

РАСЧЕТНОЕ ОБОСНОВАНИЕ СТЕПЕНИ НЕРАВНОМЕРНОСТИ НАГРУЖЕНИЯ В ЦЕЛЯХ СНИЖЕНИЯ ГЛУБИНЫ СЖИМАЕМОЙ ТОЛЩИ

Прозозин Я.А.¹, Бартоломей Л.А.¹, Соколов В.Г.¹, Отраснова Е.С.¹

¹ФГБОУ ВПО «Тюменский государственный архитектурно-строительный университет», Тюмень, Россия (625001, г. Тюмень, ул. Луначарского, 2), e-mail: elena.otrasnova@mail.ru

Произведен анализ актуальности применения неравномерности нагружения основания в целях снижения глубины сжимаемой толщи, вследствие чего снижения осадок, что немаловажно при проектировании. Зная, что на глубину сжимаемой толщи влияет уровень напряжений по подошве фундаментов, площадь загрузки и характер распределения давления, были проведены проверочные расчеты на примере фундаментов 17-этажного здания, проектируемого на площадке с достаточно плотными верхними слоями основания, подстилаемыми слабыми, сильносжимаемыми грунтами. В качестве фундамента в данном случае использованы оболочки, объединяющие ленточные фундаменты, которые создают неравномерное нагружение основания. Выявлено, что давление пригруза основания данных фундаментов в пролетной части значительно повышает расчетное сопротивление грунта и позволяет пользоваться моделью линейно-деформируемой среды. Были рассмотрены формулы определения расчетного сопротивления грунтового основания, предложенные А.В. Пилигиным. Выявлено, что они не раскрывают возможность оценки расчетного сопротивления под всеми частями неравномерно нагруженного основания.

Ключевые слова: фундамент, неравномерное нагружение, расчетное сопротивление, численное моделирование, грунтовое основание, ленточные фундаменты, сжимаемая толща.

CALCULATED ANALYSIS OF IRREGULAR LOADING USAGE FOR DECREASE OF ACTIVE ZONE THICKNESS

Pronozin Y.A.¹, Bartolomei L.A.¹, Sokolov V.G.¹, Otrasonova E.S.¹

¹Tyumen State University of Architecture and Civil Engineering, Tyumen, Russia (625001, Tyumen, street Lunacharskogo, 2), e-mail: stepanov_maxim@inbox.ru

This paper analyses irregular loading usage for decrease of active zone thickness and ground settlements. It's very important in engineering work. Thickness of active zone depends on contact soil stress, load area and character of pressure distribution. The authors do the confirmatory analysis of 17-floored building foundation. Bearing layer is solid ground and under layer is soft high-compressible ground. The foundations are shells, which connect strip part of foundations. This type of foundation creates irregular loading of the basement, increases estimated resistance of the basement soil in the bay part of foundation. It permits the use of linear-elastic medium model. The paper analyses the A.V. Pilyagin's formulas for definition of the basement soil estimated resistance. These formulas don't make possible to define basement soil estimated resistance under the all parts of irregular loading basement.

Key words: foundation, irregular loading, design resistance, numerical modeling, soil bed, strip foundation, compressed soil sample.

Одним из основных параметров, определяющих расчетное значение осадки фундамента, является глубина сжимаемой толщи. Определение глубины сжимаемой толщи по различным нормативным документам, принятым в нашей стране в различное время, для метода послойного суммирования и линейно деформируемого слоя, для одного и того же сооружения может отличаться более чем в два раза и соответственно приводить к такой же разнице в определении осадки. Очевидно, что на глубину сжимаемой толщи влияет в первую очередь уровень напряжений по подошве фундамента и площадь загрузки, при этом расчетная осадка будет нелинейно зависеть от этих параметров, особенно в случае неодинаковой сжимаемости слоев по глубине.

Известно также, что величина сжимаемой толщи зависит не только от среднего давления по подошве фундаментов, но и от характера их распределения [1; 2]. При неравномерном нагружении основания можно добиться существенного снижения глубины сжимаемой толщи, что особенно важно в случае достаточно плотных верхних слоев основания, подстилаемых слабыми, сильносжимаемыми грунтами. Заданная неравномерность нагружения основания под сплошными фундаментами большой ширины может достигаться конструктивными приемами, например использованием плит переменной жесткости, сжимаемыми прослойками в зонах меньших давлений или использованием оболочек, объединяющих ленточные фундаменты. Так, рассматривая вопрос о неравномерном нагружении основания под сплошным фундаментом мелкого заложения для 10-этажного дома (рис. 1) установлено, что принятая в расчетах схема нагружения основания позволяет снизить глубину сжимаемой толщи основания по отношению к равномерному распределению реактивного давления – $H_{сж}=20,1$ м на 33%. При этом возникает вопрос о допустимой степени неравномерности нагружения основания под различными зонами фундамента.

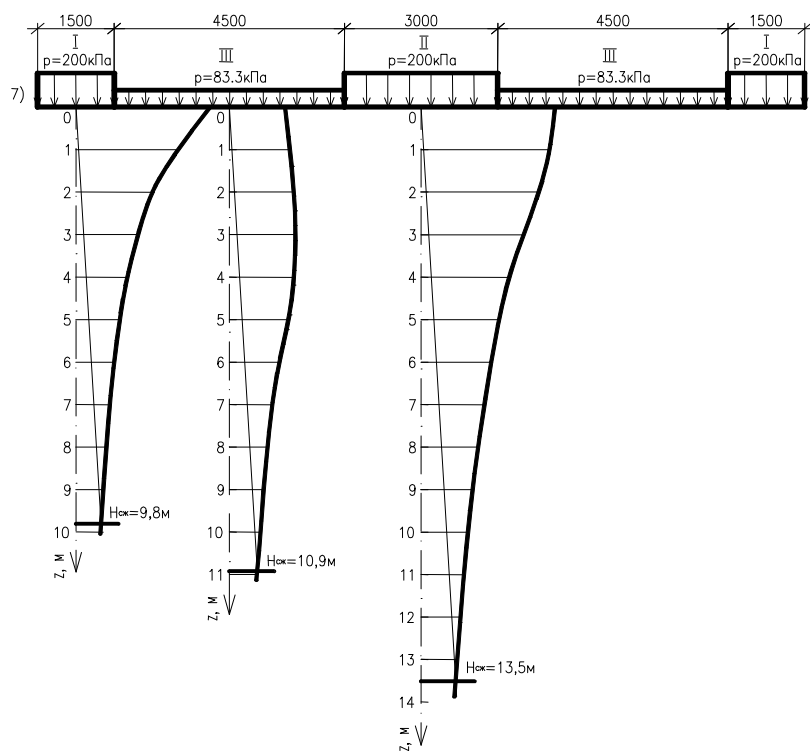


Рис. 1 Неравномерное нагружение основания под силовыми полями и в пролетной части. Эпюры

σ_z

Учитывая стадию квазилинейного деформирования грунтового основания, следует обеспечивать не превышение среднего давления на основание расчетного сопротивления грунта как для всего фундамента, так и, следовательно, его отдельных зон. Очевидно, что возможными участками выхода за стадию линейного деформирования является наиболее нагруженная часть основания, а именно участки I и II на рис. 1. При этом основание на участках III является для участков I и II пригрузом, повышающим их расчетное сопротивление.

Определение расчетного сопротивления грунта производится в общем случае по формуле СП [3].

$$R = \frac{\gamma_{c1}\gamma_{c2}}{k} [M_{\gamma}k_z b \gamma_{II} + M_q d_1 \gamma'_{II} + (M_q - 1) d_b \gamma'_{II} + M_c c_{II}] . \quad (1)$$

Рассмотрим участок I грунтового основания, являющийся краевым. Данный участок является наиболее ответственным с точки зрения обеспечения требования не превышения давления R, так как, во-первых: пригруз его несимметричен, и во-вторых: давление на грунтовое основание под крайней осью, как правило, выше, чем под средними, в силу распределительной способности грунтового основания и жесткости каркаса.

С одной стороны пригрузом для участка I является обратная засыпка на глубину заложения фундамента, а с другой стороны давление от участка III.

Особенность расчетной схемы заключается в том, что пригруз от участка III - со стороны подвала, в общем случае, существенно больше, чем пригруз со стороны обратной засыпки, с внешней стороны фундамента. Пригруз со стороны подвала может быть представлен грунтом высотой d_1 , определяемой по формуле:

$$d_1 = \frac{P_{III}}{\gamma'_{II}} . \quad (2)$$

В нашем случае d_1 может существенно превышать d_b . Таким образом, в данной задаче d_1 и d_b меняются местами. В этом случае расчетная величина d_1 будет равна глубине заложения фундамента от уровня планировки, а d_b вычисляться по формуле:

$$d_b = \frac{P_{III}}{\gamma'_{II}} - d_1 . \quad (3)$$

Для участка II грунтового основания формула СП будет иметь вид:

$$R = \frac{\gamma_{c1}\gamma_{c2}}{k} [M_{\gamma}k_z b \gamma_{II} + M_q d_1 \gamma'_{II} + M_c c_{II}] , \quad (4)$$

где $d_1 \gamma'_{II}$ будет соответствовать давлению p_{III} .

Рассмотрим данную задачу на примере проекта фундамента для 17-этажного здания в виде ленточных фундаментов, объединенных пологими оболочками (рис. 2).

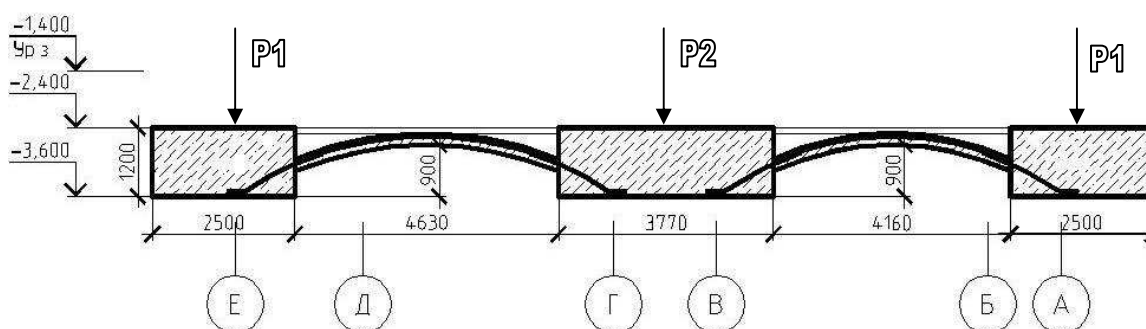


Рис. 2 Общий вид ленточного фундамента, объединенного пологими оболочками.

Верхний слой грунтового основания ИГЭ-1 представлен твердым суглинком, ниже залегают супесь пластичная, с прослоями суглинка и песка, песок мелкий средней плотности. Физико-механические характеристики грунтов основания данной площадки представлены в таблице 1.

Таблица 1

№ ИГЭ	H	Вид грунта	γ_I , Н/м ³	e	C_{II} , кПа	φ_{II} , град	E , МПа
ИГЭ-1	0-3,8	Суглинок твердый	19,95	0,54	23,9	17,4	18,54
ИГЭ-2	3,8-5,9	Песок мелкий	-	-	1	33	27
ИГЭ-3	5,9-7,1	Супесь пластичная	-	-	1	34	32
ИГЭ-4	7,1-9,5	Суглинок тугопластичный	17,32	1,0	25,5	14,6	3,71
ИГЭ-5	9,5-30	Глина легкая, тугопластичная	17,32	1,1	28,8	14,6	4,88

В результате численного моделирования системы «грунтовое основание – фундамент – надземная часть» в программе SCAD определены вертикальные напряжения в контактном слое, под оболочками и ленточными фундаментами (рис. 3). Среднее давление на основание от здания составляет $P_{cp}=300$ кПа.



Рис. 3 Графическое изображение полей напряжений в контактном слое.

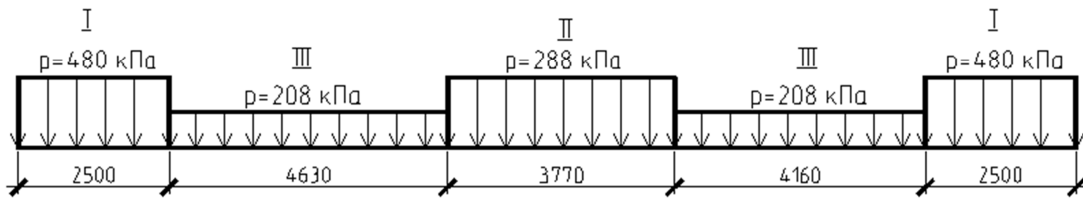


Рис. 4 Неравномерное нагружение основания под ленточным фундаментом, объединенным пологими оболочками.

Согласно представленному алгоритму расчетное сопротивление грунта для участка I составило $R_I = 690,9$ кПа, для участка II составило $R_{II} = 923,4$ кПа, что превышает давления на данных участках $p_I = 480$ кПа, $p_{II} = 288$ кПа. Расчетное сопротивление основания из учета среднего давления и общей ширины фундамента ≈ 17 м составляет $R = 463,15$ кПа $>$ $p_{ср} = 300$ кПа.

Определяя расчетное сопротивление методом, предложенным Пилягиным А.В. [4]; в формулу вместо ширины подошвы фундамента следует подставлять допустимую глубину развития зон пластических деформаций:

$$R = \frac{\gamma_{c1}\gamma_{c2}}{k} [4M_{\gamma}z\gamma_{II} + M_q d_1 \gamma'_{II} + M_c c_{II}]. \quad (5)$$

В качестве z берется абсолютная величина допустимой глубины развития зон пластических деформаций вне зависимости от размера подошвы фундамента. Формула в данном случае не включает размер ширины подошвы « b », поэтому глубина развития зон пластических деформаций принимается $z = 0,25$ м.

В данном случае расчетное сопротивление, вычисленное по формуле (5): $R = 325,9$ кПа, что также превышает среднее давление на основание.

Первое критическое давление, определяемое по формуле (5), вычисляется из условия $z = 0$, составило $R_1 = 316,6$ кПа. Таким образом, следует считать, что основание работает в зоне линейных деформаций.

Следует отметить, что формула (5) не дает строгое решение для определения расчетного сопротивления основания под крайним фундаментом, так как с одной стороны основание пригружено обратной засыпкой, а с другой давлением от оболочки. Определим расчетное сопротивление из учета $d_1 = 2,2$ м, т.е. равной глубине заложения фундамента $R = 325,9$

кПа < $p_I = 480$ кПа, поэтому можем сказать, что работа основания выходит из стадии квазилинейного деформирования.

Для основания под средним фундаментом расчетное сопротивление составило $R = 898$ кПа, что сопоставимо с формулой (4).

При наличии в сжимаемой толщии слабых грунтов необходимо также проверить давление на них, чтобы убедиться в возможности применения при расчете основания (осадок) теории линейной деформативности грунтов. Необходимо, чтобы полное давление на кровлю подстилающего слоя не превышало его расчетного сопротивления:

$$\sigma_z = (\sigma_{zp} - \sigma_{zy}) + \sigma_{zg} \leq R_z . \quad (6)$$

В результате проведенных расчетов дополнительное и природное вертикальные напряжения в грунте на глубине z от подошвы фундамента $(\sigma_{zp} - \sigma_{zy}) + \sigma_{zg}$ равны 249,89 кПа, а величина условного расчётного сопротивления слабого подстилающего слоя грунта основания R_z равна 337,7 кПа. Таким образом, выполняется условие $249,89 \text{ кПа} \leq 337,7 \text{ кПа}$.

Выводы

1. Выполнено расчетное обоснование назначения заданной неравномерности нагружения основания, позволяющего снизить глубину сжимаемой толщи основания.
2. Выявлено, что давление пригруза основания ленточных фундаментов, объединенных оболочками в пролетной части, значительно повышает расчетное сопротивление грунта и позволяет пользоваться моделью линейно-деформируемой среды.
3. Формула определения расчетного сопротивления грунтового основания, предложенная А.В. Пилягиным, не раскрывает возможность оценки R для основания крайнего фундамента, имеющего разные значения пригруза с левой и с правой стороны.

Список литературы

1. Брийо Ж.-Л., Никс Дж., Рии К., Штибен Гр. Колонна Сан-Хасинто. Случай из практики // Развитие городов и геотехническое строительство. - СПб. - 2011. - № 13. - С. 152-173.
2. Пилягин А.В. Напряженно-деформированное состояние оснований фундаментов зданий и сооружений / ред.-изд. отдел ЧПИ МГОУ. - Чебоксары, 2010. – С. 128-138.
3. Основания зданий и сооружений : СП 50-13330-2011. - М. : Минрегион России, 2010.
4. Ухов С.Б., Семенов В.В., Знаменский В.В., Тер-Мартirosян З.Г., Чернышев С.Н. Механика грунтов, основания и фундаменты. - М. : АСВ, 1994. - 527 с.
5. Чикишев В.М., Пронозин Я.А., Миронов В.В. К вопросу о деформируемости грунтового основания при равномерном и неравномерном нагружении // Интернет-вестник ВоГАСУ. Сер.: политематическая. - 2012. - Вып. 1 (20).

Рецензенты:

Чикишев Виктор Михайлович, д.т.н., профессор, ректор ФГБОУ ВПО «ТюмГАСУ», г. Тюмень.

Шуваев Анатолий Николаевич, д.т.н., профессор, заведующий кафедрой автомобильных дорог и аэродромов ФГБОУ ВПО «ТюмГАСУ», г. Тюмень.