

УДК 624.073.02

https://doi.org/10.33619/2414-2948/76/31

НАПРЯЖЕННО-ДЕФОРМИРОВАННОЕ СОСТОЯНИЕ БЕСКОНЕЧНОЙ ПЛИТЫ НА ДЕФОРМИРУЕМОМ ОСНОВАНИИ В ЗАВИСИМОСТИ ОТ ЗНАЧЕНИЙ КОЭФФИЦИЕНТА ПРОПОРЦИОНАЛЬНОСТИ ПРОДОЛЬНЫХ УСИЛИЙ

©**Маруфий А. Т.**, ORCID: 0000-0003-4128-8892, SPIN-код: 5546-6120, д-р техн. наук, Ошский технологический университет, г. Ош, Кыргызстан, oshtu-marufi@rambler.ru

©**Рысбекова Э. С.**, ORCID: 0000-0002-1894-577X, SPIN-код: 5443-7863, канд. техн. наук, Ошский технологический университет, г. Ош, Кыргызстан, e.rysbekova@mail.ru

©**Калыков А. С.**, ORCID: 0000-0003-0145-8833, SPIN-код: 4460-7843, Государственный институт сейсмостойкого строительства и инженерного проектирования, г. Бишкек, Кыргызстан, Dzhalil_8@mail.ru

STRESS-STRAIN STATE OF AN INFINITE PLATE ON A DEFORMABLE BASE DEPENDING ON THE VALUES OF THE PROPORTIONALITY COEFFICIENT OF LONGITUDINAL FORCES

©**Marufiy A.**, ORCID: 0000-0003-4128-8892, SPIN-code: 5546-6120, Dr. habil., Osh Technological University, Osh, Kyrgyzstan, oshtu-marufi@rambler.ru

©**Rysbekova E.**, ORCID: 0000-0002-1894-577X, SPIN-code: 5443-7863, Ph.D., Osh Technological University, Osh, Kyrgyzstan, e.rysbekova@mail.ru

©**Kalykov A.**, ORCID: 0000-0003-0145-8833, SPIN-code: 4460-7843, State Institute Seismic Construction and Engineering Design, Bishkek, Kyrgyzstan, Dzhalil_8@mail.ru

Аннотация. В данной статье проведено исследование напряженно-деформированного состояния величины коэффициента пропорциональности продольных усилий, приложенных в срединной плоскости бесконечной плиты. Исследование проведено в случае неполного контакта бесконечной плиты с упругим основанием, в виде двух траншей, расположенных симметрично оси Y. Целью исследования является установление зависимости напряженно-деформированного состояния от величины коэффициента пропорциональности интенсивности продольных растягивающих и сжимающих усилий, приложенных в срединной плоскости бесконечной плиты и неполного контакта плиты. Проведен подробный анализ полученных результатов исследования. Результаты исследования могут быть использованы при проектировании фундаментов зданий и сооружений на просадочных грунтах.

Abstract. In this article, a study of the stress-strain state of the magnitude of the coefficient of proportionality of longitudinal forces applied in the middle plane of an endless slab was carried out. The study was carried out in the case of incomplete contact of an endless slab with an elastic foundation, in the form of two trenches located symmetrically to the Y axis. plate contact. A detailed analysis of the results of the study was carried out. The results of the study can be used in the design of foundations for buildings and structures on subsiding soils.

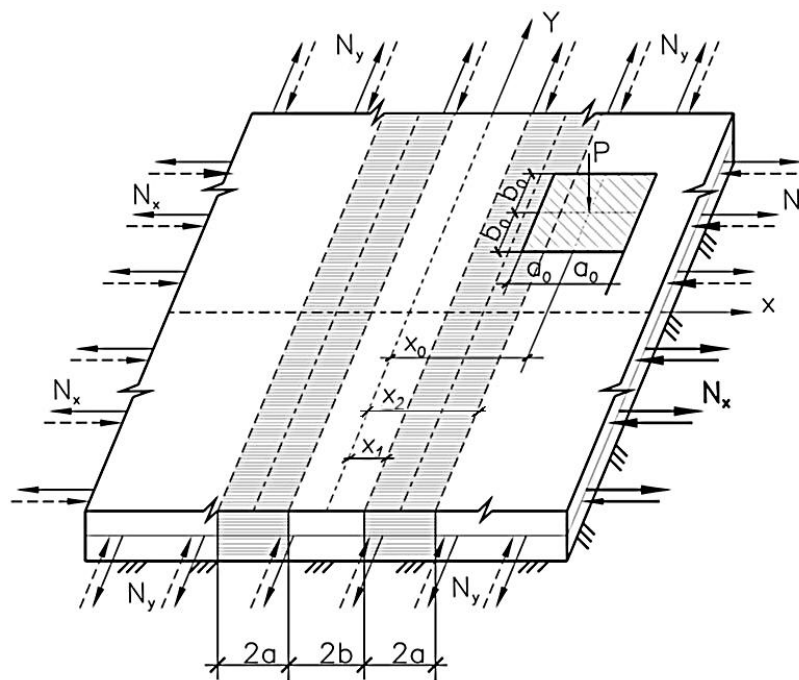
Ключевые слова: деформированное состояние, фундамент, коэффициент пропорциональности, расчетная схема, неполный контакт, интенсивность усилий, срединная плоскость, прогиб, гибкая плита, изгибающий момент, просадочный грунт.

Keywords: deformed state, foundation, proportionality factor, design scheme, incomplete contact, effort intensity, midplane, deflection, flexible slab, bending moment, subsidence soil.

Введение

Проектировщики в процессе профессиональной деятельности, встречаются с задачами расчета фундаментов зданий и сооружений на просадочных грунтах. Эти грунты особенно при эксплуатации зданий дают просадку (провал), т. е. неполный контакт конструкции фундаментов с грунтом [1, с. 71; 2, с. 150]. Неполный контакт также встречается при прохождении под зданиями всевозможных инженерных коммуникаций. Явление продольных усилий, приложенных в срединной плоскости встречается в практике проектирования при предварительном натяжении арматуры конструкций фундаментов.

Целью исследования является установление зависимости напряженно-деформированного состояния от величины коэффициента пропорциональности интенсивности продольных растягивающих и сжимающих усилий, приложенных в срединной плоскости бесконечной плиты и неполного контакта в виде двух траншей, расположенных симметрично вдоль оси Y (Рисунок 1).



 — участок неполного контакта

Рисунок 1. Расчетная схема бесконечной плиты на упругом основании с учетом влияния продольных усилий, расположенных в срединной плоскости плиты и неполного контакта в виде двух траншей, расположенных симметрично оси Y

Методы исследования

На основе ранее полученных авторами аналитических решений, которые получены методом обобщенных решений с использованием интегральных преобразований Фурье составлена программа в среде Delphi и вывод графиков осуществлялся с помощью программы AutoCAD [3, с. 10].

Результаты и обсуждение исследования.

Рассмотрим случай, когда внешняя нагрузка в центральной части и неполный контакт в виде двух траншей достаточно гибкой фундаментной плиты с грунтом расположен симметрично вдоль оси Y, шириной $2a=1,2$ в безразмерных величинах достаточно гибкой фундаментной плиты. В этом случае плита может быть рассчитана по расчетной схеме бесконечной плиты.

В задаче также учтены продольные растягивающие и сжимающие усилия, приложенные в срединной плоскости бесконечной плиты [4, с. 27; 5, с. 15; 6, с. 66].

Дифференциальное уравнение изгиба бесконечной плиты на Винклеровском упругом основании с учетом неполного контакта, в виде двух траншей, расположенных симметрично вдоль оси Y и продольные растягивающих и сжимающих усилий, приложенных в срединной плоскости плиты имеет вид:

$$D\nabla\nabla\omega(x, y) + K_0[\theta(x-a) + \theta(x-b-2a)]\omega(x, y) - \tag{1}$$

$$-N_x \frac{\partial^2\omega(x, y)}{\partial x^2} - N_y \frac{\partial^2\omega(x, y)}{\partial y^2} - 2N_{xy} \frac{\partial^2\omega(x, y)}{\partial x\partial y} = q_0(x, y)$$

где D - цилиндрическая жесткость плиты, определяется по формуле:

$$D = \frac{Eh^3}{12(1-\nu^2)}; \text{ здесь } \nu = \frac{1}{6} - \text{ коэффициент Пуассона материала плиты;}$$

h - толщина плиты; K_0 — коэффициент постели грунта;

$\theta(x-a)$ и $\theta(x-b-2a)$ — функция Хевисайда, введение которой позволяет учесть отсутствие основания под частью плиты; $2a$ – ширина, a – полуширина траншеи;

$$\Delta = \frac{\partial^2}{\partial x^2} + \frac{\partial^2}{\partial y^2} - \text{оператор Лапласа} \tag{2}$$

N_x, N_y — интенсивность растягивающих или сжимающих продольных усилий, приложенных в срединной плоскости бесконечной плиты вдоль осей X и Y, они считаются положительными при растяжении и отрицательными при сжатии; N_{xy} — интенсивность касательных усилий, приложенных в срединной плоскости плиты;

В связи с малой интенсивностью N_{xy} , не снижая общности задачи принимаем равным нулю. С учетом формулы (2), выражение (1) запишем в виде:

$$\left(\frac{\partial^2\omega(x, y)}{\partial x^2} + \frac{\partial^2\omega(x, y)}{\partial y^2}\right)\left(\frac{\partial^2\omega(x, y)}{\partial x^2} + \frac{\partial^2\omega(x, y)}{\partial y^2}\right) + K_0[\theta(x-a) + \theta(x-b-2a)]\omega(x, y) - \tag{3}$$

$$-N_x \frac{\partial^2\omega(x, y)}{\partial x^2} - N_y \frac{\partial^2\omega(x, y)}{\partial y^2} = q_0(x, y)$$

Раскрыв скобки получим:

$$\frac{\partial^2\omega(x, y)}{\partial x^4} + 2\frac{\partial^4\omega(x, y)}{\partial x^2\partial y^2} + \frac{\partial^4\omega(x, y)}{\partial y^4} + K_0[\theta(x-a) + \theta(x-b-2a)]\omega(x, y) - \tag{4}$$

$$-N_x \frac{\partial^2\omega(x, y)}{\partial x^2} - N_y \frac{\partial^2\omega(x, y)}{\partial y^2} = q_0(x, y)$$

В ранее проведенных авторами исследованиях рассматривались задачи изгиба бесконечной плиты с учетом неполного контакта с основанием в виде двух траншей, расположенных симметрично относительно оси Y в центральной части плиты. При этом также учитывались продольные усилия, приложенные в срединной плоскости бесконечной плиты [7, с. 256]. В этом случае максимальное значение прогиба и изгибающего момента в центре бесконечной плиты на винклеровском упругом основании без учета неполного контакта и влияния продольных усилий равны. На основании ранее полученных результатов исследований с учетом неполного контакта с основанием, в виде двух траншей с полушириной $b=0,1$; $a=0,6$ без учета продольных усилий минимальное значение прогиба и изгибающего момента равны [8, с. 19; 9, с. 137].

$$\omega_{\infty}(0,0)=0,1655; M_{\infty x}(0,001)=-0,2001$$

$$\omega_{\infty}(0,0)=0,1249 \text{ и } M_{\infty x}(0,001)=-0,2910 \text{ в безразмерных величинах.}$$

А результаты с одновременным учетом неполного контакта бесконечной плиты с основанием в виде двух траншей с полушириной $a=0,6$; $b=0,1$ и продольных растягивающих усилий по осям X и Y значение максимального прогиба $\omega_{\infty}^p = 0,1266$, а значения максимального прогиба $\omega_{\infty}^{c\pi c} = 0,2369$, а максимального изгибающего момента $M_{\infty x}^p = -0,1587$, а максимального прогиба с учетом сжимающих продольных усилий по осям X и Y и тех же факторов $a=0,6$; $b=0,1$; $\omega_{\infty}^{c\pi c} = 0,2369$; $M_{\infty x}^{c\pi c} = -0,1481$

В данной статье проводимое исследование напряженно-деформированного состояния бесконечной плиты на винклеровском упругом основании при одновременном учете неполного контакта с основанием в виде двух траншей полушириной $a=0,6$; $b=0,1$, расположенных симметрично вдоль оси Y и продольных и растягивающих усилий, приложенных в срединной плоскости плиты, в зависимости от величины коэффициента пропорциональности α интенсивности продольных усилий, меняющаяся от $\alpha=\pm 0,1$ до $\alpha=\pm 0,5$. Исследование проведено при интенсивности продольных усилий $N=200$ т/м. В Таблице 1 приведены результаты расчета с учетом влияния продольных растягивающих и сжимающих усилий в двух направлениях по осям X и Y и неполного контакта с основанием в виде двух траншей, расположенных симметрично вдоль оси Y , при $a=0,6$; $b=0,1$ и $\alpha_n=\pm 0,5$.

Таблица 1

Результаты расчета бесконечной плиты на винклеровском упругом основании с учетом неполного контакта с основанием в виде двух траншей, расположенных вдоль оси Y и влияние продольных растягивающих и сжимающих усилий в двух направлениях по осям X и Y , при полуширине $a=0,6$; $b=0,1$ и коэффициента пропорциональности меняющимся в пределах $\alpha_n=0,1 \div 0,5$

α_n	По осям X и Y		По осям X и Y		Интенсивность продольных усилий, т/м
	$\omega_{\infty}^p(0,0)$	$M_{\infty x}^p(0,01)$	$\omega_{\infty}^{c\pi c}(0,0)$	$M_{\infty x}^{c\pi c}(0,01)$	
$\pm 0,1$	0,1266	-0,1587	0,2369	-0,1481	200
$\pm 0,2$	0,1194	-0,1619	0,2551	-0,1452	200
$\pm 0,3$	0,1134	-0,1635	0,2781	-0,1409	200
$\pm 0,4$	0,1069	-0,1668	0,3059	-0,1305	200
$\pm 0,5$	0,1009	-0,1847	0,3371	-0,1296	200

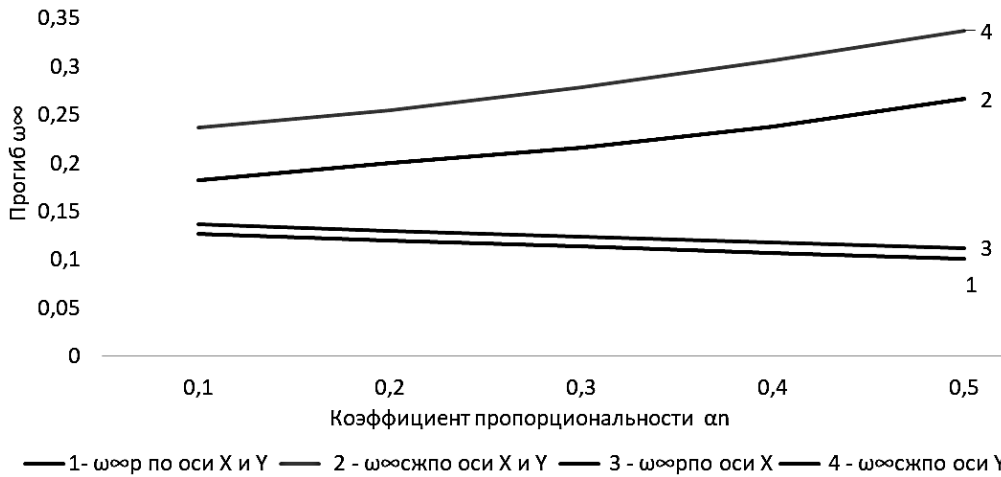


Рисунок 2. Эпюры прогибов $\omega(x,y)$ в бесконечной плите на винклеровском упругом основании с учетом неполного контакта с основанием в виде двух траншей, расположенных вдоль оси Y и влияние продольных растягивающих и сжимающих усилий в двух направлениях по осям X и Y , при полуширине $a=0,6$; $b=0,1$ и коэффициента пропорциональности меняющимся в пределах $\alpha_n=0,1 \div 0,5$

Таблица 2

Результаты расчета бесконечной плиты на винклеровском упругом основании с учетом неполного контакта с основанием в виде двух траншей, расположенных симметрично вдоль оси Y и влиянием продольных растягивающих и сжимающих усилий, приложенных в срединной плоскости плиты, только по оси X , при полуширине $a=0,6$; $b=0,1$ и коэффициента пропорциональности меняющимся в пределах $\alpha_n=0,1 \div 0,5$

α_n	По оси X		По оси Y		Интенсивность Продольных усилий, т/м
	$\omega_\infty^p(0.0)$	$M_{\text{ох}}^p(0.01)$	$\omega_\infty^{\text{сж}}(0.0)$	$M_{\text{ох}}^{\text{сж}}(0.01)$	
$\pm 0,1$	0,1364	-0,1714	0,1819	-0,1255	200
$\pm 0,2$	0,1299	-0,1748	0,2003	-0,1230	200
$\pm 0,3$	0,1237	-0,1765	0,2163	-0,1194	200
$\pm 0,4$	0,1179	-0,1801	0,2379	-0,1148	200
$\pm 0,5$	0,1123	-0,1819	0,2665	-0,1093	200

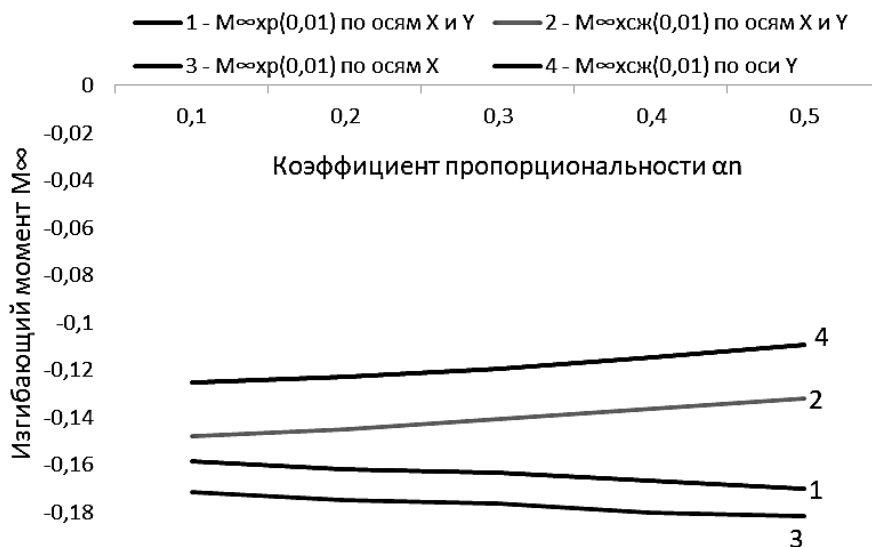


Рисунок 3. Эпюры изгибающих моментов $M_x(x,y)$ в бесконечной плите на винклеровском упругом основании с учетом неполного контакта с основанием в виде двух траншей, расположенных вдоль оси Y и влияние продольных растягивающих и сжимающих усилий в двух направлениях по осям X и Y , при полуширине $a=0,6$; $b=0,1$ и коэффициента пропорциональности меняющимся в пределах $\alpha_n=0,1 \div 0,5$

Выводы по Таблице 1: Анализ результатов расчета бесконечной плиты на винклеровском упругом основании с одновременным учетом неполного контакта с основанием в виде двух траншей, расположенных вдоль оси Y и полушириной $a=0,6$ и $b=0,1$ и влиянием продольных растягивающих усилий, приложенных в срединной плоскости плиты по осям X и Y , действующих в срединной плоскости плиты (Рисунок 2) показывает, что максимальный прогиб в центре плиты $\omega_{\infty}(0,0)$ уменьшается с увеличением коэффициента пропорциональности интенсивности продольных растягивающих усилий α_n . В частности, при $\alpha_n=\pm 0,1$ максимальный прогиб в центре плиты $\omega_{\infty}^p(0,0) = 0,1266$, а при $\alpha_n=\pm 0,5$ он равен $\omega_{\infty}^p(0,0) = 0,1009$, т. е. в 1,26 раза меньше. Изгибающий момент увеличивается с увеличением α_n , в частности при $\alpha_n=\pm 0,1$, значение $M_{\text{ох}}^p(0,01) = -0,1587$, то при $\alpha_n=\pm 0,5$, он равен $M_{\text{ох}}^p(0,01) = -0,1847$, т. е. увеличивается в 1,1 раза.

В случае одновременного учета неполного контакта с основанием, в виде двух траншей, расположенных симметрично вдоль оси Y и полушириной $a=0,6$ и $b=0,1$ и влиянием продольных растягивающих усилий, приложенных в срединной плоскости плиты по осям X и Y (рис. 1), результаты показывают, что максимальный прогиб в центре плиты увеличивается с увеличением коэффициента пропорциональности интенсивности продольных растягивающих усилий α_n .

При $\alpha_n = -0,1$ максимальный прогиб в центре плиты $\omega_{\infty}^{\text{сж}}(0,0) = 0,2329$, а при $\alpha_n = -0,5$, прогиб $\omega_{\infty}^{\text{сж}}(0,0) = 0,3371$, т. е. в 1,43 раза больше. Изгибающий момент уменьшается при $\alpha_n = -0,1$, он равен $M_{\text{ох}}^{\text{сж}}(0,01) = -0,1481$, а при $\alpha_n = -0,5$, он равен $M_{\text{ох}}^{\text{сж}}(0,01) = -0,1296$, т. е. уменьшается в 1,14 раза.

Выводы по Таблице 2: Анализ результатов расчета бесконечной плиты на винклеровском упругом основании с одновременным учетом неполного контакта с основанием в виде двух траншей, расположенных вдоль оси Y и полушириной $a=0,6$ и $b=0,1$ и влиянием продольных растягивающих усилий, приложенных в срединной плоскости плиты только по оси X (Рисунок 3) показывает, что в центре плиты максимальный прогиб также уменьшается, с увеличением коэффициента пропорциональности интенсивности продольных растягивающих усилий α_n . В частности, при $\alpha_n=+0,1$, максимальный прогиб равен $\omega_{\infty}^p(0,0) = 0,1364$, а при $\alpha_n=+0,5$, он равен $\omega_{\infty}^p(0,0) = 0,1123$, т. е. в 1,23 раза меньше. Изгибающий момент $M_{\text{ох}}^p(0,01)$, при $\alpha_n=+0,1$ равен $M_{\text{ох}}^p(0,01) = -0,1714$, а при $\alpha_n=+0,5$, он равен $M_{\text{ох}}^p(0,01) = -0,1819$, т. е. в 1,06 раза больше.

С учетом сжимающих продольных усилий только по оси X , максимальный прогиб в центре плиты увеличивается, в частности при $\alpha_n=-0,1$, максимальный прогиб равен $\omega_{\infty}^{\text{сж}}(0,0) = 0,1890$, а при $\alpha_n=-0,5$, он равен $\omega_{\infty}^{\text{сж}}(0,0) = 0,2665$, т. е. в 1,41 раза больше. Изгибающий момент уменьшается с увеличением α_n , в частности при $\alpha_n=-0,1$, максимальный изгибающий момент равен $M_{\text{ох}}^{\text{сж}}(0,01) = -0,1255$, а при $\alpha_n=-0,5$, он равен $M_{\text{ох}}^{\text{сж}}(0,01) = -0,1093$, т. е. в 1,15 раза меньше.

Список литературы:

1. Маруфий А. Т., Травуш В. И. Изгиб бесконечной плиты на упругом основании с неполным контактом с основанием // Научный вестник ФерГУ. 1995. №1-2. С. 71-77.

2. Маруфий А. Т. Изгиб различных схем плит на упругом основании с учетом неполного контакта с основанием. М.: Изд-во АСВ, 2003. 206 с.
3. Соколова Т. Ю. AutoCAD-2008. СПб.: Питер, 2008. 174 с.
4. Маруфий А. Т. Расчет плит на упругом основании при отсутствии основания под частью плиты // Основания, фундаменты и механика грунтов. 1999. №4. С. 27-31.
5. Коренев Б. Г., Черниговская Е. И. Расчет плит на упругом основании. М.: Госстройиздат, 1962. 355 с.
6. Маруфий А. Т., Рысбекова Э. С. Изгиб бесконечной плиты, лежащей на винклеровском упругом основании с учетом влияния продольных усилий и неполного контакта с основанием // Вестник КГУСТА. 2015. №2. С. 66-70.
7. Маруфий А. Т., Рысбекова Э. С., Капаров Ч. А. Численная реализация задачи об изгибе бесконечной плиты на упругом основании с учетом влияния продольных сжимающих усилий в одном направлении по оси x и неполного контакта с основанием, в виде одной траншеи вдоль оси Y // Инновации в науке. 2016. №4-2 (53). С. 45-52.
8. Маруфий А. Т., Рысбекова Э. С. Результаты расчета бесконечной плиты на упругом основании с учетом влияния продольных растягивающих усилий в двух направлениях по осям X и Y и неполного контакта с основанием, в виде двух траншей, расположенных под плитой симметрично относительно оси Y // Известия Ошского технологического университета. 2017. №2. С. 19-26.
9. Маруфий А. Т., Рысбекова Э. С. Результаты расчета бесконечной плиты на упругом основании с учетом влияния продольных сжимающих усилий в двух направлениях по осям X и Y и неполного контакта с основанием, в виде двух траншей, расположенных под плитой симметрично относительно оси Y // Известия ОшГУ. 2017. №3. С. 137-142.

References:

1. Marufii, A. T., & Travush, V. I. (1995). Izgib beskonechnoi plity na uprugom osnovanii s nepolnym kontaktom s osnovaniem. *Nauchnyi vestnik FerGU*, (1-2), 71-77. (in Russian).
2. Marufii, A. T. (2003). Izgib razlichnykh skhem plit na uprugom osnovanii s uchetom nepolnogo kontakta s osnovaniem. Moscow. (in Russian).
3. Sokolova, T. Yu. (2008). AutoCAD-2008. St. Petersburg. (in Russian).
4. Marufii, A. T. (1999). Raschet plit na uprugom pri otsutstvii osnovaniya pod chast'yu plity. *Osnovaniya, fundamenty i mekhanika gruntov*, (4), 27-31. (in Russian).
5. Korenev, B. G., & Chernigovskaya, E. I. (1962). Raschet plit na uprugom osnovanii. Moscow. (in Russian).
6. Marufii, A. T., & Rysbekova, E. S. (2015). Izgib beskonechnoi plity, lezhashchei na vinklerovskom uprugom osnovanii s uchetom vliyaniya prodol'nykh usilii i nepolnogo kontakta s osnovaniem. *Vestnik KGUSTA*, (2), 66-70. (in Russian).
7. Marufii, A. T., Rysbekova, E. S., & Kaparov, Ch. A. (2016). Chislennaya realizatsiya zadachi ob izgibe beskonechnoi plity na uprugom osnovanii s uchetom vliyaniya prodol'nykh szhimayushchikh usilii v odnom napravlenii po osi X i nepolnogo kontakta s osnovaniem, v vide odnoi transhei vdol' osi Y . *Innovatsii v nauke*, (4-2 (53)), 45-52. (in Russian).
8. Marufii, A. T., & Rysbekova, E. S. (2017). Rezul'taty rascheta beskonechnoi plity na uprugom osnovanii s uchetom vliyaniya prodol'nykh rastyagivayushchikh usilii v dvukh napravleniyakh po osyam X i Y i nepolnogo kontakta s osnovaniem, v vide dvukh transhei, raspolozhennykh pod plitoy simmetrichno otnositel'no osi Y . *Izvestiya Oshskogo tekhnologicheskogo universiteta*, (2), 19-26. (in Russian).

9. Marufii, A. T., & Rysbekova, E. S. (2017). Rezul'taty rascheta beskonechnoi plity na uprugom osnovanii s uchetom vliyaniya prodol'nykh szhimayushchikh usilii v dvukh napravleniyakh po osyam X i Y i nepolnogo kontakta s osnovaniem, v vide dvukh transhei, raspolozhennykh pod plitoy simmetrichno odnositel'no osi Y. *Izvestiya OshTU*, (3), 137-142. (in Russian).

*Работа поступила
в редакцию 20.02.2022 г.*

*Принята к публикации
25.02.2022 г.*

Ссылка для цитирования:

Маруфий А. Т., Рысбекова Э. С., Калыков А. С. Напряженно-деформированное состояние бесконечной плиты на деформируемом основании в зависимости от значений коэффициента пропорциональности продольных усилий // Бюллетень науки и практики. 2022. Т. 8. №3. С. 289-296. <https://doi.org/10.33619/2414-2948/76/31>

Cite as (APA):

Marufiy, A., Rysbekova, E., & Kalykov, A. (2022). Stress-strain State of an Infinite Plate on a Deformable Base Depending on the Values of the Proportionality Coefficient of Longitudinal Forces. *Bulletin of Science and Practice*, 8(3), 289-296. (in Russian). <https://doi.org/10.33619/2414-2948/76/31>