

ЧИСЛЕННЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ ОСАДОК ПЛИТНЫХ ФУНДАМЕНТОВ НА ГРУНТОВОМ И АРМИРОВАННОМ СВАЯМИ ОСНОВАНИЯХ

Есипов А.В.¹, Демин В.А.¹, Ефимов А.А.¹

¹ФГБОУ ВПО «Тюменский государственный архитектурно-строительный университет», Тюмень, Россия (625001, Тюмень, ул. Луначарского, 2) e-mail: sibstroy.2012@yandex.ru

Актуальная задача строительства эффективных фундаментов неразрывно связана с увеличением удельных нагрузок на грунтовое основание, что приводит к необходимости его усиления при помощи свай. В статье представлены численные исследования осадок плитных фундаментов на естественном и свайном основаниях. Армированное сваями основание выполнялось в трех вариантах с разным количеством и месторасположением свай. Расчеты выполнялись по моделям линейно-деформируемого твердого тела и по модели Мора-Кулона в специализированной геотехнической программе Plaxis 3D Foundation. В результате проведенной работы были получены графики осадок фундаментов, построенные в пределах контактных давлений, соответствующих расчетному сопротивлению грунта. Авторами статьи сделаны выводы о необходимости выполнения расчетов одновременно по двум моделям грунтового основания и выбран наиболее эффективный способ усиления грунтового основания сваями.

Ключевые слова: плитный фундамент, свайное основание, расчет осадок, модель линейно-деформируемого твердого тела, модель Мора-Кулона.

CALCULATION RESEARCH DISPLACEMENT PLATE FOUNDATION ON GROUND AND REINFORCED PILES BASIS

Esipov A.V.¹, Demin V.A.¹, Efimov A.A.¹

¹Tyumen State University of Architecture and Civil Engineering, Tyumen, Russia (625001, Tyumen, st. Lunacharskogo, 2) e-mail: sibstroy.2012@yandex.ru

Actual problem construction effective foundations inseparably linked to the increase in the specific loads on the foundation soil, which leads to the need to strengthen it with the help of piles. The paper presents numerical researches precipitate slab foundation in natural and pile basis. Reinforced piles base is available in three versions with different number and location of piles. Calculations were made on models linearly deformable solids and the Mohr-Coulomb model in specialized geotechnical program Plaxis 3D Foundation. As a result of this work were received graphs displacement within the contact pressure, corresponding calculated resistance of the soil. The authors conclusions are made about the need perform calculations concurrently by two models subgrade and choose the most effective way to strengthen the soil foundation piles.

Keywords: Plate foundation, pile basis, the calculation of displacement model linearly deformable solids, the Mohr-Coulomb model.

В современных условиях строительства городов актуальным вопросом является увеличение этажности зданий [1], что приводит к увеличению удельных нагрузок на фундаменты и резкому повышению стоимости фундаментных конструкций, составляющих значительную часть стоимости строительства каркаса здания в целом.

Как правило, при строительстве на слабых водонасыщенных глинистых грунтах г. Тюмени в качестве фундаментной конструкции применяется сплошная плита на естественном или усиленном основании. Одним из способов улучшения прочностных и деформационных свойств оснований является армирование грунта [2]. В качестве армирующих элементов возможно применении как традиционных забивных или буровых свай, так и применение грунтоцементных свай изготавливаемых по технологии струйной

цементации, занявшей прочное положение среди относительно новых способов устройства свайных конструкций.

Армирование водонасыщенных глинистых грунтов сваями значительно повышает несущую способность фундаментов вследствие снижения деформативности основания, как показывают исследования, на 30÷40 % [3].

В любом случае, сваи в отдельности и свайное поле под фундаментной плитой в целом могут иметь свои конструктивные особенности, влияющие на расчетную схему сооружения:

- материал сваи (железобетон, грунтобетон, сталь, композит и т.д.);
- конструкция сваи (погружаемая в грунт или изготавливаемая в грунте);
- вид сваи (призматическая, цилиндрическая, с наклоном граней, с уширением, лопастная, свая-оболочка и т.д.);
- соединение сваи с фундаментной плитой (шарнирное, жесткое либо без сопряжения);
- сечение и шаг свай (свайный фундамент или комплексный свайно-плитный фундамент, в дальнейшем КСПФ).

Учитывая все многообразие возможных вариантов фундаментов, состоящих из распределительной фундаментной плиты и грунтового либо армированного основания, остановимся на узкой задаче: как влияет количество и расположение армирующих элементов в основании на снижение осадок КСПФ по отношению к базовой конструкции (плите на естественном основании).

В качестве расчетных моделей грунта выберем два варианта:

- Традиционная модель линейно-деформируемого твердого тела, в дальнейшем ЛДТТ;
- Нелинейная упругопластическая модель Мора-Кулона.

Анализ по нелинейной упругопластической модели Мора-Кулона, на наш взгляд, необходим для оценки возможного "срыва" фундамента, происходящего при превышении критических нагрузок на грунтовое или армированное основание, связанного в свою очередь с образованием зон пластических деформаций в грунте. При этом, модель Мора-Кулона достаточно популярна для расчета оснований, так как не требует дополнительного определения большого количества расчетных характеристик грунта.

Применение других нелинейных моделей грунта, требующих специфических показателей грунтов, крайне затруднителен ввиду отсутствия в регионе мощных организаций выполняющих инженерно-геологические изыскания на высоком техническом уровне. Ни для кого не секрет, что при проведении изысканий возникают трудности со статическим зондированием на глубинах более 20 м, штамповыми испытаниями на глубине более 2,5÷3 м, да и вообще с любыми методами определения характеристик грунтов в условиях ненарушенной структуры, т.е. непосредственно на строительной площадке.

Поэтому в качестве грунтовых условий возьмем реальные характеристики грунтов г. Тюмени из достоверных инженерно-геологических изысканий. Данные физико-механических характеристик грунта, полученные в лабораторных условиях, были сопоставлены с данными штамповых испытаний и откорректированы.

Таким образом, расчетная конечно-элементная модель представляет собой область грунта размерами в плане 100×100 м и глубиной 25 м. Грунтовое основание принято в расчете однослойное однородное из мягкопластичного суглинка со следующими физико-механическими характеристиками: удельный вес грунта $\gamma=19,8^{\circ}$ кПа, показатель текучести $J_l=0,61$, удельное сцепление $c_{II}=15$ кПа, угол внутреннего трения $\varphi=23,4^{\circ}$, модуль деформации $E_o=14800$ кПа, модуль упругости $E_y=29500$ кПа, расчетное сопротивление $R_o=446,7$ кПа.



Рис. 1. Общий вид площадки

В центре площадки расположена фундаментная плита размерами 20×20 м, толщиной 1 м и глубиной заложения 2,5 м см. рис. 1. Для армирования основания применены круглые буровые сваи диаметром 0,6 м, длиной 11 м, расположенные с шагом 2 м.

Материал фундаментной плиты и свай монолитный железобетон с модулем упругости $E=3 \times 10^7$ кН/м², модулем сдвига $G=1.25 \times 10^7$ кН/м² и коэффициентом Пуассона $\nu=0,2$.

Несущая способность сваи по грунту составила по результатам статического зондирования 1022 кН при сопротивлениях по нижнему концу 400 кН и по боковой поверхности 30 кН/м.

В качестве КСПФ была применена одинаковая фундаментная плита на трех вариантах армированного сваями грунтового основания см. рис. 2:

КСПФ 1. Расположение свай классическое, непосредственно под фундаментной плитой. Количество свай 100 шт. Нагрузка от фундаментной плиты передается через сваи на более глубокие слои основания с их вовлечение в совместную работу.

КСПФ 2. Сваи расположены как под фундаментной плитой, так и за ее пределами. Количество свай 256 шт. Расположение свай за пределами фундаментной плиты рассчитано на дополнительный эффект от сдерживания поперечных деформаций грунта и, как следствие снижение осадок фундамента.

КСПФ 3. Расположение свай нетрадиционное, за пределами фундаментной плиты. Количество свай 156 шт. Работа свай в грунте по этой схеме происходит на изгиб, сдерживая горизонтальные деформации грунта, выдавливаемого из под фундаментной плиты.

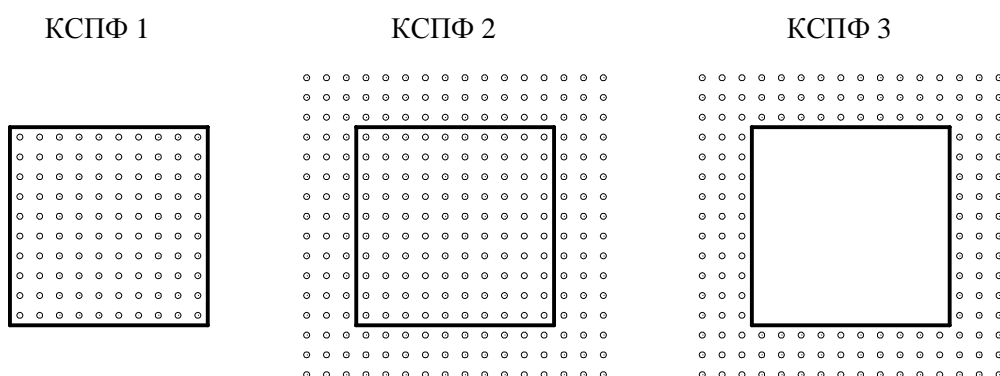


Рис. 2. Варианты фундаментов на свайном основании

Достаточно частый шаг свай 2 м принят с целью оценки максимального эффекта от свай на снижение осадок фундамента в каждом из трех вариантов КСПФ. Очевидно, что при большем шаге свай эффект армирования основания будет снижаться.

Расчет выполнялся в специализированной геотехнической программе Plaxis 3D Foundation. Грунт и сваи смоделированы 3d-элементами.

Деформации основания от собственного веса грунта, изготовления фундаментной плиты и устройства свай обнулялись и для чистоты эксперимента не учитывались.

Нагрузка на поверхность фундаментных плит задавалась площадной, равномерно распределенной, интенсивностью равной расчетному сопротивлению грунта для плиты $R_0=446,7$ кПа.

В таблице 1 приведены сравнительные данные осадок фундаментов по различным грунтовым моделям.

Все без исключения варианты фундаментов показали меньшие осадки по отношению к плите. Однако, КСПФ 1 и КСПФ 2 показали значительное уменьшение осадок -41% и -43% по модели ЛДТТ и -17% и -19% по модели Мора-Кулона соответственно. КСПФ 3 показал уменьшение осадок лишь на -8% по модели ЛДТТ и -4% по модели Мора-Кулона.

Таблица 1. Сравнительные данные осадок фундаментов по моделям грунта

№ п/п	Вид фундамента	Максимальные осадки фундаментов, мм		Разница в осадках между моделями
		модель ЛДТТ	модель Мора-Кулона	
1	Плита	318,4	286,4	-10%
2	КСПФ 1	185,8(-41%)	237,3(-17%)	+27%
3	КСПФ 2	179,7(-43%)	232,1(-19%)	+29%
4	КСПФ 3	292,2(-8%)	274,9(-4%)	-6%

Наименьшее расхождение осадок по моделям ЛДТТ и Мора-Кулона наблюдается у плиты (-10%) и КСПФ 3 (-6%), являющегося, по сути, тоже плитой с расположением свай за пределами пятна здания.

Наибольшее расхождение осадок по моделям ЛДТТ и Мора-Кулона наблюдается у КСПФ 1 (+27%) и КСПФ 2 (+29%), причем, осадка по нелинейной модели стала больше.

Графики осадок фундаментов от нагрузки представлены на рис. 3.

По результатам анализа графиков осадок можно отметить, что у плиты и КСПФ 3 при нагрузке равной расчетному сопротивлению грунта осадки отличаются незначительно и между собой и по моделям, причем, осадки по модели Мора-Кулона начинают опережать осадки по модели ЛДТТ при дальнейшем увеличении нагрузки. При нагрузке 360 кПа начинает сказываться наличие свай у варианта КСПФ 3 и осадки плиты прирастают быстрее.

Осадки КСПФ 1 и КСПФ 2 по модели Мора-Кулона до нагрузки 290 кПа показывают меньшие значения, чем по модели ЛДТТ, причем явный перелом графиков наблюдается с нагрузки 225 кПа.

При нагрузке на фундамент равной расчетному сопротивлению грунта $R_0=446,7$ кПа осадки оказались значительно больше предельно допустимой величины $[S]=180$ мм (для монолитного здания) [4].

Осадки фундаментов соответствующие начальной критической нагрузке и предельной нагрузке на основания в рамках настоящей работы не исследовались.

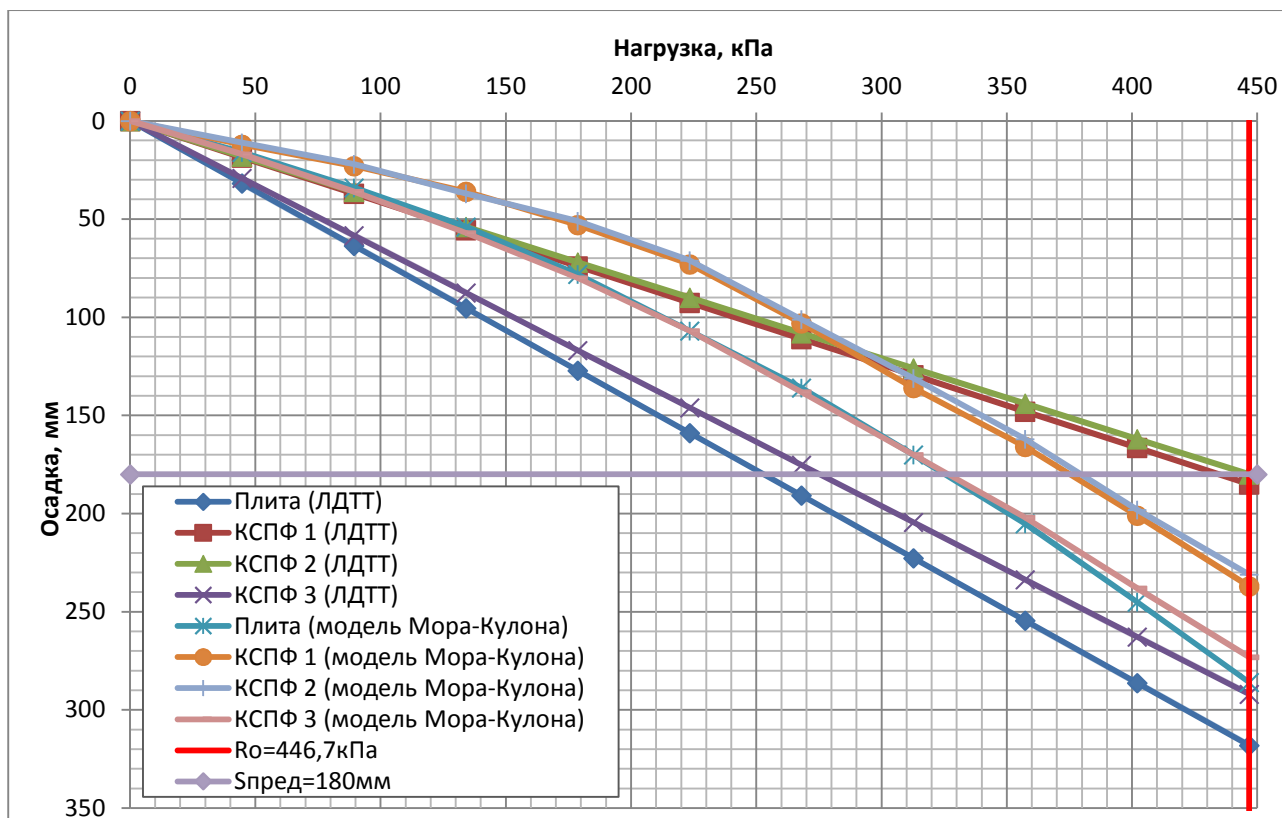


Рис. 3. Графики осадок фундаментов

Несущая способность фундаментов, соответствующая осадке 180 мм представлена в таблице 2.

Таким образом, несущая способность фундаментов при предельно допустимой осадке во всех случаях меньше расчетного сопротивления грунта.

Армирование грунтового основания сваями повышает несущую способность плитного фундамента от 13 % до 76 %.

Таблица 2. Несущая способность фундаментов при осадке 180 мм

№ п/п	Вид фундамента	Несущая способность фундаментов, кПа		Разница в несущей способности между моделями
		модель ЛДТТ	модель Мора-Кулона	
1	Плита	250	325	+30%
2	КСПФ 1	440(+76%)	370(+13%)	-16%
3	КСПФ 2	440(+76%)	370(+13%)	-16%
4	КСПФ 3	275(+10%)	325(0%)	+18%

По результатам проведенных численных исследований плитных фундаментов на естественном и армированных сваями основаниях можно сделать следующие выводы:

1. Оценку несущей способности фундаментов необходимо вести одновременно по линейной и нелинейной моделям, с выполнением требований предельной осадки сооружения и расчетного сопротивления грунта основания.

2. Наиболее эффективным способом повышения несущей способности является расположение свай непосредственно под пятном здания. В этом случае важным вопросом является увеличение длины свай и проведение качественных инженерно геологических изысканий на больших глубинах.

3. Задачей дальнейших исследований может являться оценка влияния длины и шага свай на несущую способность КСПФ и сопоставление полученных результатов численного моделирования с практическими методами расчета армированных оснований [5].

Список литературы

1. Малышкин А.П., Есипов А.В., Бараняк А.И. Современный подход к проектированию высотных зданий в условиях плотной городской застройки. Вестник МГСУ. 2008. № 2. с. 158-162.

2. Мирсаяпов И.Т., Попов А.О. Экспериментально-теоретические исследования работы армированных грунтовых массивов. Известия КазГАСУ. 2008. № 2. с. 75-80.

3. Сафин Д.Р. Исследование деформативности водонасыщенных глинистых грунтов, армированных вертикальными армирующими элементами. Известия КазГАСУ. 2008. № 2. с. 81-84.

4. СНиП 2.02.01.83* Основания зданий и сооружений.

5. Караулов А.М. Практический метод расчета вертикально армированного основания ленточных и отдельно стоящих фундаментов транспортных сооружений. Вестник ТГАСУ. 2012. № 2. с. 183-190.

Рецензенты:

Соколов В.Г., д.т.н., профессор, заведующий кафедрой Строительная механика ФГБОУ ВПО ТюмГАСУ, г. Тюмень.

Мальцева Т.В., д.ф.-м.н., профессор, проректор по научной и инновационной работе ФГБОУ ВПО ТюмГАСУ, г. Тюмень.