

Маруфий Адилжан Таджимухаммедович,
д.т.н., профессор,
Турдажиева Эльнура Номановна, инженер,
Ошский технологический университет,
г. Ош, Кыргызстан,
Калыков Абдижалил Сагынбаевич, гл. специалист,
Государственный институт сейсмостойкого
строительства и инженерного проектирования,
г. Бишкек, Кыргызстан
E-mail: oshtu-marufi@rambler

ЧИСЛЕННАЯ РЕАЛИЗАЦИЯ АЛГОРИТМА РАСЧЕТА КОНЕЧНОЙ БАЛКИ НА ДЕФОРМИРУЕМОМ УПРУГОМ ОСНОВАНИИ С УЧЕТОМ ОСОБЕННОСТЕЙ В ОСНОВАНИИ

В данной статье для иллюстрации ранее полученных решений и с целью исследования влияния неполного контакта ленточного фундамента с грунтом, произведена численная реализация задачи изгиба конечной балки на винклеровском упругом основании с учетом особенностей в основании. Также произведено исследование влияния значения коэффициента постели грунта на напряженно-деформированное состояние конечной балки, что позволило получить результаты наиболее полно отображающие реальные условия работы конструкций фундаментов.

Ключевые слова: упругое основание, неполный контакт, модель Винклера, реальная работа, модуль упругости, момент инерции.

Маруфий Адилжан Таджимухаммедович,
т.и.д., профессор,
Турдажиева Эльнура Номановна, инженер,
Ош технологиялык университети,
Ош ш., Кыргызстан,
Калыков Абдижалил Сагынбаевич, башкы адис,
Сейсмикалык курулуш жана долбоорлоо мамлекеттик
институту, Бишкек ш., Кыргызстан

НЕГИЗДИН ӨЗГӨЧӨЛҮКТӨРҮН ЭСКЕ АЛУУ МЕНЕН ДЕФОРМАЦИЯЛАНУУЧУ СЕРПИЛГИЧТҮҮ НЕГИЗДЕГИ ЧЕКТҮҮ УСТУНДУ ЭСЕПТӨӨ АЛГОРИТМИН САНДЫК ИШКЕ АШЫРУУ

Бул макалада мурда алынган чечимдерди иллюстрациялоо жана тилкелүү фундаменттин негиз менен толук эмес байланышынын таасирин изилдөө үчүн Винклердин серпилгичтүү негиздеги чектүү устунду ийүү маселесин негиздердеги өзгөчөлүктөрүн эске алуу сандык түрдө ишке ашыруу жүргүзүлдү. Ошондой эле акыркы устундун чыңалуу-деформация абалына топурак катмарынын коэффициентинин маанисинин таасирин изилдөө жүргүзүлдү, бул фундамент конструкциялардын иш жүзүндөгү шарттарын толук чагылдырган натыйжаларды алууга мүмкүндүк берет.

Негизги сөздөр: серпилгич негиз, толук эмес контакт, Винклер модели, реалдуу иш, ийкемдүүлүк модулу, инерция моменти.

Marufi Adilzhan Tajimammedovich,
Doctor of technical sciences, professor,
Osh Technological University
Osh city, Kyrgyzstan,
Turdazhieva Elnura Nomanovna, engineer,
Osh Technological University, Osh city, Kyrgyzstan,
Kalykov Abdijalil Sagynbaevich, chief specialist,
State Institute of Seismic Construction and Design,
Bishkek city, Kyrgyzstan

NUMERICAL IMPLEMENTATION OF THE ALGORITHM FOR CALCULATION OF A FINITE BEAM ON A DEFORMABLE ELASTIC BASE TAKING INTO ACCOUNT FEATURES IN THE BASE

In this article, to illustrate the previously obtained solutions and in order to study the effect of incomplete contact of the strip foundation with the soil, a numerical implementation of the problem of bending the final beam on a Winkler elastic foundation was carried out, taking into account the features in the foundation. A study was also made of the influence of the value of the soil bed coefficient on the stress-strain state of the final beam, which made it possible to obtain results that most fully reflect the actual operating conditions of foundation structures.

Key words: elastic foundation, incomplete contact, Winkler model, real work, modulus of elasticity, moment of inertia.

Введение. При проектировании ленточных фундаментов зачастую встречаются случаи неполного контакта конструкций фундаментов с грунтовым основанием. Такое явление происходит, когда фундамент опирается на просадочные грунты в виде лессовых отложений. Такие грунты при попадании влаги теряют несущую способность, поэтому в процессе эксплуатации зданий и сооружений при попадании влаги под фундаменты может образоваться провал грунта (неполный контакт фундамента с грунтом) на отдельных участках. Расчет ленточных фундаментов обычно сводится к расчету различных схем балок на деформируемом основании. Грунты обычно моделируются различными моделями. В случае просадочных грунтов целесообразно выбрать модель Винклера.

Цель исследования. Целью исследования является численная реализация задачи об изгибе конечной балки на винклеровском упругом основании с учетом неполного контакта с грунтовым основанием, в виде одной траншеи, расположенной в центральной части балки [4,5,10]. Также в статье поставлена цель использования наиболее реальных грунтовых условий в частности при различных значениях коэффициента постели грунта.

Объект и метод исследования. На основе ранее полученного аналитического решения задачи об изгибе конечной балки на винклеровском упругом основании с учетом неполного контакта с грунтовым основанием, составлена программа расчета в среде Delphi, а вывод графиков осуществлен с помощью системы AutoCad [1,2,3,6,7,8,9].

В работе [4] получено аналитическое решение задачи об изгибе конечной балки на винклеровском упругом основании с учетом условий, наиболее полно

отображающих их реальную работу. Эти условия представлены как неполный контакт балки с грунтовым основанием, в виде траншеи шириной $2a$, расположенной в центральной части балки.

В этом случае прогибы определяются из решения дифференциального уравнения вида:

$$EJ \frac{d^4 y(x)}{dx^4} + k \theta(x - a) y(x) = q(x) \quad (1)$$

где $y(x)$ – функция прогибов балки (м); J – момент инерции поперечного сечения балки ($\text{см}^4, \text{м}^4$); E – модуль упругости материала балки (Па), ($\text{кг}/\text{см}^2$);

$\theta(x - a)$ - функция Хевисайда, учитывает неполный контакт конструкции балки с упругим основанием;

$q(x)$ - внешняя нагрузка;

k - коэффициент постели грунта ($\text{кг}/\text{см}^3$).

b – ширина поперечного сечения балки (м);

h – высота поперечного сечения балки (м);

l – длина балки (м).

Для иллюстрации решений, полученных авторами [4] и с целью определения влияния изменения размеров неполного контакта балки с основанием с учетом собственного веса балки q_0 и сосредоточенной силы P , приложенной в центре (рис.1,а), выполнены расчеты для трех значений коэффициента постели грунта $K_0 = 5 \text{ МН}/\text{м}^3$; $K_0 = 50 \text{ МН}/\text{м}^3$ и $K_0 = 150 \text{ МН}/\text{м}^3$ и трех вариантов длины части неполного контакта балки с грунтовым основанием $2a = (1/6)l = 3 \text{ м}$; $2a = (1/4)l = 4,5 \text{ м}$; $2a = (1/3)l = 6 \text{ м}$.

Исходные данные балки прямоугольного сечения размерами: $b = 1,25 \text{ м}$, $h = 1,5 \text{ м}$ (рис.1, а,б) и длиной $l = 18 \text{ м}$, из материала плотностью $\rho = 2500 \text{ кг}/\text{см}^3$ с модулем упругости $E = 21,0 \cdot 10^3 \text{ МПа}$. На балку действуют собственный вес балки q_0 и сосредоточенная сила $P = 100 \text{ кН}$, приложенная в центральной части балки (рис.1,а). Величина собственного веса балки равна $q_0 = \rho \cdot b \cdot h = 2500 \text{ кг}/\text{см}^3 \cdot 1,25 \text{ м} \cdot 1,5 \text{ м} = 4677,5 \text{ кг}/\text{м}$; $q_0 = 4677,5 \text{ кг}/\text{м}$.

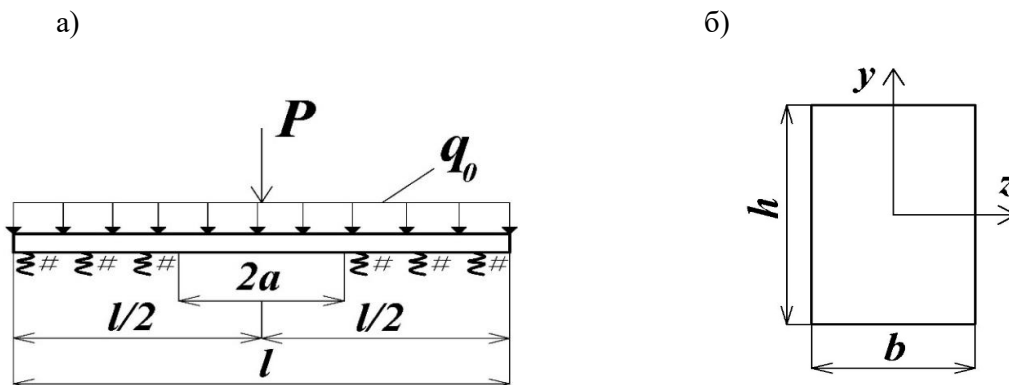


Рис.1. Расчетная схема балки со свободными концами,

а) лежащей на винклеровском упругом основании с учетом неполного контакта с основанием, в виде траншеи расположенной в центре конечной балки,

б) прямоугольное сечение конечной балки

Приведем собственный вес балки к сосредоточенной силе, чтобы определить общую нагрузку, приложенную к балке с учетом собственного веса $P_{\text{общ}} = P + q_0 \cdot l = 100 \text{ кН} + 4677,5 \cdot 18 = 100 \text{ кН} + 84195 \text{ кг} = 10 \text{ кН} + 82,72 \text{ кН} = 182,72 \text{ кН}$. Значит балка находится под действием нагрузки $P_{\text{общ}} = 182,72 \text{ кН}$.

В статье получены результаты значения прогибов конечной балки на винклеровском упругом основании с учетом неполного контакта с основанием в виде

траншеи размером $2a$ для разных значений участка неполного контакта с основанием: $2a = (1/6) l = 3$ м; $2a = (1/4) l = 4,5$ м; $2a = (1/3) l = 6$ м; (рис.1) с учетом собственного веса балки приведены в табл.1,2,3 и рис.1,а.

Таблица 1

Значения максимальных прогибов конечной балки на винклеровском упругом основании при коэффициенте постели грунта $K_0 = 5$ мгН/м³

№	х	0.0	1.0	2.0	3.0	4.0	5.0	6.0	7.0	8.0	9.0
ряд 1	Y_{max}	0.0095	0.00926	0.00864	0.00773	0.00654	0.0053	0.00387	0.00249	0.00115	0.0
ряд 2	Y_{max}	0.01189	0.0116	0.0108	0.0097	0.0082	0.0066	0.0048	0.0031	0.0014	0.0
ряд 3	Y_{max}	0.0136	0.0132	0.0124	0.0111	0.0094	0.0075	0.0055	0.0035	0.0016	0.0
ряд 4	Y_{max}	0.0156	0.0152	0.0142	0.0127	0.0108	0.0087	0.0063	0.0041	0.0019	0.0

В таб.1 приведены значения максимальных прогибов конечной балки на винклеровском упругом основании при приведенной длине балки $\beta l = 2,2$ и коэффициенте постели грунта $K_0 = 5$ мгН/м³ при следующих условиях неполного контакта балки с грунтовым основанием:

Ряд 1 – при полном контакте балки с грунтовым основанием;

Ряд 2 – при неполном контакте размером $2a = (1/6) l = 3$ м;

Ряд 3 – при неполном контакте размером $2a = (1/4) \cdot l = 4,5$ м; Ряд 4 – при неполном контакте размером $2a = (1/3) l = 6$ м.

Таблица 2

Значения максимальных прогибов конечной балки на винклеровском упругом основании при коэффициенте постели грунта $K_0 = 50$ мгН/м³

№	х	0.0	1.0	2.0	3.0	4.0	5.0	6.0	7.0	8.0	9.0
Ряд 1	Y_{max}	0.0010	0.000977	0.00091	0.00082	0.0007	0.00056	0.0004	0.000261	0.00012	0.0
Ряд 2	Y_{max}	0.0015	0.00146	0.00136	0.00122	0.00104	0.00083	0.0006	0.00038	0.00018	0.0
Ряд 3	Y_{max}	0.0020	0.00195	0.00182	0.00162	0.00139	0.0011	0.0008	0.0005	0.00025	0.0
Ряд 4	Y_{max}	0.0025	0.00244	0.00228	0.00205	0.00173	0.0014	0.001	0.00065	0.0003	0.0

В таб.2 приведены значения максимальных прогибов конечной балки на винклеровском упругом основании при приведенной длине балки $\beta l = 3,86$ и коэффициенте постели грунта $K_0 = 50$ мгН/м³ при следующих условиях неполного контакта балки с грунтовым основанием:

Ряд 1 – при полном контакте балки с грунтовым основанием; Ряд 2 – при неполном контакте размером $2a = (1/6) \cdot l = 3$ м;

Ряд 3 – при неполном контакте размером $2a = (1/4) l = 4,5$ м; Ряд 4 – при неполном контакте размером $2a = (1/3) \cdot l = 6$ м.

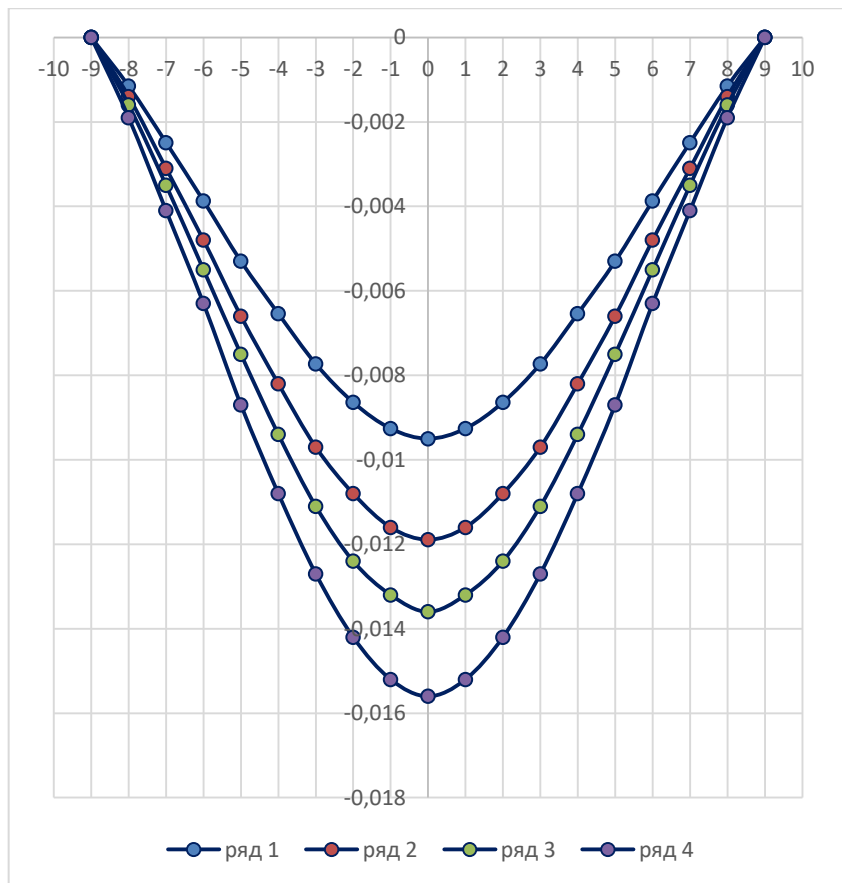


Рис.2 Значения прогибов конечной балки на винклеровском упругом основании с параметрами, приведенными в табл.1.

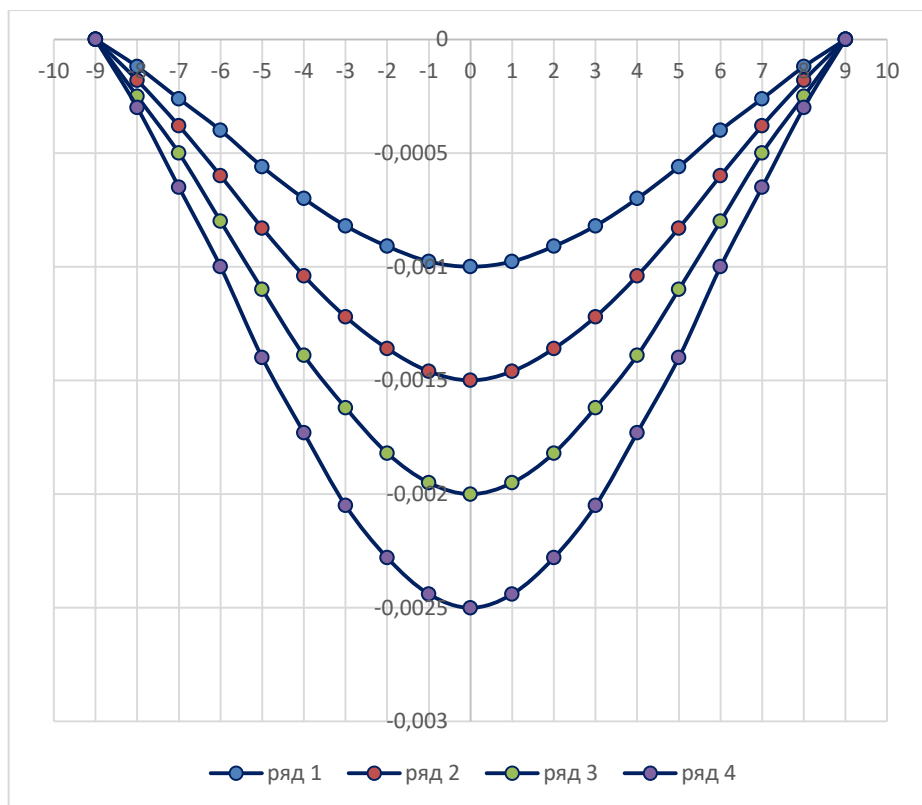


Рис.3 Значения прогибов конечной балки на винклеровском упругом основании с параметрами приведенными в табл.2.

Таблица 3

Значения максимальных прогибов конечной балки на винклеровском упругом основании при коэффициенте постели грунта $K_0 = 150 \text{ мгН/м}^3$

№	x	0.0	1.0	2.0	3.0	4.0	5.0	6.0	7.0	8.0	9.0
Ряд 1	Y_{max}	0.00036	0.000352	0.000328	0.000293	0.000248	0.0002	0.000198	0.000147	0.000094	0.0
Ряд 2	Y_{max}	0.00088	0.00086	0.0008	0.00072	0.00061	0.000489	0.00036	0.000225	0.000115	0.0
Ряд 3	Y_{max}	0.0014	0.001364	0.00128	0.00114	0.00097	0.000769	0.00057	0.00037	0.00017	0.0
Ряд 4	Y_{max}	0.0028	0.00274	0.00256	0.00227	0.00194	0.00156	0.00114	0.00074	0.00034	0.0

В таб.3 приведены значения максимальных прогибов конечной балки на винклеровском упругом основании при приведенной длине балки $\beta l = 5,1$ и коэффициенте постели грунта $K_0 = 150 \text{ мгН/м}^3$ при следующих условиях неполного контакта балки с грунтовым основанием:

Ряд 1 – при полном контакте балки с грунтовым основанием;

Ряд 2 – при неполном контакте размером $2a = (1/6) \cdot l = 3\text{м}$;

Ряд 3 – при неполном контакте размером $2a = (1/4) \cdot l = 4,5\text{м}$; Ряд 4 – при неполном контакте размером $2a = (1/3) \cdot l = 6\text{м}$.

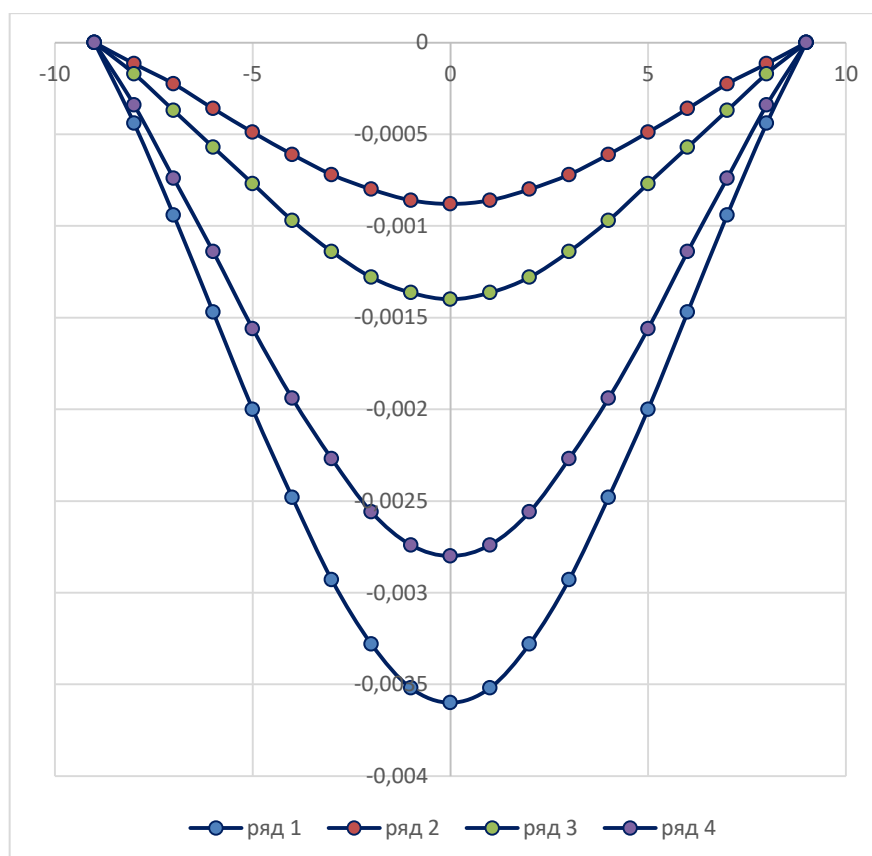


Рис.4 Значения прогибов конечной балки на винклеровском упругом основании с параметрами, приведенными в табл.3.

Анализ результатов расчета конечной балки на винклеровском упругом основании показывает, что при коэффициенте постели грунта

$K_0 = 5 \text{ МН/м}^3$ и в случае полного контакта балки с грунтом максимальный прогиб $y_{max} = 0,0095\text{м}$

а) при неполном контакте размером $2a=(1/6)l=(1/6)18\text{м}=3\text{м}$, значение

$y_{max} = 0,0119\text{м}$ т.е. в 1,25 раза больше, чем при полном контакте.

б) при неполном контакте размером $2a=(1/4)l=4,5\text{м}$, значение $y_{max} = 0,0136\text{м}$, т.е. 1,43 раза больше, чем при полном контакте.

в) при неполном контакте размером $2a=(1/3)l=6\text{м}$, значение $y_{max} = 0,0156\text{м}$, т.е. 1,64 раза больше, чем при полном контакте.

Анализ результатов расчета, при коэффициенте постели $K_0 = 50 \text{ МН/м}^3$ и в случае полного контакта балки с грунтом $y_{max} = 0,0010\text{м}$, показывает:

а) при неполном контакте размером $2a=(1/6)l=3\text{м}$, значение $y_{max} = 0,0015\text{м}$, т.е. в 1,5 раза больше, чем при полном контакте.

б) при неполном контакте размером $2a=(1/4)l=4,5\text{м}$, значение $y_{max} = 0,0020\text{м}$, т.е. в 2 раза больше, чем при полном контакте.

в) при неполном контакте размером $2a=(1/3)l=6\text{м}$, значение $y_{max} = 0,0025\text{м}$, т.е. в 2,5 раза больше, чем при полном контакте.

Анализ результатов расчета, при коэффициенте постели грунта

$K_0 = 150 \text{ МН/м}^3$, показывает что при полном контакте балки с грунтовым основанием $y_{max} = 0,00036\text{м}$:

а) при неполном контакте размером $2a=(1/6)l=3\text{м}$, значение $y_{max} = 0,00088\text{м}$, т.е. в 2,4 раза больше, чем при полном контакте.

б) при неполном контакте размером $2a=(1/4)l=4,5\text{м}$, значение $y_{max} = 0,0014\text{м}$, т.е. в 3,9 раза больше, чем при полном контакте.

в) при неполном контакте размером $2a=(1/3)l=6\text{м}$, значение $y_{max} = 0,0028\text{м}$, т.е. в 7,7 раза больше, чем при полном контакте.

Следует отметить, что с увеличением значения коэффициента постели грунта, значение максимального прогиба уменьшается, в частности, если при $K_0 = 5 \text{ МН/м}^3$ и размера неполного контакта $2a=(1/3)l=6\text{м}$. $y_{max} = 0,0156\text{м}$, то при $K_0 = 150 \text{ МН/м}^3$ при том же размере неполного контакта $y_{max} = 0,0028\text{м}$, т.е. в 5,6 раз меньше.

На основании изложенного анализа, необходимо учитывать значения коэффициента постели грунта, которое сильно влияет на напряженно-деформированное состояние конструкций ленточных фундаментов, т.е. в какой-то степени учитываются реальные условия работы конструкций ленточных фундаментов.

Литература:

1. **Киселев В.А.** Расчет пластинт [Текст] / В.А.Киселе // Москва.: Стройиздат, 1973. - 157с.
2. **Леонтьев Н.Н.** Расчет прямоугольной плиты на упругом двух параметрическом основании. [Текст] / Н.Н.Леонтьев, А.Т.Маруфий // Москва.: МИСИ, Сборник трудов «Расчет пространственных конструкций», 1983. - С 122-126.
3. **Маруфий А.Т.** Алгоритм расчета полубесконечной балки на двухпараметрическом упругом основании с участком без основания на удалении от края под балкой [Текст] / А.Т. Маруфий, А.А. Эгембердиева // Известия КГТУ, №3 (51), 2019. - С.126-133.
4. **Маруфий А.Т.** Аналитические решение задачи об изгибе конечной балки на винклеровском упругом основании с учетом условий, наиболее полно отображающих их реальную работу [Текст] / А.Т. Маруфий, Э.С. Рысбекова, Э.Н. Турдажиева // Кыргыз патент, авторское право, свидетельство №4824 от 31.05.2022г.

5. **Маруфий А.Т.** Изгиб различных схем плит на упругом основании с учетом неполного контакта с основанием [Текст] / А.Т. Маруфий // М.; Издательство АСВ, СНГ, 2003. - 206с.
6. **Чемодуров В.Т.** Численные методы в строительстве (для студентов всех специальностей очной и заочной форм обучения): учебное пособие / В.Т. Чемодуров, М.С. Сеитжелилов. // Симферополь.: ИТ «АРИАЛ», 2016. – 112с.
7. **Чертик, А.А.** Программирование в среде Delphi [Текст] /А.А. Чертик // С. Петербург, 2008г.-100с.
8. **Соколова Т.Ю.** Autocad -2008 [Текст] / Т.Ю. Соколова // С.Петербург, Питер, 2008г.-177с.
9. **Маруфий А.Т.** Численная реализация задачи об изгибе бесконечной балки на деформируемом упругом основании с учетом особых условий ее работы / А.Т. Маруфий, А.С. Калыков, Э.Н. Турдажиева // Ош.: КУУ НОТ, №3 (72), 2021. - С.5-12.
10. **Маруфий А.Т.** Алгоритм расчеты конечной балки на двухпараметрическом упругом основании с учетом условий близких к ее реальной работе [Текст] / А.Т. Маруфий, Э.Н. Турдажиева, А.П. Алиева // Бишкек.: Наука, Новых технологии и инновации Кыргызстана, №2, 2022. – С. 39-43.