Строительство уникальных зданий и сооружений. ISSN 2304-6295. 6 (21). 2014. 104-119

Construction of Unique Buildings and Structures

journal homepage: www.unistroy.spb.ru

Особенности работы слабых глинистых грунтов

В.В. Маскалева[1], **В.Р. Мухамадиев**[2]

ФГАОУ ВО «Санкт-Петербургский политехнический университет», 195251, Россия, Санкт-Петербург, ул. Политехническая, 29.

Информация о статье

УДК 69.05

Аналитический обзор

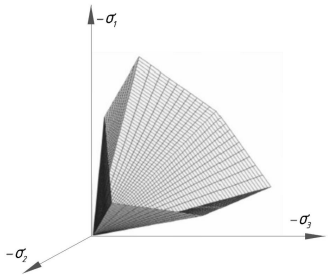
История

Подана в редакцию 16 апреля 2014
Принята 4 июня 2014

Ключевые слова

безопасность городской застройки,
модель работы грунта,
пластические деформации грунта,
модель Cam Clay,
модель Кулона-Мора,
водонасыщенные глинистые грунты.

АННОТАЦИЯ



Статья посвящена рассмотрению методологии расчета оснований, обеспечивающей безопасность городской застройки при строительстве зданий и сооружений (включая подземные сооружения) в сложных инженерно-геологических условиях Санкт-Петербурга.

Объектом исследования являются водонасыщенные глинистые отложения различного генезиса и возраста малой и средней степени литификации, распространенные на территории Санкт-Петербурга. Приведен критический анализ наиболее распространенных математических моделей работы грунта и оценка границ их применимости.

Для обоснования актуальности применения расчетных моделей, которые позволяют с удовлетворительной точностью описать стандартные лабораторные опыты, полевые испытания (например, штамповые) и натурные наблюдения на опытных площадках, в данном отчете приводятся результаты проведенных аналитических исследований: – анализа ситуации в подземном строительстве региона с выделением приоритетных проблем; – анализ нелинейных моделей работы грунта, применяемых в наиболее популярных программах расчета: идеально упругопластической модели с критерием прочности Кулона-Мора, модели Cam Clay, других разновидностей шатровых моделей, модели с двойным упрочнением; – анализ применимости моделей для описания поведения грунта в условиях нагружения и разгрузки; – анализ модели расчета деформаций оснований, сложенных глинистыми грунтами, отвечающей основным представлениям физико-химической механики.

Содержание

Введение 105
Обзор литературы 105
Цели и задачи 106
Анализ нелинейных моделей работы грунта 106
Идеально-упруго-пластическая модель с предельной поверхностью, описываемой критерием Кулона-Мора (модель Кулона-Мора) 107
«Шатровые» модели. Модифицированная модель Cam Clay 107
Другие модификации модели Cam Clay 109
Модели «с двойным упрочнением» 109
Вязко-упруго-пластическая модель поведения глинистого грунта 110
Методология вязко-упруго-пластической модели поведения глинистого грунта 112
Пример определения параметров модели 113
Заключение 114

[1] *Контактный автор:*
+7 (981) 167 1322, vera.maskaleva@gmail.com (Маскалева Вера Владимировна, магистр)
[2] +7 (921) 318 4854, mucha@list.ru (Мухамадиев Владимир Радиевич, студент)

Введение

Развитие крупнейших городов мира сегодня невозможно представить без освоения подземного пространства, глубокой реконструкции кварталов сложившейся городской застройки и высотного строительства, которые также связаны с устройством подземных объемов. Для Санкт-Петербурга, с его обширным историческим центром, использование подземного пространства является особенно актуальным, поскольку позволяет вдохнуть жизнь современного мегаполиса в архитектурную среду, не искажая классического облика города [1].

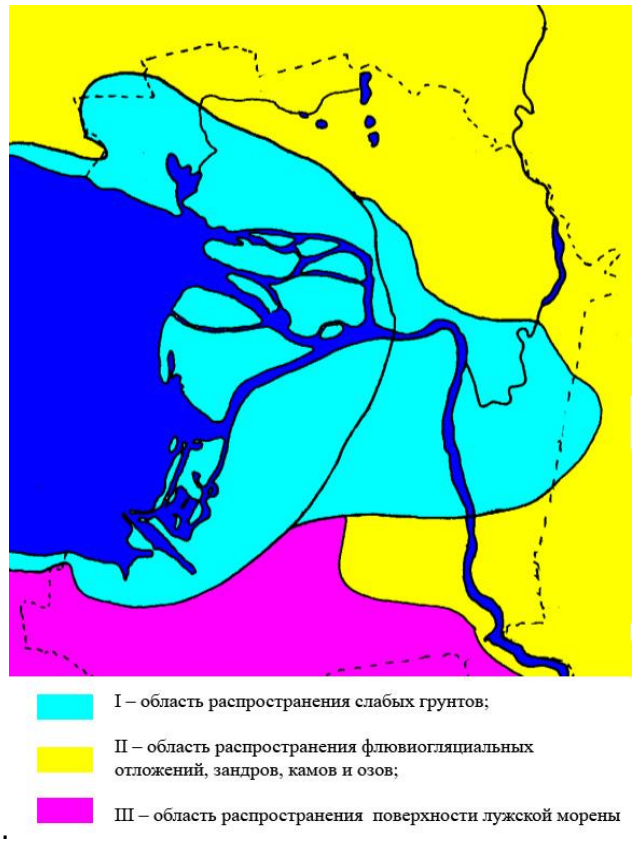


Рисунок 1. Области распространения грунтов

В качестве несущего слоя для свайных фундаментов, сооружаемых по современным технологиям, наибольшее практическое значение имеет лужская морена (рисунок 1), которая является наиболее выдержанным, четко прослеживающимся по всей территории города верхним горизонтом.

Санкт-Петербург уникален по своему расположению. Он встал на стыке Балтийского щита и Русской платформы. Пласты глин кембрийского периода были, в буквальном смысле, выдавлены ближе к поверхности с многокилометровой глубины - в результате сближения этих двух крупнейших структур земной коры [20].

При строительстве подземных сооружений (метро, многоуровневые подземные сооружения и даже фундаменты наземных сооружений) стараются дойти до слоя кембрийских глин.

Обзор литературы

Большой вклад в разработку нелинейных моделей работы грунта внесли следующие ученые: Шарль Огюсте́н де Кулóн, Христиан Отто Мор (идеально упругопластическая модель) [2], Ю.К. Зарецкий (модель с "двойным упрочнением") [9], Роско К.Х., Борланд Д.Б (модифицированная модель Cam Clay) [11], М.Г. Джеффрис, Д.А. Шаттл (другие модификации модели Cam Clay) [12].

Шашкин А.Г., Шашкин К.Г. разработали вязко-упруго-пластическая модель работы грунта, позволяющей повысить точность прогноза деформаций оснований зданий и сооружений благодаря

независимому описанию поведения глинистых грунтов при уплотнении и формоизменении и учету вязкости как функции их напряженного состояния [6].

Несмотря на изобилие нелинейных моделей работы грунта, существуют некоторые проблемы, возникающие при назначении модели в конкретном случае. Поэтому для достоверного прогноза работы геотехнического сооружения необходимо учесть следующие аспекты:

- обоснование выбора адекватной модели грунта в соответствии с целью выполняемых расчетов;
- параметры модели должны определяться на основании сопоставления лабораторных и полевых испытаний грунтов с соответствующими тестовыми расчетами в рамках выбранной модели;
- неправильный выбор модели и ее расчетных параметров может привести к неверным решениям по конструкции, технологии строительства и режимам эксплуатации, что может стать причиной аварийной ситуации для геотехнической системы.

Цели и задачи

В настоящее время, когда благодаря развитию вычислительной техники совместные расчеты зданий (сооружений) и оснований становятся реальной основой проектирования особенно заметно, что реальная точность расчетов деформаций основания значительно ниже тех требований, которые предъявляются к расчету надземных конструкций. В проектной практике укоренилось некритичное отношение к выбору расчетных моделей и реализующих их программ, а также к результатам расчетов.

В связи с этим весьма актуальным представляется применение расчетной модели работы водонасыщенных глинистых грунтов, свободной от недостатков известных моделей, позволяющей с удовлетворительной точностью описать стандартные лабораторные опыты, полевые испытания (например, штамповые) и натурные наблюдения на опытных площадках. При этом для корректного сравнения результатов расчетов и наблюдений необходимо применять такие расчетные модели, которые позволяли бы рассматривать развитие деформаций во времени.

Анализ нелинейных моделей работы грунта

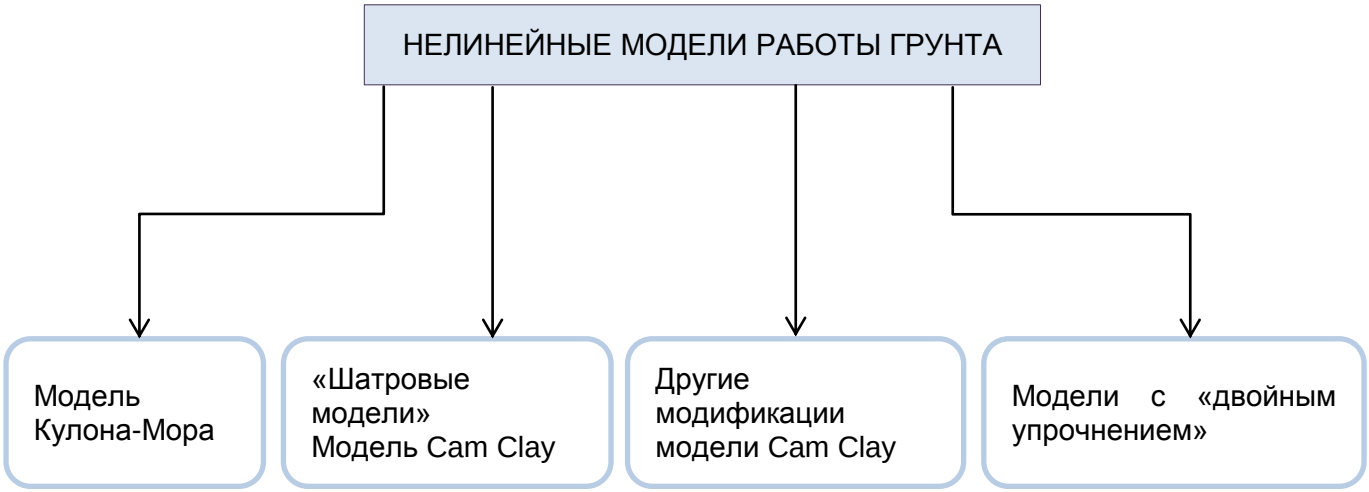


Рисунок 2. Нелинейные модели работы грунта

Идеально-упруго-пластическая модель с предельной поверхностью, описываемой критерием Кулона-Мора (модель Кулона-Мора)

Самой простой нелинейной моделью работы грунта является общеизвестная идеально упругопластическая модель с предельной поверхностью, определяемой критерием Кулона-Мора (рисунок 3). Преимущество модели заключается в простоте назначения параметров, которые можно почерпнуть в любом отчете по инженерно-геологическим изысканиям [2].

Модель предусматривает одинаковое поведение материала на фазе первичного нагружения и разгрузки, что совершенно нехарактерно для грунтов (у которых модуль нагружения и разгрузки отличается, как известно, в 5…10 раз) [3].

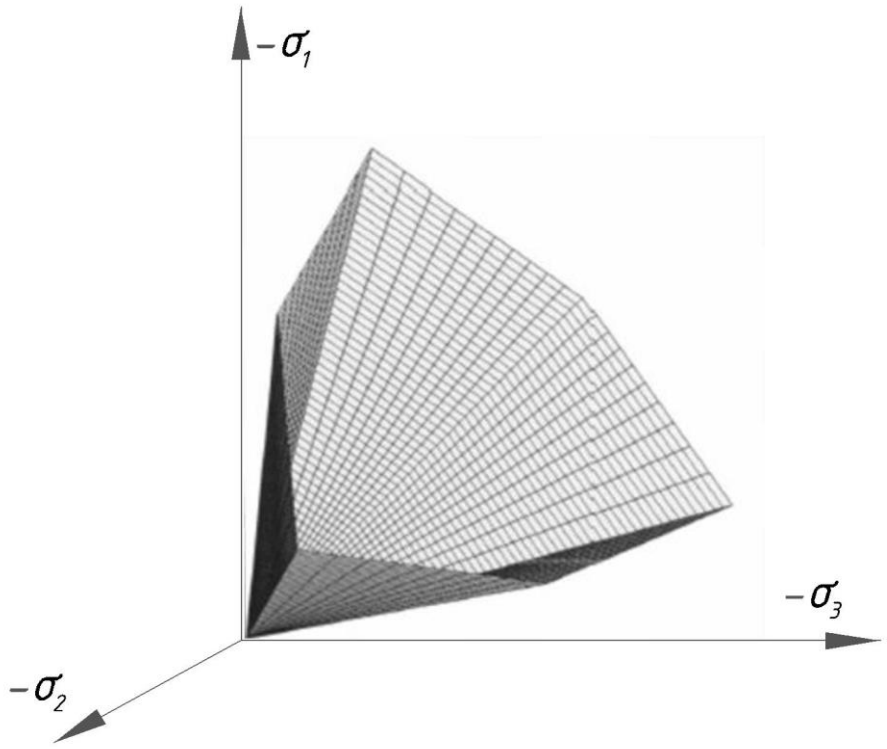


Рисунок 3. Предельная поверхность, определяемая критерием Кулона-Мора

«Шатровые» модели. Модифицированная модель Cam Clay

Более полно работу грунта описывают шатровые модели. Наиболее известной моделью из этого класса является модифицированная модель Cam Clay (Роско К.Х., Борланд Д.Б 1968 [11]). Эта модель удачно описывает траектории первичного нагружения грунта, но дает принципиально неверный результат на траекториях разгрузки. В этой модели область упругого состояния ограничивается не только поверхностью, описываемой критерием Кулона-Мора, но также дополнительной эллиптической поверхностью «шатра». Обычно модель строят в координатах $p = 1/3(\sigma1 + \sigma2 + \sigma3)$ и $q = 1/2(\sigma1 – \sigma2)$ [4].

Деформации грунта полностью обратимы, если уровень напряжений, действующих на элементарный объем грунта, не выходит за пределы поверхности нагружения, ограничивающей зону шатра на рис. 4. Активное нагружение грунта, выходящее за пределы упругой зоны приводит к развитию как обратимых, так и необратимых деформаций, а также к изменению положения поверхности нагружения.

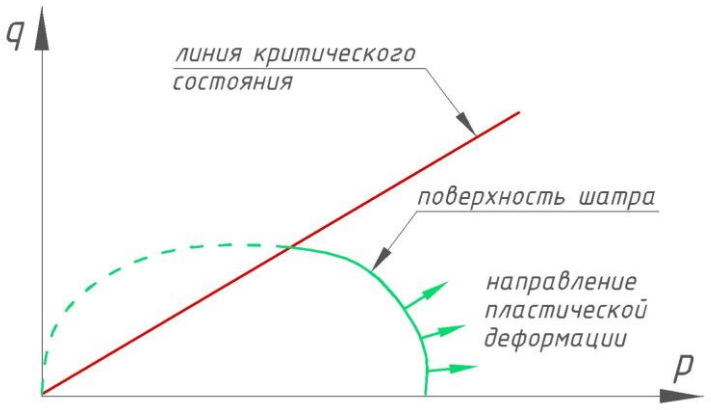


Рисунок 4. Схема построения классической модели Cam-Clay

Поверхность шатра необходима, чтобы определить направление развития пластических деформаций. В соответствии с постулатом Друкера предполагается, что вектор пластических деформаций направлен перпендикулярно поверхности нагружения. Так же необходим закон, описывающий объемные деформации (рисунок 5). Обычно используют логарифмическую функцию [5].

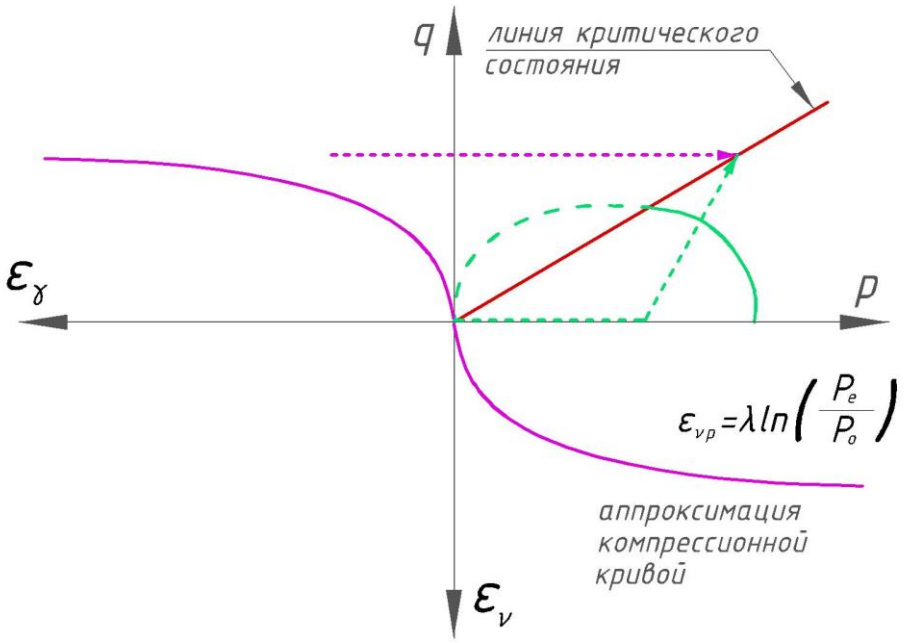


Рисунок 5. Схема построения модели Cam-Clay

За поверхностью шатра появляются необратимые пластические деформации, которые вычисляются через поверхность шатра. Зная приращение объемных деформаций можно вычислить и приращение сдвиговых. В основном эти модели отличаются формой шатра, но общая идея остается прежней.

Другие модификации модели Cam Clay

Количество модификаций модели Cam Clay, появившихся за последние десятилетия столь велико, что выполнить подробный анализ особенностей работы этих модификаций и даже просто относительно полный обзор в рамках данной работы не представляется возможным. Отметим основанные направления, по которым осуществляется развитие нелинейных моделей. Самая простая модификация модели типа Cam Clay заключается в изменении формы шатровой поверхности. Такие модели изложены в работах Питрушчак С., Мроз З. (1980), Дидуха Б.И. (1987), Джеффрис М.Г., Шаттл Д.А. (2005) и многих других [12, 13].

Модели «с двойным упрочнением»

В отдельное направление можно выделить модели, в которых вводится независимый закон поведения грунта при деформациях формоизменения, а область упрочнения при сдвиге развивается независимо от объемных деформаций. К таким моделям относятся модель Зарецкого Ю.К. и упрочняющаяся модель (Hardening Soil Model) в известной программе PLAXIS [9].

Таблица 1. Анализ основных моделей поведения грунта

Название модели	Преимущества	Недостатки
Модель Кулона-Мора	Простота назначения параметров, которые можно почерпнуть в любом отчете по инженерно-геологическим изысканиям;	1. Описывая пластические сдвиговые деформации, она полностью игнорирует нелинейность при объемном сжатии. Все деформации внутри предельной поверхности являются упругими и обратимыми. В результате модель лишь немного дополняет линейную модель, ограничивая уровень напряжений сдвига; 2. Возможно нахождение грунта в предельном состоянии на стадии природного напряженного состояния.
«Шатровые» модели. Модифицированная модель Cam Clay	1. Меньшее количество входных параметров, по сравнению с моделью Кулона-Мора; 2. Простота и ясность определяющих уравнений.	1. Результаты моделирования в этом случае могут быть достаточно грубыми и плохо согласующимися с реальными данными; 2. Основным недостатком классических моделей типа Cam Clay является не вполне корректное описание сдвиговых деформаций грунта. Криволинейную зависимость между сдвиговыми деформациями и касательными напряжениями можно получить только при пересечении траектории нагружения с криволинейной поверхностью шатра. При этом зависимость между напряжениями и деформациями полностью определяется видом поверхности

Название модели	Преимущества	Недостатки
		нагружения, т. е. шатра. 3. Отсутствие учета сцепления для глинистых грунтов. Сцепление при таком подходе является следствием предыдущего уплотнения
Другие модификации модели Cam Clay	1. Поскольку поведение модели при нагружении по траектории раздавливания определяется законом уплотнения и формой шатра, изменение вида поверхности «шатра» в некоторых случаях позволяет приблизить работу модели к эксперименту.	1. Работа модели Cam Clay в классической формулировке уже достаточно сложна и порой не вполне очевидна. Усложнение математического аппарата модели ведет и к усложнению ее поведения.
Модели «с двойным упрочнением»	1. Наиболее перспективное направление, позволяющее учесть наличие пластических деформаций формоизменения на различных траекториях нагружения	1. Перегруженность большинства моделей математическими зависимостями, не имеющими под собой физических обоснований. 2. При практическом применении сложность моделей играет скорее негативную роль, не всегда позволяя исследователю четко представить себе особенности работы модели в различном напряженном состоянии.

Подводя итог критическому анализу рассмотренных нелинейных моделей, можно отметить перегруженность большинства моделей математическими зависимостями, не имеющими под собой физических обоснований.

В связи с вышесказанным, весьма актуальна разработка математической модели работы водонасыщенных глинистых грунтов малой и средней степени литификации, свободной от недостатков известных моделей (в частности, от необходимости введения искусственных критериев ограничения сжимаемой толщи), которая позволяла бы рассматривать во времени не только процесс уплотнения, но и процесс формоизменения и при этом использовать параметры модели, определенные по результатам стандартных лабораторных испытаний.

Вязко-упруго-пластическая модель поведения глинистого грунта

Шашкин А.Г. – канд. техн. наук, генеральный директор НПО «Георекнструкция-Фундаментпроект», секретарь ГЭКК по основаниям, фундаментам и подземным сооружением при Администрации Санкт-Петербурга разработал вязко-упруго-пластическую модель работы грунта. Она позволяет повысить точность прогноза деформаций оснований зданий и сооружений благодаря независимому описанию поведения водонасыщенных глинистых грунтов при уплотнении и формоизменении и учету вязкости как функции их напряженного состояния.

Согласно представлениям физико-химической механики глинистый грунт представляет собой дисперсную структурированную систему, состоящую из дисперсной фазы – структурного каркаса, образованного дисперсными частицами, окруженными оболочками связанной воды и дисперсионной

среды – воды. Вода иммобилизована в порах структурного каркаса и не образует гидравлически непрерывную жидкую фазу [6].

Таблица 2. Грунты Санкт-Петербурга

Прочные грунты	**Слабые грунты**	**Неустойчивые грунты**
1. Дисперсные R_0=0,15-1,0 МПа а) обломочные плотные и средней плотности; б) глинистые тугопластичные, полутвердые и твердые	**1. Глинистые** R_0=0,05-0,15 МПа мягкопластичные, текучепластичные и текучие супеси, суглинки и глины	**1. Техногенные** **2. Рыхлые обломочные** **3. Просадочные** **4. Набухающие** **5. Пучинистые** **6. Засоленные** **7. Элювиальные** **8. Суффозионно-опасные** **9. Кастующиеся** R_0 - в широком диапазоне
Деформации при нагружении		
1. Упругие 2. Остаточные 3. Сокращающие поровое пространство	1. Пластические без сокращения объема	1. Просадки 2. Провалы 3. Блоковые смещения

Примечание: $R_{сж}$ - временное сопротивление сжатию; R_0 - расчетное сопротивление.

Для глинистых грунтов Санкт-Петербургского региона характерен коагуляционный тип структурных связей (дисперсные частицы взаимодействуют через водные оболочки). Эти связи обладают свойством обратимости, т.е. способностью к восстановлению после нарушения. При этом сравнительно быстрое восстановление претерпевают так называемые тиксотропно нарушенные связи (по данным различных исследователей, время тиксотропного восстановления грунтовой пасты, приготовленной из петербургских озерно-ледниковых суглинков, составляет порядка двух недель). При длительном воздействии или длительном наблюдении поведение грунта приближается к работе вязкой жидкообразной среды [9].

Расструктуренный грунт не обладает синеретическими связями, тиксотропные связи разрушаются довольно быстро. Такой грунт работает как жидкообразная среда, характеризующаяся существенно меньшей вязкостью. При приложении сжимающих объемных напряжений наблюдается некоторый порог нагружения, до которого грунт работает как квазиоднофазная среда, без изменения содержания дисперсной среды (воды) в объеме грунта. При превышении этого порога происходит образование гидравлически непрерывной жидкой фазы (воды) и грунт становится квазидвухфазным.

Предположение о квазистабильном недоуплотненном состоянии глинистых грунтов вполне соответствует представлению о процессе образования таких отложений, сформулированному Н.Н. Масловым (1982): «процесс уплотнения может идти лишь до некоторого предела, определяемого влиянием характерного для данной обстановки начального градиента. Этот предел представляет собой, в свою очередь, величину плотности и влажности грунта, остающуюся постоянной по глубине толщи». Сходные по свойствам слабые глинистые грунты можно встретить как выше моренных отложений, так и в качестве межморенных разностей на значительных глубинах [7].

Вязко-упруго-пластическая модель была подвергнута тщательной верификации. На объектах, на которых были проведены натурные исследования изменения напряженно деформированного состояния основания или же выполнялись многолетние наблюдения за осадками, осуществлялось моделирование

геотехнической ситуации с использованием предложенной модели и сравнение результатов расчетов с результатами наблюдений [8].

Методология вязко-упруго-пластической модели поведения глинистого грунта

Таблица 3. Параметры вязко-упруго-пластической модели грунта

Параметры упругого поведения	**Параметры поведения грунта при сдвиге**	**Параметры аппроксимации кривой объемного сжатия**	**Реологические параметры**
Могут подбираться по: – данным сейсмических – лабораторных – натурных испытаний по величинам скоростей продольных и поперечных волн в грунте, а также по кривым разгрузки и повторного нагружения при компрессионных и стабилометрических испытаниях.	Определяются из стандартных трехосных испытаний в неконсолидированно-недренированных условиях.	Для аппроксимации объемного сжатия необходимо 2 параметра: λ и p_0. Эти параметры можно получить из компрессионных испытаний грунта. В практических расчетах в качестве параметров модели можно задавать вместо λ модуль деформации и интервал давлений, в котором он получен.	Получение реологических параметров для глинистых грунтов в лабораторных условиях представляет наибольшую сложность, поскольку требует длительных испытаний.
E_0 – модуль упругости; μ – коэффициент Пуассона; K_w – объемный модуль сжимаемости поровой жидкости [9]	γ_c – величина пластических деформаций сдвига при достижении предельного состояния; n – степень, определяющая кривизну зависимости $\tau - \gamma$ c – удельное сцепление; φ – угол внутреннего трения φ^* – угол внутреннего трения при разгрузке. Для практических расчетов в глинистых грунтах принимается $\varphi^* \approx 0$, а в песчаных $\varphi^* \approx \varphi$ [9]	E – модуль деформации грунта, полученный в известном интервале напряжений $\sigma_{z2} - \sigma_{z1}$; p_0 – параметр, имеющий размерность давления и определяющий кривизну компрессионной кривой [9]	k_f – коэффициент фильтрации грунта; η_0 – начальная вязкость; α – коэффициент релаксации напряжений, определяющий установившуюся ползучесть [9]

Пример определения параметров модели

В качестве примера рассмотрим определение параметров модели по данным стандартных компрессионных и стабилометрических испытаний.

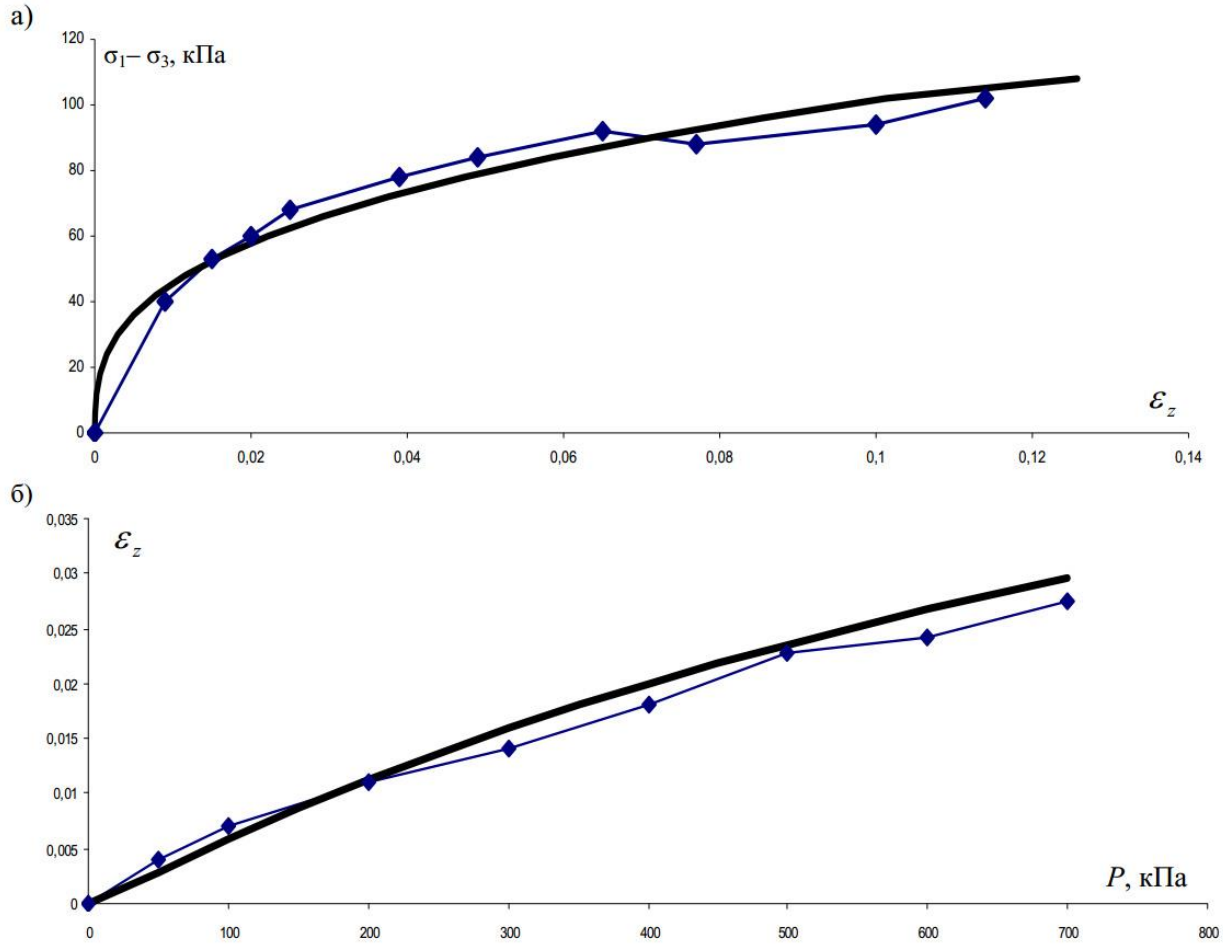


Рисунок 6. Подбор параметров модели по данным лабораторных испытаний:
а – стабилометрические испытания; б – компрессионные испытания;
1 – экспериментальные данные; 2 – моделирование эксперимента с помощью рассмотренной модели

Графики компрессионных и стабилометрических испытаний для образцов моренного суглинка приведены на рисунке 6 [8]. По этим графикам были назначены следующие параметры модели:

E = 21400 кПа; σ_{z1}=300 кПа σ_{z2} =700 кПа; p_0 =300 кПа.

γ_c = 0.17; ***n*** =3; ***c*** =51 кПа;

φ =29; φ^* =0 [8].

λ – постоянная Ламе – величина, связывающая компоненты упругого напряжения в какой-либо точке твёрдого изотропного деформируемого тела с компонентами деформации в этой же точке [9].

Как видно из рис. 6, результаты моделирования указанных опытов показывают, что рассмотренная модель позволяет с достаточной точностью описать поведение грунта в условиях компрессионных и трехосных испытаний.

Как известно, в компрессионных испытаниях присутствуют не только объемные деформации, но и деформации формоизменения, поэтому поведение грунта при компрессии будет определяться зависимостями для деформаций сдвига. Объемное давление ***p*** в одометрических условиях будет определяться выражением $p = \frac{1}{3(\sigma_x+\sigma_y+\sigma_z)}$.

При достаточно высоком давлении $p \gg c$, горизонтальные давления в одометре можно приближено выразить из условий предельного равновесия:

$$\sigma_x = \sigma_y = \sigma_z * tan^2\left(45 - \frac{\varphi}{2}\right) - 2c * \tan(45 - \frac{\varphi}{2})$$

Общая вертикальная деформация будет складываться из упругой и пластической составляющей:

$$\varepsilon_v = \varepsilon_z = \varepsilon_{vp} + \varepsilon_{ve} = \lambda * \frac{\ln(\sigma_z k_v - k_c + p_0)}{p_0} + \beta \frac{\sigma_z}{E_B} \quad (1)$$

где $k_v = \frac{1}{3\left(1+tan^2\left(45-\frac{\varphi}{2}\right)\right)}$, $k_c = \frac{4}{3}c * \tan\left(45 - \frac{\varphi}{2}\right)$,

$\beta = 1 - \frac{2\mu^2}{1-\mu}$,

E_e – упругий модуль грунта (модуль разгрузки).

Модуль деформации в интервале напряжений σ_{z2}–σ_{z1} будет определяться выражением:

$$E = \beta \frac{\sigma_{z2} - \sigma_{z1}}{\varepsilon_{z2} - \varepsilon_{z1}} \quad (2)$$

Подставляя (1) в (2), получим:

$$\lambda = \beta \frac{\sigma_{z2} - \sigma_{z1}}{E * \frac{\ln(\sigma_{z2} k_v - k_c + p_0)}{\sigma_{z1} k_v - k_c + p_0}} \quad (3)$$

Таким образом, в практических расчетах в качестве параметров модели удобно задавать вместо λ модуль деформации и интервал давлений, в котором он получен. Параметр p_0 определяет кривизну компрессионной кривой и подбирается по ее виду (чем больше величина данного параметра, тем меньше кривизна компрессионной кривой) [13].

Заключение

1. Рассмотренная выше модель позволяет описать достаточно сложное нелинейное поведение основания во времени. Основной идеей построения вязко-упруго-пластической модели поведения грунта является независимое описание упрочнения при деформациях уплотнения и формоизменения. Параметры объемного сжатия определяются по аппроксимации кривой трехосных консолидировано-дренированных испытаний или из компрессионных опытов. Параметры поведения грунта при сдвиге назначаются из стандартных трехосных испытаний по неконсолидированно-недренированной схеме, в которых для полностью водонасыщенного грунта объемная деформация практически отсутствует и имеют место деформации формоизменения [8].

2. Для оценки развития деформаций следует использовать метод послойного суммирования со стандартным ограничением глубины сжимаемой толщи, предусмотренный в СНиП 2.02.01.83* [15] – для фундаментов на естественном основании. Применение метода расчета осадок для фундаментов на естественном основании, представленного в СП 22.13330.2011 [16], в условиях залегания слабых глинистых отложений, характерных для центральной части Санкт-Петербурга и примыкающих районов, не рекомендуется.

3. Рассмотренная вязко-упруго-пластическая модель, реализованная в программе FEM-models, помогает решать сложные задачи, возникающие при проектировании фундаментов и реконструкции зданий и сооружений.

– станции метро

Для решения задач о реконструкции вестибюлей станций метрополитена выполнен совместный расчет системы «новое здание – сооружение метрополитена – основание» в программе FEM-models (рис. 7).

– жилые дома и бизнес-центры

Объекты, «встроенные» ткань старого города. Главной проблемой при этом становится обеспечение сохранности соседней застройки. Организацией «Георекнструкция-Фундаментпроект» была

проведена большая работа по адаптации западных технологий устройства свай к инженерно-геологическим условиям нашего города. Были определены щадящие технологические режимы, безопасная последовательность изготовления свай.

Для исключения опасных осадок окружающей были разработаны территориальные нормы ТСН 50-302-2004 «Проектирование фундаментов зданий и сооружений в Санкт-Петербурге» [8].

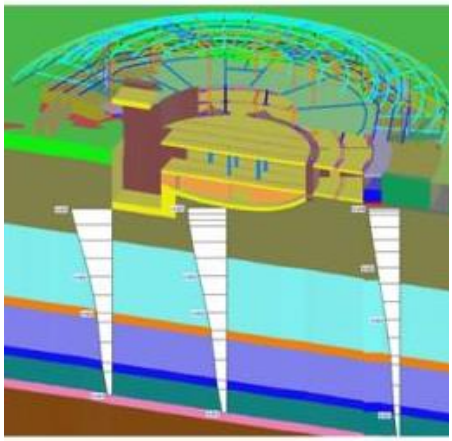


Рисунок 7. Модель станции метрополитена «Горьковская» в программе FEM-models

– подземные сооружения

До последнего времени единственным подземным сооружением в Петербурге было метро. Оно устраивалось так называемым закрытым или тоннельным способом с помощью проходческих щитов. Глубоких котлованов в среде сложившейся городской застройки не строилось. Причиной этого являются специфические геологические условия Петербурга, а именно, наличие до глубины 20 – 30 м слабых глинистых отложений. На основе анализа данных натурных исследований созданы уникальные расчетные модели работы петербургских грунтов. Сегодня на базе наших расчетов спроектировано и построено крупнейшее в Санкт-Петербурге подземное сооружение на Комендантской площади [10].

– дворцы и памятники архитектуры

Каменноостровский театр уникален в геотехническом отношении. Для сохранения исторического здания все новое, что требовалось для создания современного театра, было спрятано под землю. Под зданием исторического деревянного театра возникло обширное подземное пространство шестиметровой глубины, в котором разместились гардеробы, санузлы, фойе, кафе, склады декораций, подсобные технические помещения. И главное, там разместилось самое современное театральное оборудование.

На этом объекте впервые в геотехнической практике в Санкт-Петербурге был реализован метод top-down, причем в его наиболее сложном реставрационном варианте (вверх шла реставрация исторического здания, вниз – новое подземное [21].

4. Использование для исследований длительных натурных наблюдений является необходимым, поскольку позволяет оценить точность геотехнических прогнозов с применением различных моделей механики грунтов. На основе верификации с данными натурных наблюдений необходимо дальнейшее развитие реологических моделей учитывающих длительные сдвиговые деформации, а также коэффициенты релаксации (на стадии ползучести) [17-19].

5.Научно-практическое сопровождение нового строительства или реконструкции на урбанизированной территории благодаря применению вязкопластической модели становится эффективным инструментом по обеспечению безопасности соседней застройки, поскольку позволяет расчетным путем определить статические составляющие дополнительной осадки (недостающие технологические компоненты осадки могут определяться посредством технологических испытаний и контролироваться в ходе мониторинга); тем самым становится возможным на практике обеспечить соблюдение интегрального критерия по ограничению всей совокупности дополнительных осадок соседней застройки [22-24].

Литература

1. Шашкин А.Г. Технология устройства подземного объема под историческим зданием (на примере Каменноостровского театра) // Геотехника. 2010. № 5. С. 18-29.
2. Миронов В.А., Софьин О.Е. Упругопластическое деформирование дилатирующего грунта и грунтового основания // Известия высших учебных заведений. Строительство. 2008. № 7. С. 1-13.
3. Строкова Л.А. Определение параметров для численного моделирования поведения грунтов // Известия Томского политехнического университета. 2008. Т. 313. № 1. С. 69-74.
4. Шашкин А.Г. Критический анализ наиболее распространенных нелинейных моделей работы грунта // Инженерная геология. М.: 2010. №3. С.29-37.
5. Иосилевич В.А., Рассказов Л.И., Сысоев Ю.М. Об особенностях развития поверхнеостей нагружения при пластическом упрочнении грунта. Избранные труды. Изд. Московского Университета, 2005.
6. Шашкин А.Г. Описание деформационного поведения глинистого грунта с помощью вязко-упругопластической модели // Инженерная геология. 2010. № 4. С. 22-32.
7. Расчет осадок зданий и сооружений на слабых глинистых грунтах с учетом деформаций сдвига во времени / Лучкин М.А., Улицкий В.М., Шашкин А.Г., Шашкин К.Г. // Известия Всероссийского научно-исследовательского института гидротехники им. Б.Е. Веденеева. 2007. Т. 246. С. 69-78.
8. Шашкин А.Г. Геотехническое сопровождение развития городов / Улицкий В.М., Шашкин А.Г., Шашкин К.Г. СПб: Изд. «Стройиздат Северо-Запад», «Геореконструкция», 2010. 551 с.
9. Шашкин А. Г., Шашкин К. Г. Упруго-вязко-пластическая модель структурно-неустойчивого глинистого основания // Реконструкция городов и геотехническое строительство. 2005. № 9. С. 221-228.
10. Шашкин А.Г. Геотехническое обоснование сложных технологий реконструкции зданий на слабых грунтах/ В.М.Улицкий, А.Г. Шашкин // Основания, фундаменты и механика грунтов. М.: 2007. № 3 . С.3-8.
11. Pietruszczak S., Mroz Z. (1980). Numerical Analysis Accountingor Material Hardening and Softening. Int. J. Rock Mech. Min. Sci. And. Geomech. Abstr. 1980. Vol. 17. Issue 4. Pp. 199-207.
12. Brinkgreve R.B.J., Vermeer P.A. (2006). PLAXIS: Finite element code for soil and rock analyses. Plaxis Bulletin. 2006. Issue 19. Pp. 1-20.
13. Pietruszczak S., Mroz Z. (1980). Numerical Analysis Accountingor Material Hardening and Softening. Int. J. Rock Mech. Min. Sci. And. Geomech. Abstr. 1980. Vol. 17. Issue 4. Pp. 199-207.
14. ТСН 50-302-2004. «Проектирование фундаментов зданий и сооружений в Санкт-Петербурге».
15. СНиП 2.02.01.83 «Основания зданий и сооружений»
16. СП 22.13330.2011 Основания зданий и сооружений. Актуализированная редакция СНиП 2.02.01-83*
17. Рыжков И.Б., Исаев О.Н. Статическое зондирование грунтов. М.: АСВ, 2010. С. 23, 88.
18. Зиангиров Р.С., Каширский В.И. Оценка деформационных свойств дисперсных грунтов по данным статического зондирования // Основания, фундаменты и механика грунтов. 2005. № 1. С. 12-16.
19. Засорин М.С. Исследования влияния физико-механических свойств глинистых грунтов на прочностные свойства грунтобетона // Горный информационно-аналитический бюллетень (научно-технический журнал). 2011. № 5. С. 245-253.
20. Чистобаев А.И., Семенова З.А. Состояние окружающей среды как фактор воздействия на здоровье населения Санкт-Петербурга // Вестник Балтийского федерального университета им. И. Канта. 2012. № 1. С. 80-90.
21. Васильев В. А., Калмыкова М. А. Анализ и выбор программных продуктов для решения инженерных задач приборостроения // Современная техника и технологии. 2013. № 3 (19). С. 25-34.
22. Tomlinson M. J., John Woodward. (2003). Pile Design and Construction Practice. Taylor & Francis, 432 p.
23. Poulos H.G. (2001) Piled raft foundation: design and applications. Geotechnique, Vol. 51. Issue 2. Pp. 95-113.
24. Venkatramaiah C. G. (2007). Geotechnical engineering. New Age International, 2007. 926 p.

Features of the weak clay soils

V.V. Maskaleva[1], **V.R. Mukhamadiev** [2]

Saint-Petersburg Polytechnical University, 29 Polytechnicheskaya st., St.Petersburg, 195251, Russia

ARTICLE INFO

Technical paper

Article history

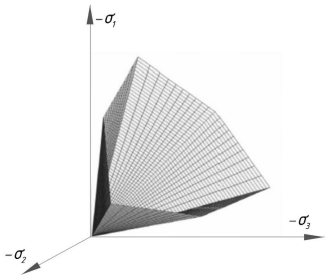
Received 16 April 2014
Accepted 4 June 2014

Keywords

safety of urban construction,
model of soil,
plastic soil deformation,
Cam Clay model,
model of Coulomb-Mohr,
EDP Cap Model,
foundation deformation.

ABSTRACT

The Article considers methodology of foundation calculation, providing safety of urban construction in difficult engineering - geological conditions of St.-Petersburg. Object of research is waterlogged argillous adjournment of various genesis and age of small and average degree. The article analyzes most widespread mathematical models of soil. The article gives the results of research: - the analysis of a situation in underground building of the St.-Petersburg region; - the analysis of nonlinear soil models, applied in most popular programs of calculation: model of Coulomb-Mohr, models of Cam Clay, EDP Cap Model, models with double hardening. - the analysis of soil in the conditions of a weighting and discharge - the analysis of soil model combined by clayey grounds.



[1] *Corresponding author:*
+7 (981) 167 1322, vera.maskaleva@gmail.com (Vera Vladimirovna Maskaleva, M.Sc.)

[2] +7 (921) 318 4854, mucha@list.ru (Vladimir Radievich Mukhamadiev, Student)

Маскалева В.В., Мухамадиев В.Р. Особенности работы слабых глинистых грунтов. /
Maskaleva V.V., Mukhamadiev V.R. Features of the weak clay soils. ©

References

1. Shashkin A.G. (2010). Arrangement technology of the underground space under a historic building (by the example of the Kamennoostrovsky theater). *Geotekhnika*. 2010. Issue 5. Pp. 18-29. (rus)
2. Mironov V. A., Sofyin O. E. (2008). Eiastoplastic Deformation of Dilating Soil and Soil Foundation. *Izvestiya vysshikh uchebnykh zavedeniy. Stroitelstvo*. 2008. Issue 7. Pp. 1-13. (rus)
3. Strokova L.A. (2008). Definition of parameters for numerical modeling of soil behavior. Bulletin of the Tomsk Polytechnic University. 2008. Vol. 313. Issue 1. Pp. 69-74. (rus)
4. Shashkin A.G. (2010). *Kriticheskiy analiz naiboleye rasprostranennykh nelineynykh modeley raboty grunta.* [Critical analysis of the most common non-linear models of soil] *Inzhenernaya geologiya*. 2010. Issue 3. Pp.29-37. (rus)
5. Iosilevich V.A., Rasskazov L.I., Sysoyev Yu.M. (2005). *Ob osobennostyakh razvitiya poverkhneostey nagruzheniya pri plasticheskom uprochnenii grunta* [About the features of development poverhneostey loading in plastic hardening soil]. *Izbrannyye trudy. Izd. Moskovskogo Universiteta*, 2005. (rus)
6. Shashkin A.G. (2010). *Opisaniye deformatsionnogo povedeniya glinistogo grunta s pomoshchyu vyazko-uprugoplasticheskoy modeli*. [Description of the deformation behavior of clay soil using visco-elastoplastic model] *Inzhenernaya geologiya*. 2010. Issue 4. Pp. 22-32. (rus)
7. Settlement evaluation for buildings and constructions located on weak clay soils accounting for shear strains during some time period (2007) / Lutchkin M.A., Ulitsky V.M., Shashkin A.G., Shashkin K.G. // Izvestiya Vserossiyskogo nauchno-issledovatelskogo instituta gidrotekhniki im. B.Ye. Vedeneyeva. 2007. Vol. 246. Pp. 69-78. (rus)
8. Shashkin A.G. et. al. (2010). *Geotekhnicheskoye soprovozhdeniye razvitiya gorodov*. [Critical analysis of the most common non-linear models of soil] *SPb: Izd. «Stroyizdat Severo-Zapad», «Georekonstruktsiya»*, 2010. 551 p. (rus)
9. Shashkin A. G., Shashkin K. G. (2005). *Uprugo-vyazko-plasticheskaya model strukturno-neustoychivogo glinistogo osnovaniya.* [Visco-elastic-plastic model is structurally unstable clay base] *Rekonstruktsiya gorodov i geotekhnicheskoye stroitelstvo*. 2005. Issue 9. Pp. 221-228. (rus)
10. Shashkin A.G. (2007). *Geotekhnicheskoye obosnovaniye slozhnykh tekhnologiy rekonstruktsii zdaniy na slabykh gruntakh* [Geotechnical study of complex technologies reconstruction of buildings on soft soils]. *Osnovaniya, fundamenty i mekhanika gruntov*. M.: 2007. Issue 3. Pp.3-8. (rus)
11. Pietruszczak S., Mroz Z. (1980). Numerical Analysis Accountingor Material Hardening and Softening. Int. J. Rock Mech. Min. Sci. And. Geomech. Abstr. 1980. Vol. 17. Issue 4. Pp. 199-207.
12. Brinkgreve R.B.J., Vermeer P.A. (2006). PLAXIS: Finite element code for soil and rock analyses. Plaxis Bulletin. 2006. Issue 19. Pp. 1-20.
13. Pietruszczak S., Mroz Z. (1980). Numerical Analysis Accountingor Material Hardening and Softening. Int. J. Rock Mech. Min. Sci. And. Geomech. Abstr. 1980. Vol. 17. Issue 4. Pp. 199-207.
14. *TSN 50-302-2004. «Proyektirovaniye fundamentov zdaniy i sooruzheniy v Sankt-Peterburge».* [TSN 50-302-2004. Design of foundations of buildings and structures in St. Petersburg] (rus)
15. *SNiP 2.02.01.83 «Osnovaniya zdaniy i sooruzheniy»* [SNIP 2.02.01.83 “Foundations of buildings and structures"] (rus)
16. SP 22.13330.2011. *Osnovaniya zdaniy i sooruzheniy. Aktualizirovannaya redaktsiya SNiP 2.02.01-83** [SP 22.13330.2011 “Grounds and buildings”] (rus)
17. Ryzhkov I.B., Isayev O.N. (2010) *Staticheskoye zondirovaniye gruntov* [Static ground sounding]. M.: ASV, 2010. Pp. 23, 88. (rus)
18. Ziangirov R.S., Kashirskiy V.I. (2005). *Otsenka deformatsionnykh svoystv dispersnykh gruntov po dannym staticheskogo zondirovaniya.* [Evaluation of deformation properties of fine-grained soil according to static probing] *Osnovaniya, fundamenty i mekhanika gruntov*. 2005. Issue 1. Pp. 12-16. (rus)
19. Zasorin M.S. (2011). *Issledovaniya vliyaniya fiziko-mekhanicheskikh svoystv glinistykh gruntov na prochnostnyye svoystva gruntobetona.* [Research on the influence of physical and mechanical properties of clay soils on the strength properties of soil-concrete] Mining informational and analytical bulletin (scientific and technical journal). 2011. Issue 5. Pp. 245-253.
20. Chistobayev A., Semyonova Z. (2012). Environmental condition as a factor affection the health of Saint Petersburg residents. Vestnik of the Baltic Region. 2012. Issue 1. Pp. 80-90. (rus)

21. Vasilev V.A., Kalmykova M. A. Analysis and selection of software products for instrument engineering. Modern technics and technologies. 2013. Vol. 19. Issue 3. Pp. 25-34. (rus)
22. Tomlinson M. J., John Woodward. (2003). Pile Design and Construction Practice. Taylor & Francis, 432 p.
23. Poulos H.G. (2001) Piled raft foundation: design and applications. Geotechnique, Vol. 51. Issue 2. Pp. 95-113.
24. Venkatramaiah C. G. (2007). Geotechnical engineering. New Age International, 2007. 926 p.