

УСТУН ТУТУМДАРДЫН АНЫК ИШТӨӨСҮН ЭСКЕ АЛЫП ЭСЕПТӨӨНҮН НАТЫЙЖАЛАРЫ

РЕЗУЛЬТАТЫ РАСЧЕТА БАЛОЧНЫХ СИСТЕМ С УЧЕТОМ ИХ ФАКТИЧЕСКОЙ РАБОТЫ

RESULTS OF CALCULATION OF BEAM SYSTEMS TAKEN INTO ACCOUNT OF THEIR ACTUAL PERFORMANCE

А.Т. Маруфий, А.О. Абидов, М.А. Айтиев

A.T. Marufi, A.O. Abidov, M.A. Aitiev

Бул макалада реалдуу иштерди, эки факторду эске алуу менен тилкелүү пайдубалдын ийүүлүү маселесине авторлор тарабынан мурда алынган аналитикалык чечимдин негизинде сандык ишке ашыруунун натыйжалары берилген. Мындай көрүнүш пайдубалды долбоорлоо иш жүзүндө, имараттардын жана курулуштардын пайдубалынын астындагы айрым жерлерде жер кыртышынын бузулушу пайда болгондо болот. Долбоорлоочулар көбүнчө чөккөн топурактардын пайдубалын долбоорлоодо мындай көйгөйлөргө туш болушат. Экинчи фактор - бул арматураны алдын ала чыңдоодо узунунан кеткен күчтөрдүн жана температуранын айырмасынын пайда болушу. Бул эки факторду эске алуу тилкелүү пайдубалдардын конструкцияларынын чыңалуу-майышуу абалына белгилүү бир оңдоолорду киргизет. Авторлор тилкелүү пайдубалдын ийилүүсү үчүн баштапкы дифференциалдык теңдемеге өлчөм мүнөздөмөлөрдү киргизүү менен эки факторду карап чыгышкан. Натыйжада математикалык чоң кызыгууну жараткан дифференциалдык теңдеменин жаңы классы алынды. Бул изилдөөнү сандык ишке ашыруу үчүн, эсептөө программасы түзүлгөн.

В данной статье приведены результаты численной реализации на основе ранее полученного авторами аналитического решения задачи изгиба ленточного фундамента при учете двух факторов, учитывающих их реальную работу. Такого рода явления встречаются в практике проектирования фундаментов, когда происходят провалы грунта на отдельных участках под фундаментами зданий и сооружений. С данными проблемами проектировщики часто сталкиваются при проектировании фундаментов на просадочных грунтах. Второй фактор – это продольные усилия, которые возникают при предварительном напряжении арматуры и перепада температур. Учет этих двух факторов вводят определенные коррективы в напряженно-деформированное состояние конструкций ленточных фундаментов. Этот учет двух факторов авторами осуществлен введением параметров в исходное дифференциальное уравнение

изгиба ленточного фундамента. В результате чего получен новый класс дифференциального уравнения, который представляет с собой большой математический интерес. Для численной реализации данного исследования составлена программа расчета.

This article presents the results of a numerical implementation based on the analytical solution previously obtained by the authors to the problem of bending a strip foundation, taking into account two factors that take into account work close to real life. This kind of phenomenon occurs in the practice of foundation design, when soil failures occur in certain areas under the foundations of buildings and structures. Designers often encounter these problems when designing foundations on subsidence soils. The second factor is the longitudinal forces that arise during prestressing of the reinforcement and temperature differences. Taking these two factors into account introduces certain adjustments to the stress-strain state of strip foundation structures. The authors carried out this consideration of two factors by introducing parameters into the original differential equation for the bending of the strip foundation. As a result, a new class of differential equation was obtained, which is of great mathematical interest. For the numerical implementation of this study, a calculation program was compiled.

Түгүн сөздөр: өлчөм мүнөздөмөлөр, Винклердик негиз, реалдуу иш, толук эмес тийим, ортоңку тегиздик, салаңтик, узата күчтөр, Хевисайд функциясы, серпилгичтүүлүк модулу, ийилүүдөгү ийкемсиздиги.

Ключевые слова: параметры, Винклеровское основание, фактическая работа, неполный контакт, срединная плоскость, прогиб, продольные усилия, функция Хевисайда, модуль упругости, жесткость при изгибе.

Key words: parameters, Winkler base, actual work, incomplete contact, median plane, deflection, longitudinal forces, Heaviside function, modulus of elasticity, bending rigidity.

Введение. В практике проектирования ленточных фундаментов зданий и сооружений встречаются задачи, когда на отдельных участках под зданием происходят провалы грунтового основания. Такого рода явления наблюдаются при проектировании фундаментов на просадочных грунтах в виде лессовых отложений. Также учитывается действие растягивающих и сжимающих усилий. Эти явления происходят при предварительном напряжении арматуры и перепаде температур. Учет всех этих параметров влияет на напряженно-деформированное состояние конструкций ленточных фундаментов в фактических условиях их работы.

Целью исследования является численная реализация аналитического решения задачи об изгибе ленточных фундаментов и выше указанных двух факторов [1 - 4].

Методом исследования является составление программы расчета на основе ранее полученного аналитического решения задачи об изгибе конечной балки на винклеровском упругом основании с учетом факторов, позволяющих учитывать условия, близкие к фактической работе конструкций ленточных фундаментов [5 - 7].

В работе [8] составлен алгоритм расчета ленточного фундамента, получено аналитическое решение задачи изгиба конечной балки на деформируемом основании. Неполный контакт балки с грунтовым основанием представлен в виде траншеи шириной $2a$, расположенной в центральной части конечной балки, лежащей на деформируемом основании с учетом неполного контакта с основанием.

Исходное дифференциальное уравнение изгиба:

$$EJ \frac{d^4 W(x)}{dx^4} + k_0 \theta(x-a) W(x) - N_x \frac{d^2 W(x)}{dx^2} = q(x), \quad (1)$$

где E – модуль упругости материала балки, кг/см²; J – момент инерции поперечного сечения балки, м⁴; EJ – жесткость при изгибе, кг·см²; $\theta(x-a)$ – функция Хевисайда, учитывающая неполный контакт конструкции балки с упругим основанием; $q(x)$ – внешняя нагрузка; N_x – интенсивность продольных растягивающих и сжимающих усилий в срединной плоскости; k_0 – коэффициент постели основания, кг/см³; l – длина балки; $2a$ – ширина траншеи (неполного контакта с грунтовым основанием, м.

Исходные данные балки прямоугольного поперечного сечения $b = 1,25$ м; $h = 1,5$ м (рисунок 1, б) и длиной $l = 18$ м (рисунок 1, а), из материала плотностью $\rho = 2500$ кг/м³.

На балку действуют собственный вес балки q_0 и сосредоточенная сила $P = 100$ кН (рисунок 1, а), приложенная в центре балки.

Определим значение собственного веса балки по формуле:

$$q_0 = \rho \cdot b \cdot h = 4,6875 \text{ м / м.}$$

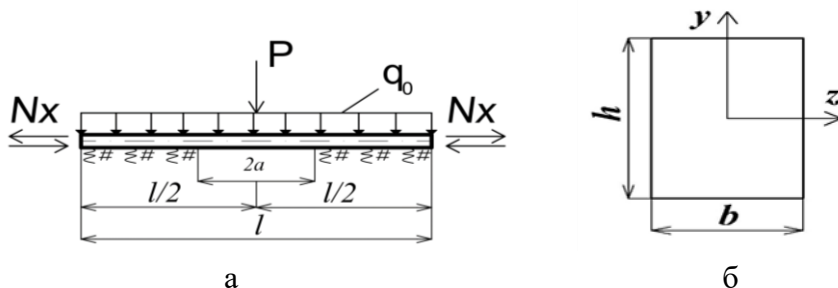


Рисунок 1 – Расчетная схема конечной балки:

- а – расчетная схема конечной балки со свободными концами,
б – прямоугольное сечение конечной балки

Преобразуем собственный вес балки в сосредоточенную силу для определения общей нагрузки, действующей на балку с учетом собственного веса:

$$P_{\text{общ}} = P + q_0 \cdot l = 927,436 \text{ кН}.$$

Проведено исследование напряженно-деформированного состояния конечной балки на деформируемом основании с одновременным учетом неполного контакта балки с грунтовым основанием в виде одной траншеи шириной $2a$, расположенной в центральной части и действием продольных растягивающих и сжимающих усилий, приложенных в срединной плоскости балки. Исследование проведено для различных размеров участка неполного контакта с учетом собственного веса балки (рисунок 1. а):

$$2a = \left(\frac{1}{6}\right) \cdot l = \left(\frac{1}{6}\right) \cdot 18 = 3 \text{ м}; \quad 2a = \left(\frac{1}{4}\right) \cdot l = \left(\frac{1}{4}\right) \cdot 18 = 4,5 \text{ м}.$$

Для учета действия продольных растягивающих и сжимающих усилий необходимо определить величину коэффициента пропорциональности интенсивности продольных усилий. Примем интенсивность продольных усилий равной $N_x = 200 \text{ т/м} = 2000 \text{ кг/см}$. Коэффициент пропорциональности интенсивности продольных усилий α определяется по формуле:

$$\alpha = \frac{N_x \cdot l^2}{EJ_z}, \quad 2)$$

$$\text{где } l = \sqrt[4]{\frac{EJ_z}{k_0}}. \quad (3)$$

Согласно выше принятым исходным данным, определяем величину осевого момента инерции для прямоугольного сечения (рисунки 1, б) по формуле:

$$J_z = \frac{b \cdot h^3}{12} = 0,3515625 \text{ м}^4.$$

Определяем жесткость при изгибе:

$$E \cdot J_z = 21 \cdot 10^3 \text{ МПа}, \quad J_z = 752835,94 \text{ т} / \text{м}^2.$$

Коэффициент постели грунта $k_0 = 5 \text{ МН/м}^3 = 510 \text{ т/м}$.

Подставив значения EJ_z и k_0 в (3), определяем параметр

$$l = \sqrt[4]{\frac{EJ_z}{k_0}}; \quad l^2 = \sqrt{\frac{EJ_z}{k_0}} = 38,42.$$

Коэффициент пропорциональности интенсивности продольных усилий равен:

$$\alpha = \frac{N_x \cdot l^2}{EJ_z} \approx 0,102.$$

На основании ранее полученного авторами аналитического решения и вышеизложенных исходных данных составлена программа расчета в среде Delphi, графики были построены с помощью программы Excel.

Результаты расчета приведены в таблицах 1, 2 и на рисунках 2, 3.

Учет N_x в конечной балке на винклеровском упругом основании при $k_0 = 5 \frac{\text{МН}}{\text{м}^3}$ и $N_x = 200 \text{ т/м}$.

Ряд 1 – при полном контакте балки с грунтовым основанием

$$2a = 18 \text{ м}.$$

Ряд 2 – при неполном контакте на участке с шириной траншеи размером $2a = \left(\frac{1}{6}\right) \cdot l = 3 \text{ м}.$

Таблица 1 – Значение прогибов конечной балки на винклеровском упругом основании с учетом неполного контакта с основанием и действием продольных растягивающих усилий

№	$x, м$	0,0	1,0	2,0	3,0	4,0	5,0	6,0	7,0	8,0	9,0	α	$N_x, т/м$
1 ряд	$W_{p,м}$	0,0089	0,0087	0,0081	0,0072	0,0061	0,0050	0,0036	0,0023	0,0011	0,00	0,0102	200
2 ряд	$W_{p,м}$	0,0111	0,0108	0,0100	0,0090	0,0076	0,0061	0,0045	0,0029	0,0013	0,00	0,0102	200
3 ряд	$W_{p,м}$	0,0126	0,0122	0,0115	0,0103	0,0087	0,0069	0,0051	0,0032	0,0015	0,00	0,0102	200
4 ряд	$W_{p,м}$	0,0144	0,0140	0,00131	0,0117	0,0100	0,0080	0,0058	0,0038	0,0018	0,00	0,0102	200

Таблица 2 – Значение прогибов конечной балки на винклеровском упругом основании с учетом неполного контакта с основанием и действием продольных сжимающих усилий

№	$x, м$	0,0	1,0	2,0	3,0	4,0	5,0	6,0	7,0	8,0	9,0	α	$N_x, т/м$
1 ряд	$W_{сж,м}$	0,0100	0,0098	0,0091	0,0082	0,0069	0,0056	0,0051	0,0033	0,0015	0,00	0,0102	200
2 ряд	$W_{сж,м}$	0,0126	0,0123	0,0114	0,0103	0,0087	0,0070	0,0051	0,0035	0,0015	0,00	0,0102	200
3 ряд	$W_{сж,м}$	0,0144	0,0140	0,0131	0,0118	0,0100	0,0080	0,0058	0,0037	0,0017	0,00	0,0102	200
4 ряд	$W_{сж,м}$	0,0165	0,0161	0,0151	0,0135	0,0114	0,0092	0,0067	0,0043	0,0020	0,00	0,0102	200

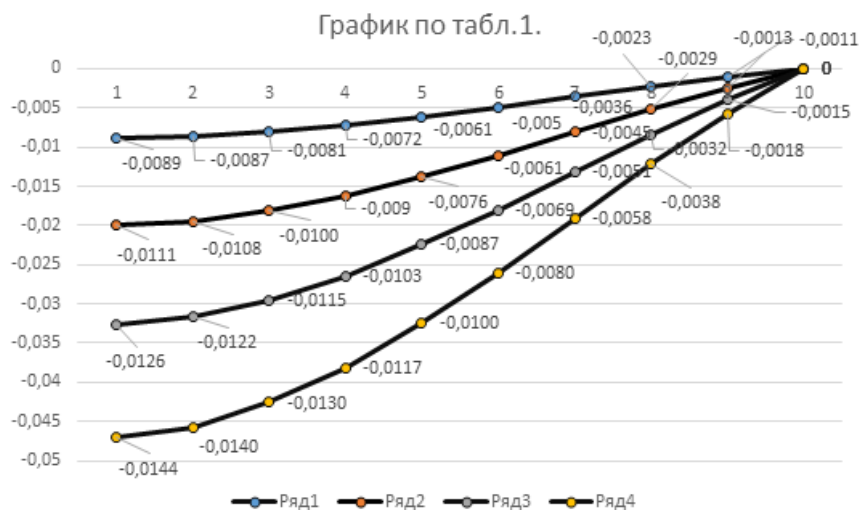


Рисунок 2 – График прогибов конечной балки на деформируемом основании с учетом неполного контакта с основанием и действием продольных растягивающих усилий

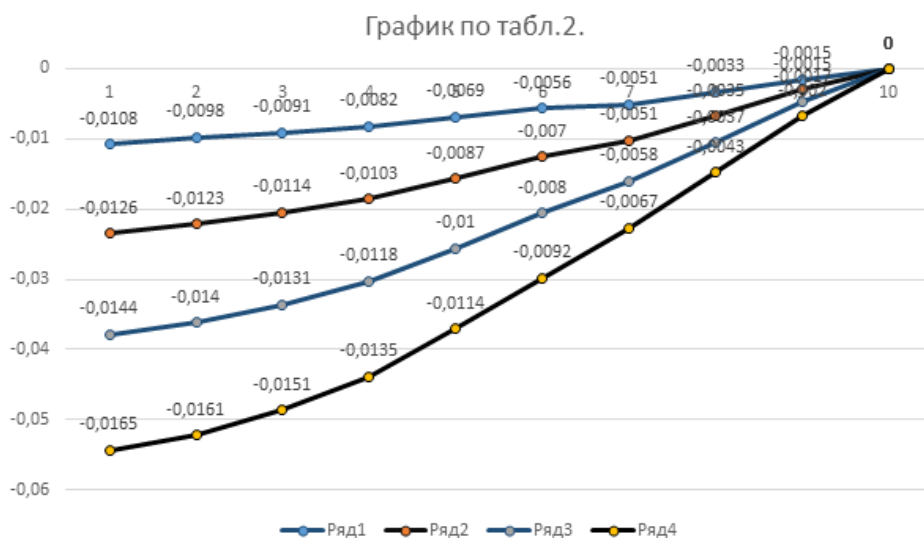


Рисунок 3 – График прогибов конечной балки на деформируемом основании

Ряд 3 – при неполном контакте на участке с шириной траншеи размером .

Ряд 4 – при неполном контакте на участке с шириной траншеи размером .

Значение прогибов конечной балки на винклеровском упругом основании с учетом неполного контакта с основанием и действием продольных растягивающих и сжимающих усилий приведено в таблицах 1 и 2 соответственно.

Анализ результатов исследований показывает, что при действии растягивающих продольных усилий, приложенных в срединной плоскости конечной балки, значения максимальных прогибов в 1,07 раза меньше, чем без их действия.

А при действии сжимающих продольных усилий, приложенных в срединной плоскости конечной балки значения максимальных прогибов, в 1,06 раза больше, чем без их действия. Исследования проводились при вышеперечисленных параметрах исходных данных, где коэффициент пропорциональности интенсивности продольных усилий $\alpha = 0.102$.

Следует отметить, что с увеличением значений коэффициента пропорциональности значение прогибов уменьшаются при действии растягивающих продольных усилий. А при действии сжимающих усилий значения максимальных прогибов увеличиваются [9, 10].

Литература

1. Киселев В.А. Расчет пластин. [Текст] / В. А. Киселев. – М.: Стройиздат, 1973. – 157 с.
2. Маруфий А.Т. Изгиб бесконечной плиты, лежащей на винклеровском основании с учетом поперечной и продольной нагрузок [Текст] / А.Т. Маруфий, А.Т. Турганбаев // Научный вестник ФерГУ. – Фергана, 1996. – №3. – С.51–53.
3. Маруфий А. Т. Изгиб различных схем плит на упругом основании с учетом неполного контакта с основанием [Текст] / А. Т. Маруфий. – М.: Изд-во АСВ, 2003. – 206 с.
4. Маруфий А.Т. Численная реализация задачи об изгибе бесконечной балки на деформируемом упругом основании с учетом

- особых условий ее работы [Текст]/ А.Т. Маруфий, А.С. Калыков, Э. Н. Турдажиева. // НОТ. КУМУ. – Ош, 2021. – №3. – С. 5–12.
5. Маруфий А.Т. Исследование напряженно-деформированного состояния ленточных фундаментов в зависимости от факторов, учитывающих их реальную работу. /А.Т.Маруфий, Э.С.Рысбекова, А.С.Калыков // Известия КГТУ, Бишкек, 2022. – №4 (64). – С.445 – 449.
 6. Маруфий А.Т. Алгоритм расчета конечной балки на винклеровском упругом основании с учетом неполного контакта с основанием и действием продольных усилий, приложенных в срединной плоскости балки [Текст]/ А.Т.Маруфий, У.С.Джусуев, Э.Н. Турдажиева // II Междунар. науч.-практ. конф. – СПб.: САСУ, 2023. – С.139–141.
 7. Соколова Т.Ю. Autocad– 2008 [Текст] /Т.Ю. Соколова. – СПб.: Питер, 2008. – 174 с.
 8. Травуш В. И.Влияние локального увлажнения лессовых грунтов на перераспределение реактивных отпоров под фундаментами [Текст] / В. И. Травуш, А. Т. Маруфий, А. В. Цой // – М.: Издательский дом «Экономика, строительство, транспорт», 2016. – № 2. – С. 2–4.
 9. Чемодуров В.Т. Численные методы в строительстве [Текст]: учебное пособие / В.Т. Чемодуров, М.С. Сеитжелилов // – Симферополь.: ИТ ОРЕАЛ, 2016. – 112с.
 10. Чертик А.А. Программирование в среде Delphi [Текст] / А.А.Чертик. – СПб.: Питер, 2008. – 400 с.