

СОПОСТАВЛЕНИЕ РАСЧЕТНЫХ И ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫХ ДАННЫХ ПО ПРОГНОЗУ ОСАДКИ КРУПНОМАСШТАБНОЙ МОДЕЛИ ЛЕНТОЧНО-ОБОЛОЧЕЧНОГО ФУНДАМЕНТА

Тер-Мартиросян З. Г.¹, Прозозин Я.А.², Епифанцева Л.Р.³, Порошин О.С.³

¹ФГБОУ ВПО Московский государственный строительный университет, 129337, Москва, Россия (129337, Москва, Ярославское шоссе, д. 26), e-mail: kanz@mgsu.ru

²ООО «ГЕОФОНД +», 625037, Тюмень, Россия (625037, Тюмень, Ямская 87а), e-mail: geofond.plus@gmail.com

³ФГБОУ ВПО Тюменский государственный архитектурно-строительный университет, 625000, Тюмень, Россия (625000, Тюмень, Луначарского, 2), e-mail: epifanceva82@gmail.com

В статье теоретически обосновано повышение жесткости грунтового основания, нагруженного по выпуклой вверх криволинейной поверхности, за счет повышения модуля деформации. Повышение модуля деформации грунта в активной зоне деформируемости грунтового основания связано с дополнительным боковым обжатием горизонтальным давлением σ_x грунта в активной зоне основания под оболочкой. Представлено сопоставление результатов расчета, учитывающего коэффициент формы k_f при назначении модуля деформации грунта с экспериментальными данными. Данный коэффициент k_f учитывает разницу в деформируемости основания в зависимости от формы контактной поверхности нагружения, а именно особенности взаимодействия фундаментов с плоской и выпуклой вверх поверхностью по отношению к грунту.

Ключевые слова: сильносжимаемое грунтовое основание; ленточно-оболочечный фундамент; модуль деформации; боковое обжатие грунта, коэффициент формы.

COMPARISON OF CALCULATED AND EXPERIMENTAL DATA ON SETTLEMENT FORECASTS LARGE-SCALE MODEL OF THE STRIP-SHELL FOUNDATION

Ter-Martirosyan Z.G.¹, Pronozin Y.A.², Epifantceva L.R.³, Poroshin O.S.³

¹ Moscow State University Of Civil Engineering, Moscow, Russia (129337, Moscow, Yaroslavl highway, 26), e-mail: kanz@mgsu.ru

² LLC «GEOFOND +», Tyumen, Russia (625037, Tyumen, street Yamskaya, 87a), e-mail: geofond.plus@gmail.com

³ Tyumen State University Of Architecture And Civil Engineering, Tyumen, Russia (625000, Tyumen, street Lunacharskogo, 2), e-mail: epifanceva82@gmail.com

The paper is theoretically justified stiffening ground base loaded on convex upwards curved surface, by increasing the modulus of deformation. Increasing the modulus of deformation of soil in active zone of the deformability of the ground base due to the additional lateral compression by horizontal pressure σ_x of soil in the active zone of the base under the shell. Comparing the results of calculation, taking into account the shape factor k_f in the appointment of the deformation modulus of soil from the experimental data.

Shape factor k_f allows for the difference in the deformability of the base depending on the shape of the contact surface loading, namely the features of the interaction of foundation with flat and concave surface with respect to the ground.

Keywords: highly compressible ground base; strip-shell foundation; modulus of deformation; lateral compression of the soil, the shape factor.

Использование в практике строительства зданий средней и повышенной этажности на сильносжимаемых грунтовых основаниях ленточно-оболочечных фундаментов (ЛОФ) зачастую является экономически выгодной альтернативой традиционным конструкциям в виде плитных или свайных фундаментов.

Обладая меньшей материалоемкостью и стоимостью, например, по отношению к плитным фундаментам, данные фундаменты имеют меньшие осадки, что весьма важно при проектировании, где основным является расчет по второй группе предельных состояний, а именно обеспечение условия $s_p < [s]$. Меньшие осадки фундамента, включающего в себя

выпуклые вверх оболочки, обусловлены большим боковым обжатием грунта в активной зоне основания и как следствие повышением его жесткости [1-3, 8].

Цель исследования

При расчете осадки данных фундаментов необходимо учитывать повышение жесткости основания в активной зоне, например, как это предложено в [3], сопоставлением расчетных величин бокового давления под фундаментом и зависимостью повышения модуля деформации грунта определенного вида от величины бокового обжатия на глубине его расположения. В результате выполненных в [3] исследований предложен коэффициент формы $k\phi$, как отношение средних осадок: $k\phi = s_{um} / s_{ob}$, где s_{um} – осадка фундамента с плоской контактной поверхностью, s_{ob} – осадка фундамента оболочки с выпуклой вверх контактной поверхностью.

Данный коэффициент учитывает разницу в деформируемости основания в зависимости от формы контактной поверхности нагружения, а именно особенности взаимодействия фундаментов с плоской и выпуклой вверх поверхностью по отношению к грунту.

Метод исследования

Для верификации расчетного прогноза осадки ленточно-оболочечных фундаментов на грунтовом основании, работающих на вертикальную статическую нагрузку, было выполнено сопоставление экспериментальных данных взаимодействия крупномасштабной модели ЛОФ, с сильносжимаемым грунтовым основанием, с расчетными данными.

Теоретические расчеты проводились в разработанной авторами программе [5] с использованием контактной модели Фусса-Винклера и коэффициентов постели, полученных на основе метода послойного суммирования, с различным его распределением, с учетом и без учета коэффициента формы, а также в программе Plaxis 8.2, с использованием упругопластической модели Мора-Кулона.

Экспериментальные данные принимались по результатам испытания ЛОФ на экспериментальной площадке в г. Тюмени (табл. 1).

Таблица 1

Значения физико-механических характеристик грунтов экспериментальной площадки

Вид грунта	W, %	W _b , %	W _p , %	I _p , %	I _L , д.ед	γ, кН/ м ³	γ _d , кН/ м ³	γ _s , кН/ м ³	e, д.ед	S _r , д.ед	φ, град	c, кПа	E _к , МПа
Суглинок 0-1,2	14	31	16	15	<0	20,5	17,9	27	0,50	0,75	13	45	9,8
Глина 1,2-3,5	33	35	17	18	0,89	18,4	13,8	27	0,95	0,93	14	11	4,6
Суглинок 3,5-5,5	26	31	17	14	0,64	19,5	15,4	27	0,74	0,94	8	7,8	3,3

Суглинок 5,5-6,5	23	23	12	11	1,0	19,3	15,6	26,9	0,71	0,86	23	16,2	5,7
---------------------	----	----	----	----	-----	------	------	------	------	------	----	------	-----

В качестве модели был представлен фундамент в виде двух продольных и двух поперечных ленточных фундаментов и полой цилиндрической оболочки нулевой Гауссовой кривизны, закрепленной в продольных ленточных фундаментах (рис. 1). Соотношение длины и ширины фундамента выбраны исходя из возможности рассмотрения средней его части и грунтового основания в условиях плоской деформации, толщина оболочки 5 мм. Общий вид исследуемого фундамента представлен на рисунке 2. Всего в контактную зону фундамента было установлено 25 месдоз. В активную зону основания было внедрено 19 грунтовых месдоз и 16 глубинных марок (рис. 1).

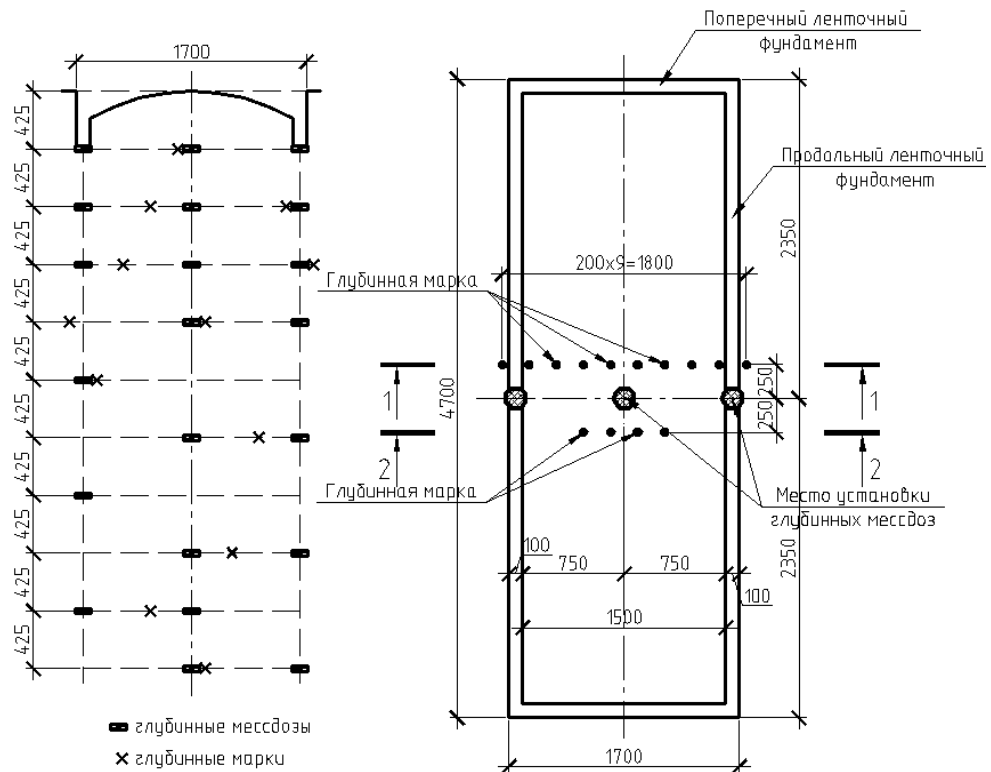


Рис. 1. Оснастка грунтового основания глубинными месдозами и марками



Рис.2. Общий вид исследуемого фундамента

Рис. 3. Нагружение исследуемых фундаментов статической нагрузкой

Нагружение фундамента производилось до среднего давления равного 109кПа, что соответствовало $0,9R$ - расчетного сопротивления грунта для слабого подстилающего слоя в виде текучепластичной глины, залегающей на глубине 1,2 м.

Нагружение фундамента на экспериментальной площадке велось при помощи фундаментных блоков ФБС 24.6.6 (рис. 3). Общая нагрузка от фундаментных блоков составила 871 кН.

Результаты исследования

При сопоставлении теоретических и экспериментальных данных установлено, что предложенная в [7] теория расчета, на основе использования гипотезы Винклера-Фусса, с достаточно высокой точностью описывает деформирование ленточно-оболочечного фундамента на грунтовом основании (рис. 4). При этом расчет с использованием экспериментального коэффициента постели, принятого по конечной ступени нагружения (кривая 1), прогнозирует деформирование оболочки с точностью до 12% по всей длине, осадку ленточного фундамента с точностью до 9%. Расчет по СП [6] с использованием штампового модуля деформации E_{um} и определением постоянного коэффициента постели $k(x)=const$ в пределах каждой ступени нагружения, учитывающего коэффициент формы (кривая 2), в данной задаче $k\phi=1,146$, прогнозирует деформирование оболочки с точностью до 35% по всей длине, осадку ленточного фундамента с точностью до 12%. При тех же исходных данных, но использовании логарифмического закона изменения $k(x)$ [4] (кривая3), деформирование оболочки прогнозируется с точностью до 15% по всей длине, осадка ленточного фундамента с точностью до 16%. Расчет по СП [6] с использованием штампового модуля деформации E_{um} и определением постоянного коэффициента постели $k(x)=const$ в пределах каждой ступени нагружения (кривая 5), не учитывающего коэффициент формы дает завышенные значения осадки. Так, расчетная осадка ленточного фундамента отличается от экспериментальной на 25%, осадка оболочки на 20-40%.

Расчет в программе Plaxis 8.2, с использованием упругопластической модели Мора-Кулона, дает близкие к экспериментальным данным, погрешность до 6%, осадки ленточного фундамента, однако значительно завышает осадки оболочки, что говорит о большей, по отношению к действительности, распределительной способности модели грунтового основания.

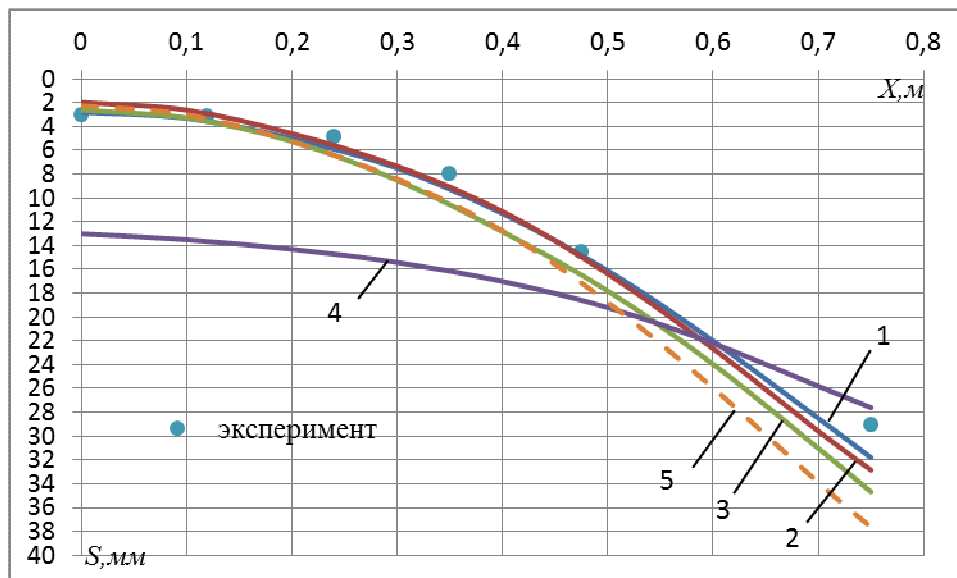


Рис. 4. Экспериментальные и теоретические значения осадок ленточных фундаментов, при различных $k(x)$, объединенных цилиндрическими оболочками: 1 – $k(x)$ - экспериментальный, на конечной ступени нагружения; 2 – $k(x)=const$ по СП с учетом коэффициента формы k_f ; 3 – $k(x)$ по логарифмическому закону по СП с учетом коэффициента формы k_f ; 4 – упругопластический расчет в Plaxis 8.2; 5 – $k(x)=const$ по СП без учета коэффициента формы k_f .

Выводы

Таким образом, при расчете осадки ЛОФ следует использовать как верифицированные программные продукты, например, Plaxis 8.2, так и программные продукты, использующие контактные модели основания. При этом основным является вопрос адекватного назначения модуля деформации грунта или коэффициента постели, что в данном случае связано с учетом коэффициента формы.

Список литературы

1. Аимбетов, И.К. К определению модуля деформации грунтов методом трехосного сжатия для расчетов НДС основания с использованием программы PLAXIS / И.К. Аимбетов // Геотехника. – 2010. - №1. – С. 62-67.
2. Болдырев, Г.Г. Влияние условий испытания на модуль деформации грунтов / Г.Г. Болдырев, А.В. Гордеев, Г.А. Новичков // <http://www.s-teh.com>.

3. Прозин, Я.А. Теоретическое обоснование повышения жесткости грунтового основания, нагруженного по выпуклой вверх криволинейной поверхности / Я.А. Прозин, Ю.В. Наумкина, Д.В. Рачков // Геотехника. – 2015. - №2. – С. 4-8.
4. Прозин Я.А. Взаимодействие цилиндрического мембранного фундамента с грунтовым основанием / Я. А. Прозин, А.Д. Гербер, О.С. Порошин // Научно-технический журнал «Вестник МГСУ». – 2010. - №1. – С. 219-226.
5. Свид. 2010613478 Российская Федерация. Взаимодействие цилиндрического фундамента-оболочки с грунтовым основанием, моделируемым гипотезой Винклера / Я.А. Прозин, А.Д. Гербер, О.С. Порошин, Ю.В. Наумкина; заявитель и правообладатель ГОУ ВПО ТюмГАСУ. – № 2010613478; заявл. 06.04.2010; опубл. 28.05.2010.
6. СП 22.13330.2011 Основания зданий и сооружений. Актуализированная редакция СНиП 2.02.01-83*/ Минрегион России. – М.: ОАО "ЦПП", 2011. – 161 с.
7. Тер-Мартirosян, З. Г. Ленточные фундаменты мелкого заложения, объединенные пологими оболочками, на сильносжимаемых грунтах [Текст] / З. Г. Тер-Мартirosян, Я. А. Прозин, Н. Ю. Киселев // Основания, фундаменты и механика грунтов. – 2014. -№ 4. – С. 26.
8. Тетиор, А.Н. Об устойчивости оснований под фундаментами с криволинейной формой подошвы/ А.Н. Тетиор// Известия высших учебных заведений. Строительство и архитектура. – 1969. - №5. – С. 3.

Рецензенты:

Миронов В.В., д.т.н., профессор, профессор кафедры «Водоснабжение и водоотведение» ФГБОУ ВПО ТюмГАСУ, г. Тюмень;

Чекардовский М.Н., д.т.н., профессор, заведующий кафедрой «Теплогазоснабжение и вентиляция» ФГБОУ ВПО ТюмГАСУ, г. Тюмень.