальная ордината p_0), нагрузкой гибкого прямоугольного фундамента методом суперпозиции следует из формул, определяющих напряженное состояние в основании полосы I полубесконечной длины, вычесть выражения, представленные аналогичными формулами для данного вида нагрузки, отвечающими напряженному состоянию под также нагруженной полосой II (рис. 3).

Начало координат соответственно полос I и II и прямо-

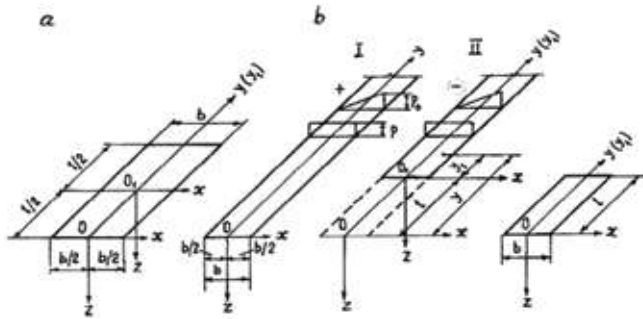


Рис 3. К определению напряженного состояния в основании прямоугольного фундамента методом суперпозиции: а - перенос осей координат в прямоугольном фундаменте; б - определение напряжений под прямоугольным фундаментом.

угольного фундамента:

при равномерной нагрузке $[x=0, y=0, z=0]$ и $[x=0, y=l, z=0]$;

при треугольной нагрузке $[x=-b/2, y=0, z=0]$ и $[x=-b/2, y=l, z=0]$ (на рис. 3 не показано).

В обоих случаях $y_1=y-l, l$ - длина фундамента.

Поскольку оси $y(y_1)$ переносятся в угловую точку (совмещаются со стороной полосы, на которой внешняя нагрузка равна нулю), то новые координаты начала координат будут соответственно $[x=0, y=0, z=0]$ и $[x=0, y=l, z=0]$.

После несложных преобразований приходим к более простым формулам для определения напряжений σ_z , а также других компонентов напряжений на произвольной вертикали, проведенной через точки поверхности, расположенные как внутри так и вне загруженного прямоугольного фундамента.

Эти формулы при равномерной нагрузке имеют вид:

$$\sigma_z = \frac{p}{2\pi} \left\{ \arctg \frac{m_i y}{z R_i} - \arctg \frac{m_i (y-l)}{z R_{iy_1}} + \frac{m_i y z}{R_i} \left[\frac{1}{m_i^2 + z^2} + \frac{1}{y^2 + z^2} \right] - \frac{m_i (y-l) z}{R_{iy_1}} \left[\frac{1}{m_i^2 + z^2} + \frac{1}{(y-l)^2 + z^2} \right] \right\}_{m_2} ; \quad (12)$$

$$\sigma_x = \frac{p}{2\pi} \left\{ \arctg \frac{m_i y}{z R_i} - \arctg \frac{m_i (y-l)}{z R_{iy_1}} + \frac{m_i z}{m_i^2 + z^2} \left[-\frac{y}{R_i} + \frac{y-l}{R_{iy_1}} \right] + 2(1-2\nu) \left[\arctg \frac{R_i - m_i + z}{y-l} - \arctg \frac{R_{iy_1} - m_i + z}{y-l} \right] \right\}_{m_2} ; \quad (13)$$

$$\sigma_y = \frac{p}{2\pi} \left\{ \arctg \frac{m_i y}{z R_i} - \arctg \frac{m_i (y-l)}{z R_{iy_1}} - m_i z \left[\frac{y}{(y^2 + z^2) R_i} - \frac{y-l}{[(y-l)^2 + z^2] R_{iy_1}} \right] + 2(1-2\nu) \left[\arctg \frac{R_i - y + z}{m_i} - \arctg \frac{R_{iy_1} - y + l + z}{m_i} \right] \right\}_{m_2} ; \quad (14)$$

$$\tau_{xy} = \frac{p}{2\pi} \left[\frac{z}{R_i} - \frac{z}{R_{iy_1}} + (1-2\nu) \ln \frac{R_i + z}{R_{iy_1} + z} \right]_{m_2}^{m_1} ; \quad (15)$$

$$\tau_{yz} = \frac{p}{2\pi} m_i z^2 \left[-\frac{1}{(y^2 + z^2) R_i} + \frac{1}{[(y-l)^2 + z^2] R_{iy_1}} \right]_{m_2}^{m_1} ; \quad (16)$$

$$\tau_{zx} = \frac{p}{2\pi} \frac{z^2}{m_i^2 + z^2} \left[-\frac{y}{R_i} + \frac{y-l}{R_{iy_1}} \right]_{m_2}^{m_1} , \quad (17)$$

где

$$m_1 = x + b/2 ; m_2 = x - b/2 ; R_1 = \sqrt{m_1^2 + y^2 + z^2} ;$$

$$R_2 = \sqrt{m_2^2 + y^2 + z^2} ; R_{1y_1} = \sqrt{m_1^2 + (y-l)^2 + z^2} ;$$

$$R_{2y_1} = \sqrt{m_2^2 + (y-l)^2 + z^2} .$$

Значения напряжений, отвечающих формулам (12) – (17) и в последующих формулах, также вычисляются на основании формулы (6).

Исходя из анализа формулы (12) в таблице 1 приведены значения контактных давлений p непосредственно под подошвой фундамента при $z=0$.

Как видим, если под жестким фундаментом крайевые ординаты эпюры контактных давлений теоретически бес-

Таблица 1. Контактные давления под гибким прямоугольным фундаментом

Контактные давления в точках фундамента				
центральной	произвольной	на меньшей стороне	на большей стороне	угловой
$x=0, y=l/2$	$-b/2 < x, x < b/2, 0 \leq y < l$	$-b/2 < x, x < b/2, y=0, y=l$	$x=\pm b/2, 0 \leq y < l$	$x=\pm b/2, y=0, y=l$
p	p	$p/2$	$p/2$	$p/4$

конечно велики (в натуре в результате пластических деформаций «пики» срезаются), то под гибким фундаментом крайевые ординаты ниже среднего давления p под подошвой.

Из анализа следует, что полученные формулы удовлетворяют граничным условиям и условиям на бесконечности; напряжения, действующие по площадкам, параллельным ограничивающей плоскости ($\sigma_z, \tau_{yz}, \tau_{zx}$), в пространственной задаче не зависят от упругих постоянных, что отвечает первой основной граничной задаче теории упругости.

После переноса начала координат в центр фундамента путем подстановки $l/2+y_1=y$ и сравнения с решением Короткина было показано, что:

формулы (12), (16) и (17), а также члены формул (13), (14) и (15), не зависящие от коэффициента поперечной деформации, полностью отвечают этому решению;

члены формул (13), (14) и (15), зависящие от этого коэффициента, в нашем решении и у Короткина, как и в решении для полосы полубесконечной длины, представлены различными выражениями;

численные расчеты подтверждают идентичность обоих решений и для полубесконечной полосы и для прямоугольного фундамента.

Таким образом, правые и левые части приведенной для

примера формулы (18) (слева наше решение, справа решение Короткина), тождественно равны, т. е. для σ_z имеем:

$$\frac{p}{2\pi} \left\{ \dots + 2(1-2\nu) \cdot \left[\arctg \frac{\sqrt{(x+b/2)^2 + (y_1+l/2)^2 + z^2} - y_1 - l/2 + z}{x+b/2} - \arctg \frac{\sqrt{(x-b/2)^2 + (y_1+l/2)^2 + z^2} - y_1 - l/2 + z}{x-b/2} - \arctg \frac{\sqrt{(x+b/2)^2 + (y_1-l/2)^2 + z^2} - y_1 + l/2 + z}{x+b/2} + \arctg \frac{\sqrt{(x-b/2)^2 + (y_1-l/2)^2 + z^2} - y_1 + l/2 + z}{x-b/2} \right] \right\} \\ \equiv \frac{p}{2\pi} \left\{ \dots + 2(1-2\nu) \cdot 0,5 \left[\arctg \frac{x-b/2}{y_1-l/2} + \arctg \frac{x+b/2}{y_1+l/2} - \arctg \frac{x-b/2}{y_1+l/2} - \arctg \frac{x+b/2}{y_1-l/2} - \arctg \frac{(x+b/2)\sqrt{(x+b/2)^2 + (y_1+l/2)^2 + z^2}}{(y_1+l/2)z} + \arctg \frac{(x-b/2)\sqrt{(x-b/2)^2 + (y_1+l/2)^2 + z^2}}{(y_1+l/2)z} + \arctg \frac{(x+b/2)\sqrt{(x+b/2)^2 + (y_1-l/2)^2 + z^2}}{(y_1-l/2)z} - \arctg \frac{(x-b/2)\sqrt{(x-b/2)^2 + (y_1-l/2)^2 + z^2}}{(y_1-l/2)z} \right] \right\}. \quad (18)$$

Аналогичное выражение можно записать и для σ_x .

Пример 1. Найденные по формуле (12) напряжения σ_z в точке с безразмерными координатами $x=b/4=1$, $y=3l/4=6$, $z=2$ в основании загруженного равномерной нагрузкой интенсивностью p прямоугольного фундамента размерами $b=4$ и $l=8$ равны $\sigma_z = 0,669p$. Напряжения в той же точке, полученные на основании метода угловых точек, составляют $\sigma_z = 0,678p$. Расхождение в 1,3% обусловлено несколько меньшей точностью вычислений с помощью таблиц по методу угловых точек.

Пример 2. В табл. 2 в безразмерных координатах $x=0$, y от 0 до l представлено распределение напряжений σ_z в долях от равномерной нагрузки интенсивностью p на глубине $z=1$ в основании прямоугольного фундамента габаритами $b=2$, $l=12$, $\eta=l/b=6$.

Если на краевых вертикалях напряжения равны половине напряжений под центром фундамента, то на расстояниях, равных b или $(0,167l)$ от торцов фундамента, они возрастают практически в два раза до значений $(0,810...0,818)p$ и остаются постоянными. Таким образом, уже при отношении сторон рассматриваемого прямоугольного фундамента

Таблица 2. Распределение напряжений σ_z вдоль продольной оси фундамента

y_b	0,0	0,25	0,50	1,0	1,5	2,0
y_l	0,0	0,042	0,083	0,167	0,250	0,333
σ_z	0,409	0,650	0,760	0,810	0,813	0,818
y_b	4,0	4,5	5,0	5,5	5,75	6,0
y_l	0,667	0,750	0,833	0,917	0,958	1,0
σ_z	0,818	0,813	0,810	0,760	0,650	0,409

$\eta=1/6(l=6b)$ на участке длиной $4b$ ($0,667l$) имеет место плоская задача, т. е. этот участок работает в условиях плоской деформации.

В некоторых работах, например, в работе Горбунова-Посадова, Маликовой, Соломина [4] указывается, что если длина опорной площади конструкции превышает ее ширину более чем в три раза, применение схемы плоской деформации может считаться допустимым. Считаем, что в таких условиях влияние торцов будет чрезвычайно велико. На наш взгляд в российских нормах проектирования оснований [5] при расчете осадок к ленточным фундаментам (условия плоской деформации) обоснованно отнесены полосы с отношением сторон $\eta=l/b \geq 10$.

Полученная таким образом формула, определяющая значения σ_z от треугольной нагрузки на произвольной вертикали в основании прямоугольного фундамента, дает результаты, которые полностью совпадают с результатами, вытекающими из решения Короткина.

Анализ формулы, определяющей напряжения σ_z , показывает что:

при $z=0$, $x=b$ и $0 < y < l$ контактное давление вдоль длинной стороны фундамента под максимальной ординатой треугольной нагрузки равно

$$\sigma_{z(z=0)} = p_0 \frac{b}{2\pi b} \left(\frac{\pi}{2} + \frac{\pi}{2} \right) = \frac{p_0}{2}; \quad (19)$$

при $z=0$ и абсциссе x , представленной периодической десятичной дробью $x < 0,(9)b$ и $0 < y < l$ контактное давление составит

$$\sigma_{z(z=0)} = p_0 \frac{0,(9)b}{2\pi b} \left(\frac{\pi}{2} + \frac{\pi}{2} + \frac{\pi}{2} + \frac{\pi}{2} \right) = 0,(9)p_0; \quad (20)$$

при $z=0$, $x=0,(9)b$, $0 < y < l$ и движении вдоль оси x к оси y контактное давление соответственно снижается от $0,(9)p_0$ до 0.

Это решение также совпадает с решением Короткина [2].

ВЫВОДЫ

1. Совпадение решений, полученных различными способами, свидетельствует об их высокой точности.
2. Выражения, определяющие все компоненты напряжений в основании равномерно загруженного прямоугольного фундамента по данному решению, даже в развернутом виде, проще, чем по решению Короткина (содержат меньшее число членов), что связано с размещением начала координат в одном из торцов фундамента.
3. Формула (12) может использоваться наряду с методом угловых точек, причем по ней могут быть составлены таблицы.

4. Приведенные решения позволяют:
- в случае решения одной из задач для любых видов нагрузки на поверхности легко перейти к решению второй задачи, т. е. от нагруженного прямоугольника к нагруженной полосе полубесконечной протяженности и наоборот.
 - решать, при известных значениях всех компонентов напряжений, упруго-пластические задачи;
 - определять компоненты напряжений в основаниях насыпей трапециoidalной формы;

- точнее учитывать воздействие компонентов напряжений от примыкающих насыпей на основания устоев мостов, путепроводов, начальных участков плотин и других сооружений, а также влияние свободных торцов в пристройках на ленточных фундаментах;
- в некоторых случаях использовать найденные решения для определения горизонтального давления на подпорные сооружения на основе теории упругости

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРА

1. Кушнер С. Расчет деформаций оснований зданий и сооружений. Запорожье, 2008. 490 с.
2. Короткин В. Объемная задача для упруго-изотропного полупространства, Сборник Гидропроекта № 4, 1938. С. 52-83.
3. Герсеванов Н. Общий метод теории упругости. Определение напряжений в грунте при заданной нагрузке на поверхности. Труды ВИОС. Основания и фундаменты. Сборник № 1, 1933. С.16-38.
4. Горбунов-Посадов М, Маликова Т., Соломин В. Расчет конструкций на упругом основании. Москва, 1984. 680 с.
5. СНиП 2.02.01.83* Основания зданий и сооружений. 1995.

Початок дивись стор. 3

- оптимізації економічних показників технічних рішень будівель таспоруд.
2. Відзначити необхідність залучення Українського товариства з геотехніки до розвитку нормативної бази з проблем геотехнічного проектування на основі міжнародного та вітчизняного досвіду.
 3. Вважати перспективними напрямками діяльності з науково-технічних проблем геотехніки, механіки ґрунтів та фундаментобудування:
 - захист будівель і споруд від наднормативних деформацій ґрунтових основ та складних геологічних впливів, в т. ч. з урахуванням спільної роботи основ - фундаментів - конструкцій;
 - розвиток та впровадження ефективних методів ущільнення та покращення якості ґрунтів;
 - продовження досліджень та розробку технічних рішень будівель і споруд на підроблюваних територіях;
 - врахування тенденцій підтоплення територій та водонасичення ґрунтів;
 - розвиток методів підсилення основ та фундаментів існуючих будівель та споруд (в т. ч. пам'яток історії та архітектури), їх моніторингу та ліквідації наднормативних кренів;
 - вивчення та використання передових українських науково-технічних рішень та міжнародного досвіду в геотехніці;
 - оснащення науково-дослідних установ та виробничих організацій сучасною випробувальною технікою для забезпечення розвитку нормативної бази.
 4. Відзначити, що впровадження Єврокодів у геотехнічне проектування дозволяє використовувати Європейський досвід та передові технології, що забезпечує зниження витрат при будівництві звичайних споруд до 20-40 % та підвищення надійності фундаментів на слабких ґрунтах. Процедура імплементації Єврокодів вимагає від науковців реалізації вимог щодо застосування загальноприйнятих визначень, класифікації ґрунтів та фундаментів, розрахункових моделей тощо. Потрібна дискусія фахівців щодо змісту національних додатків до Єврокодів та інформації відносно тих параметрів, що залишаються відкритими в Єврокодах для національного вибору. Для реалізації питань, пов'язаних з імплементацією Єврокодів, створити відповідну робочу групу у складі президії Українського товариства з механіки ґрунтів, геотехніки та фундаментобудування.

5. Звернути увагу вищих навчальних закладів на необхідність зміни навчальних програм у зв'язку з імплементацією Єврокодів в будівельній галузі.
6. Розширити взаємодію з виробничниками для впровадження іновативних технічних рішень.
7. Поінформувати про результати проведеної конференції Мінрегіон та МОН України, а також Кабінет Міністрів та профільні комітети ВР.
8. Рекомендувати звернутися до МОН і Мінрегіону України з метою покращення підготовки студентів та інженерів-будівельників до проектування і будівництва об'єктів за Європейськими стандартами.
9. При внесенні змін до статуту Українського товариства з геотехніки:
 - привести назву Товариства у відповідність до назви Міжнародного товариства;
 - зменшити квоту голосування при проведенні зборів (конференцій) та обранні керівних органів;
 - привести Статут Товариства у відповідність з вимогами законодавства до неприбуткових організацій.
10. Наступну конференцію провести в 2018-2019 р.р. в м. Запоріжжі.
 - Вважати доцільним провести також молодіжну конференцію з питань геотехніки, її взаємодії з будівельними конструкціями та з врахуванням природних і техногенних впливів.



Ключова доповідь на засіданні экс-віце президента ISSMGE
Ivana Vanicheka (м. Прага, Чехія).