

УДК 624.131

ВЛИЯНИЕ МЕТОДИКИ ОПРЕДЕЛЕНИЯ СВОЙСТВ ГРУНТОВ В ЧИСЛЕННЫХ РАСЧЕТАХ ДЕФОРМАЦИЙ

Кулешов Александр Петрович¹,
kuleshov@inzhgeos.ru

Пендин Вадим Владимирович¹,
pendin@yandex.ru

¹ Российский государственный геологоразведочный университет им. Серго Орджоникидзе,
Россия, 117997, г. Москва, ул. Миклухо-Маклая, 23.

Актуальность работы обусловлена необходимостью качества инженерно-геологических изысканий для строительства объектов в тесненных городских условиях. Качество изысканий связано с обеспечением надежности имеющегося жилого и производственного фонда, является ресурсосберегающим, минимизирующим объемы капитальных затрат на реконструкцию зданий и сооружений, оказавшихся в зоне влияния нового строительства. Процесс определения необходимых параметров грунта для последующего применения в численном моделировании является необходимой, особенно важной составляющей обеспечения качества, достоверности оценки напряженно-деформированного состояния.

Цель работы: изучить характер распределения напряжений, деформаций в основании нового здания в условиях плотной застройки, сравнить величину осадки зданий и сооружений, полученную различными методами, выявить недостатки методики определения параметров, используемых в численном моделировании.

Методы исследования: анализ отечественного и зарубежного опыта; определение параметров грунтов по литературным и фондовым источникам; сбор, систематизация и анализ имеющихся геологических сведений; составление модели грунтового массива; расчеты деформаций методом послойного суммирования и численное моделирование напряженно-деформированного состояния грунтового основания с показателями механических свойств, определенных различным способом; сопоставление данных моделирования и традиционных расчетов согласно СП 22.13330.2016 с данными наблюдений.

Результаты. Рассмотрена локальная литотехническая система взаимодействия «основание–грунт» в условиях плотной застройки на территории г. Москвы; проведено сопоставление данных о деформациях оснований, полученных при моделировании, с данными мониторинговых наблюдений, с расчетами по методу послойного суммирования. Математические расчеты проведены с использованием как табличных значений параметров физико-механических свойств грунтов, так и экспериментально определенных непосредственно на площадке. Для получения более достоверных результатов математического моделирования необходимо наличие данных стабилметрических испытаний, особое внимание необходимо уделить разработке отечественных нормативов для определения коэффициента Пуассона, коэффициента бокового давления грунта и угла дилатансии.

Ключевые слова:

Грунт, напряженно-деформированное состояние, метод конечных элементов, модуль деформации, моделирование, осадка, параметры грунта, методика определения параметров, численное моделирование.

Введение

При большом разнообразии инженерно-геологических условий территории города Москвы во многих случаях строительство новых зданий и сооружений на площадках с плотной застройкой приводит к деформациям, а иногда и разрушениям расположенных по соседству существующих зданий. Поэтому при осуществлении новой или повторной застройки необходимо обеспечить надежное состояние существующих зданий на застроенных площадках с различными инженерно-геологическими условиями. Обеспечение надежности требуют тщательного рассмотрения и учета характеристик проектируемых зданий и возможных конструкций их фундаментов, а также технических характеристик и состояния конструкций существующих зданий. При выполнении расчетов оснований существующих зданий и сооружений, подвергаемых влиянию нового строительства, следует учитывать изменения физико-механических свойств грунтов и гидрогеологических условий в процессе соседнего строительства, в том числе с учетом сезонного промерзания и оттаивания грунтов массива. Учет совместной работы системы «ос-

нование–грунт» на протяжении многих десятилетий является основополагающим принципом расчета и проектирования в отечественных нормах [1].

Информационной основой для проведения геотехнических расчетов с использованием моделей механики грунтов, на основании которых принимаются проектные решения по устройству фундаментов зданий и сооружений, являются инженерно-геологические изыскания [2, 3 и др.]. В настоящее время в ходе инженерно-геологических изысканий определение необходимых параметров грунтов производится в разных объемах и с разной целью в зависимости от стадии проектирования. При решении сложных геотехнических задач все чаще применяются программные комплексы на основе метода конечных элементов. Применение таких комплексов требует особого внимания к моделям грунтового основания и назначения параметров [4].

По данным рабочей группы European Geotechnical Thematic Network, у пользователей современных программных продуктов PLAXIS, ABAQUS, ANSYS и др., позволяющих оценивать напряженно-деформированное состояние грунтов,

часто возникают трудности по определению и заданию входных параметров; определению начальных условий; выбору подходящей модели, достоверно описывающей поведение материала при нагружении; интерпретации результатов [5, 6].

При использовании программ требуется ввести исходные данные – свойства грунтов, которые фигурируют как более или менее привычные их характеристики, полученные в ходе инженерно-геологических изысканий, а затем начать процесс моделирования и проанализировать результаты. Однако на фоне этого остается скрытым процесс, который заложен в основу модели, описывающей поведение системы «сооружение–основание», и расчетчику остается уповать на результаты, выдаваемые машиной и доверять ее результатам [7]. Ориентация на разнообразную и расплывчатую информацию, недобросовестность исполнителя изысканий, ведет к заложению проектировщиками больших коэффициентов запаса в проектных решениях для исключения ошибочных решений и аварий.

При этом необходимо отметить, что описание инженерно-геологических условий территории строительства, выделение инженерно-геологических элементов, полевые и лабораторные работы выполняются согласно существующим нормативным документам.

Многие организации в настоящее время не имеют возможности проводить полевые определения прочности и деформируемости грунтов, сводя полевые работы к буровым работам с определением классификационных и основных физических свойств. Показатели механических свойств грунта, используемые в расчетах, часто принимают по таблицам СНиПов и ГОСТов [8 и др.]. Однако эти данные являются справочными, табличными и могут использоваться только для предварительной оценки напряженно-деформированного состояния. Одним из главных путей повышения точности оценки напряженно-деформированного состояния является достоверное определение механических свойств грунтов.

В связи с огромными темпами роста городов – мегаполисов (например, г. Москва, Санкт-Петербург, Новосибирск, Красноярск), и отсутствием достаточного места для строительства, наличием очень плотной застройки, усложнением инженерно-геологических условий проблема оценки напряженно-деформированного состояния приобретает актуальное значение [9].

Вопросы изучения напряженно-деформированного состояния грунтовых оснований отражены в работах Г.К. Бондарика, Г.Г. Болдырева, С.С. Вялова, Н.М. Герасимова, М.Н. Гольдштейна, И.П. Зелинского, И.П. Иванова, Э.В. Калинина, Н.Н. Маслова, А.В. Перельмутар, З.Г. Тер-Мартirosяна, Н.А. Цыговича, Д.Е. Польшина, А.Г. Шашкина, К.Г. Шашкина, В.М. Улицкого, Л.А. Строковой, H.F. Schweiger, J. Burland, D.M. Potts, L. Zdravkovic, D.M. Wood, C.P. Wroth, P.A. Wermeer, T. Schanz, R.K. Rowe, I.F. Collins,

K.L. Soderman, J. Andrade, P. Mayne, P.V. Lade, A.M. Puzrin, J. Koseki, R. Kuwano и многих других [10, 11 и др].

Для оценки влияния способа определения свойств грунтов на результаты моделирования нами рассмотрена локальная литотехническая система взаимодействия «основание–грунт» в условиях плотной застройки на территории г. Москвы, по адресу ул. Ходынская, владение 2.

Цель работы: изучить характер распределения напряжений, деформаций в основании нового здания в условиях плотной застройки.

В задачи исследования входило: анализ отечественного и зарубежного опыта; определения параметров грунтов по литературным и фондовым источникам; сбор, систематизация и анализ имеющихся геологических сведений; составление модели грунтового массива; расчеты деформаций методом послойного суммирования и численное моделирование напряженно-деформированного состояния грунтового основания с показателями механических свойств, определенных различным способом; сопоставление данных моделирования и традиционных расчетов согласно СП 22.13330.2016 с данными многолетних мониторинговых наблюдений [12].

Инженерно-геологическая характеристика участка

На участке по адресу ул. Ходынская, владение 2 расположено производственное здание и по адресу ул. Ходынская, д. 4 – жилое здание. Здание главного производственного корпуса (ул. Ходынская, владение 2), четырехэтажное, круглое в плане, с подвалом, 1931 года постройки, с несущими колоннами и несущими стенами, фундаменты стен ленточные, бутовые, фундаменты колонн отдельностоящие, монолитные железобетонные.

Согласно техническому заданию, на площадке изысканий проектируется строительство многофункционального комплекса, состоящего из двух 38-ми этажных зданий с единой шестиуровневой подземной автостоянкой с заглублением от существующих планировочных отметок на 25,0 м (рис. 1). Размеры здания 45?45 м и 65?48 м. Несущей конструкцией является монолитный железобетонный каркас, со стенами жесткости, ограждающими – кирпичные самонесущие стены, предполагаемый тип фундаментов – монолитная железобетонная плита на естественном или свайном основании. Нагрузки составляют до 90 т/м².

В процессе изысканий были пробурены 16 скважин диаметром 340 мм глубиной 60,0...80,0 м и 25 скважин диаметром 168 мм глубиной 35,0...40,0 м, общим метражом 2056 п.м, выполнено 23 испытания грунтов статическим и 11 испытаний динамическим зондированием, проведены полевые сейсморазведочные работы на четырех профилях длиной 74–132 м, выполнены 14 испытаний грунта в скважинах прессиометром, отобраны 195 образцов грунта нарушенной и ненарушенной структуры и выполнен комплекс лаборатор-

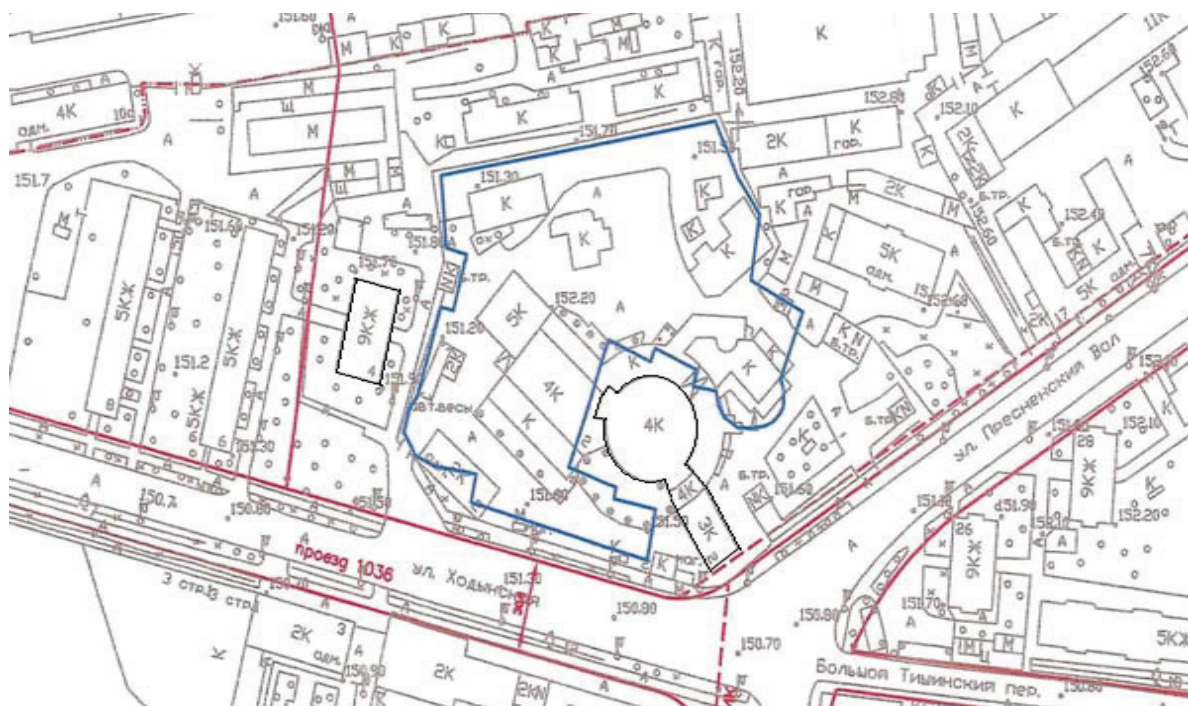


Рис. 1. Ситуационный план территории изысканий. Масштаб 1:2000

Fig. 1. Location of the objects. Scale 1:2000

ных исследований физико-механических и химических свойств грунтов и подземных вод.

В геоморфологическом отношении участок строительства приурочен к поверхности третьей (ходынской) надпойменной террасы р. Москвы с абсолютными отметками 151,00...152,50 м.

Геологический разрез изучен на глубину до 80 м и представлен комплексом отложений различного возраста и генезиса (рис. 2). Нижняя часть разреза сложена мощной толщей известняков среднекаменноугольного возраста (C_2^{mc-pd}), малопрочных и средней прочности. Большую часть разреза занимают закономерно чередующиеся пакки известняков, мергелистых глин и мергелей позднекаменноугольного возраста (C_3). Выше залегают ниже-среднечетвертичные флювиогляциальные и лимногляциальные отложения донского-московского межледникового (f, lgIdns-IIms), представленные песками мелкими и пылеватыми, насыщенными водой, плотными и супесями пластичными. Они перекрыты среднечетвертичными аллювиально-флювиогляциальными отложениями третьей надпойменной террасы р. Москвы (a, f3IIhd), представленными разнозернистыми песками с линзами гравийно-галечного грунта, малой степени водонасыщения. С поверхности повсеместно залегают современные техногенные отложения, представленные преимущественно песками средней крупности со строительным мусором до 40 %. Вблизи существующих зданий и заглубленных помещений, а также в местах проложения инженерных коммуникаций мощность техногенных грунтов увеличивается до 7,0 м.

В толще грунтов основания вскрыты два водоносных горизонта.

Первый от поверхности водоносный горизонт, вскрытый на глубинах 10,5...11,85 м, имеет двухслойное строение.

Подземные воды верхней части горизонта приурочены к толще аллювиальных и флювиогляциальных песков, а также к прослоям песков в пластичных супесях четвертичных отложений, нижняя часть горизонта приурочена к известнякам перхуровской пакки дорогомилловского горизонта, а также к прослоям щебня в толще отложений коры выветривания и к пескам, заполняющим древние карстовые полости. Эти два слоя гидравлически связаны между собой, поскольку на отдельных участках пески, насыщенные водой, залегают непосредственно на известняках.

Подземные воды нижнего (среднекаменноугольного) водоносного горизонта вскрыты на глубинах 67,40...70,20 м. Подземные воды напорные, с величиной напора 24,7...27,7 м. Нижний водоупор не вскрыт.

Максимальный уровень подземных вод первого от поверхности водоносного горизонта рекомендуется принять на абсолютной отметке 142,00 м, без учета барражного эффекта в результате устройства «стен в грунте».

В толще грунтов основания выделяются 25 инженерно-геологических элементов (ИГЭ), для каждого из которых получены нормативные и расчетные значения основных показателей физико-механических свойств грунтов.

Расчет деформаций методом послойного суммирования

Согласно расчетам деформаций окружающей застройки методом послойного суммирования (СП 22.13330.2016), осадки сооружений без учета строительства для жилого дома по адресу ул. Ходынская, д. 4 составят 2,70 см, для здания главного производственного корпуса ул. Ходынская, владение 2 – 1,90 см; а с учетом нового строительства – 2,80 и 2,05 см соответственно [12]. На рис. 3 приведены эпюры распределения сжимающих напряжений по вертикальному сечению в массиве грунта от имеющихся и проектируемого сооружений.

Для организации работ по геодезическому мониторингу на несущих стенах по периметру зданий окружающей застройки и на опорах теплоотрассы были установлены ственные и плитные марки. В качестве исходных пунктов для производства инструментальных геодезических наблюдений использовался ственной репер МГГТ и четыре ственных репера. Методика инструментальных геодезических наблюдений заключается в периодическом (по циклам) высокоточном нивелировании

стенных марок по программе II класса двойными ходами «прямо» и «обратно» [12, 13]. В каждом цикле наблюдений вычисляются отметки всех установленных ственных марок. По разности отметок одноименных марок в смежных циклах измерений получают осадки ственных марок, которые выписываются в сводные таблицы с нарастающим итогом за весь период наблюдений (раз в месяц). При выполнении наблюдений использовался высокоточный цифровой нивелир Trimble DINI 12 и комплект штрихкодowych нивелирных реек с инварной полосой. Нивелирная сеть строилась в виде системы полигонов, схема которых одинакова во всех циклах наблюдений. Невязки в полигонах нивелирной сети не превышают величин, вычисленных по формуле $F_h = \pm 0,5 \text{ мм} \sqrt{n}$, где n – количество штативов в полигонах. После выполнения полевых измерений все данные нивелирования обрабатываются по компьютерной программе строгого уравнивания STAR*LEV [14].

По результатам инструментальных геодезических наблюдений (мониторинга) за окружающей застройкой установлено, что осредненные суммар-

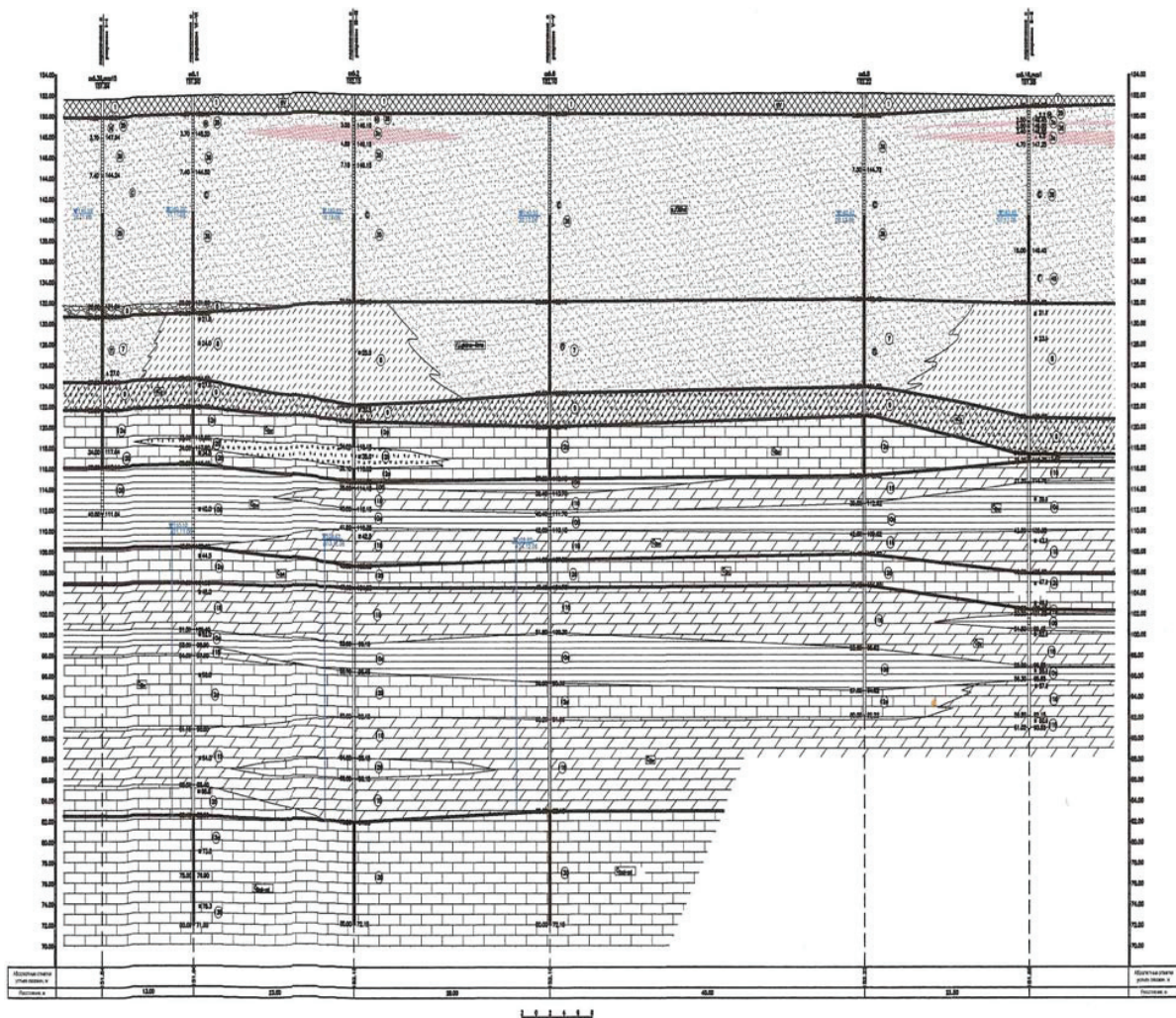
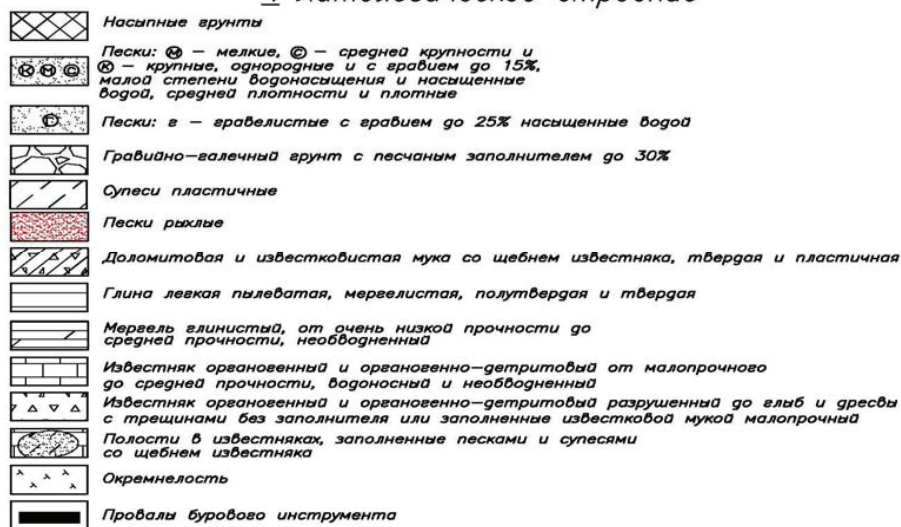


Рис. 2. Инженерно-геологический разрез участка

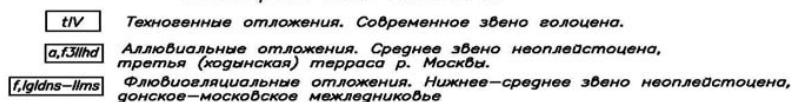
Fig. 2. Engineering-geological cross-section of the site

I Литологическое строение

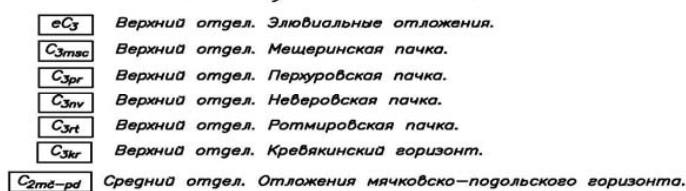


II Стратиграфо-генетические комплексы

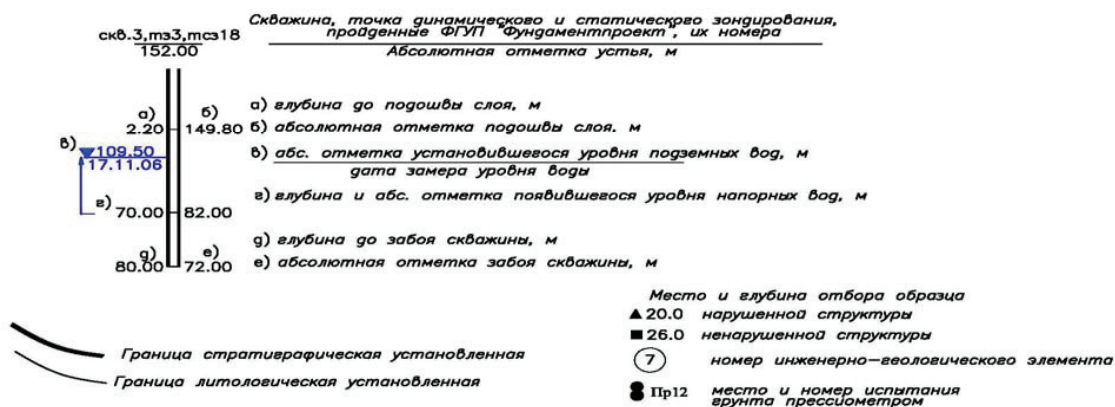
Четвертичная система



Каменноугольная система



III Прочие знаки



Консистенция глинистых и степень влажность песчаных грунтов



Условные обозначения к рис. 2.

Legend to Fig. 2.

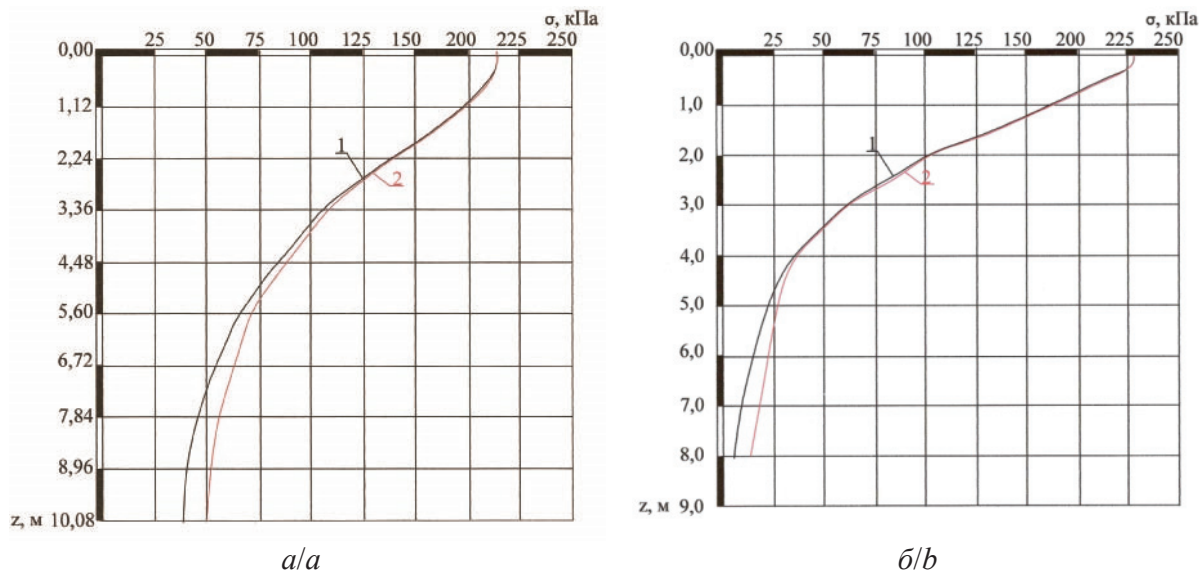


Рис. 3. Эпюры распределения сжимающих напряжений по вертикальному сечению в массиве грунта от имеющегося сооружения (1) и с учетом влияния строящегося multifunctional комплекса (2): а) жилого 9-ти этажного здания; б) производственного 4-этажного здания

Fig. 3. Diagrams of distribution of compressive stresses in vertical section of the soil from existing structures (1) and taking into account the impact of construction of a multifunctional complex (2): а) residential 9-storey building; б) production 4-storey building

ные осадки большинства стальных марок для жилого дома по адресу ул. Ходынская, д. 4 без учета строительства – 0,20 см, для здания главного производственного корпуса ул. Ходынская, владение 2 – 0,40 см; а с учетом строительства 0,60 см – ул. Ходынская, д. 4 и 0,70 см – ул. Ходынская, владение 2.

Глубина зоны взаимодействия по адресу ул. Ходынская, д. 4 составляет от веса жилого здания 12,76 м, а с учетом строительства multifunctional комплекса – 13,50 м; для производственного сооружения по адресу ул. Ходынская, владение 2 напряжения от веса самого сооружения – 10,20 м, а с учетом строительства – 10,50 м.

Анализ напряженно-деформированного состояния грунтового массива методом конечных элементов

Для количественной прогнозной оценки влияния возможных проектируемых мероприятий на существующее напряженно-деформированное состояние грунтового массива выполнено математическое моделирование геотехнических условий в программном комплексе Plaxis 8.2 апробированном при строительстве большого числа строительных объектов в Европе, а также при строительстве большого числа возводимых сооружений, как на свайном, так и на естественном основании в г. Москве [15, 16].

Программа PLAXIS 8.2 представляет собой специализированную двумерную компьютерную программу, основанную на методе конечных элементов, которая используется для расчетов деформации и устойчивости различных геотехнических объектов [17, 18 и др.]. Реальная ситуация может быть смоделирована с помощью модели плоской

деформации или осесимметричной модели. Программа имеет удобный графический интерфейс, который дает возможность пользователю быстро создавать геометрическую модель и сетку конечных элементов, основанную на представленном вертикальном поперечном разрезе. Расчет проводится с использованием по модели Кулона–Мора. Ограждение котлована моделируется в виде балки с эквивалентными жесткостными характеристиками. Фундаменты существующих зданий моделировались балками значительной жесткости с приложенными к ним нагрузками. Подкосы ограждения котлована моделируются анкерными элементами [19, 20].

Ниже представлены изополя вертикальных деформаций грунтового массива после приложения всех действующих нагрузок проектируемого multifunctional комплекса совместно с имеющимся зданием (жилым зданием – рис. 4 и производственным зданием – рис. 5).

В расчетах деформаций использовались значения механических свойств, определенных двумя разными способами: а – по таблицам СП 22.13330.2016, или «табличные»; б – экспериментально – лабораторными и полевыми методами на площадке, или «истинные».

Расчеты деформаций с использованием табличных значений прочности и деформируемости грунтов по СП 22.13330 2016 для жилого здания составили 0,32 см, с учетом нового проектируемого здания – 0,52 см, для 4-этажного производственного здания 0,17 и 0,27 см соответственно.

При расчетах деформаций с использованием экспериментальных значений прочности и деформируемости грунтов осадки для жилого здания со-

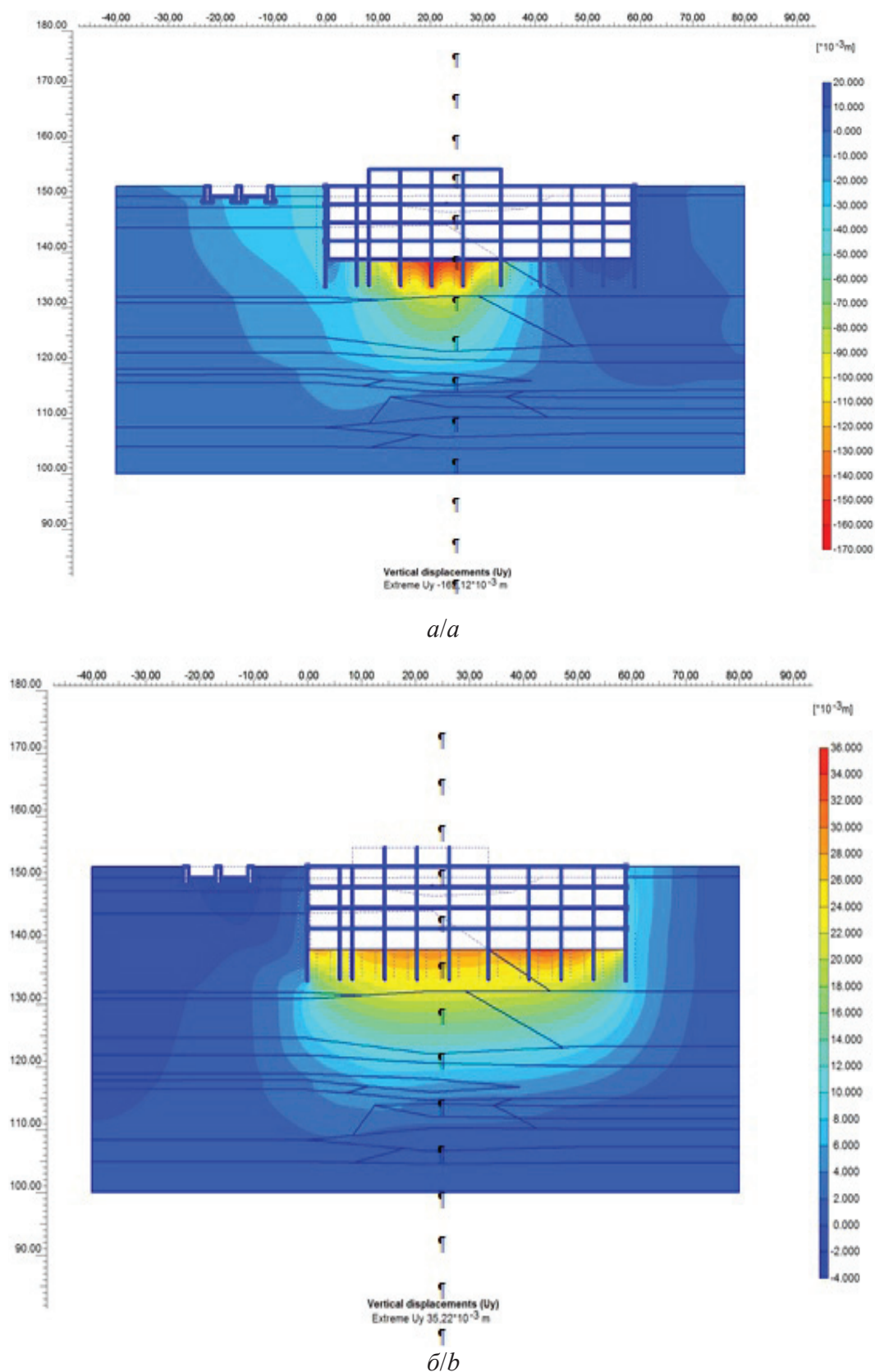


Рис. 4. Изополя вертикальных деформаций грунтового массива для жилого и проектируемого зданий со значениями механических свойств: а) табличные; б) истинные

Fig. 4. Contour lines of vertical deformations of soil mass for residential and designed buildings with values of mechanical properties: a) table; b) experimental

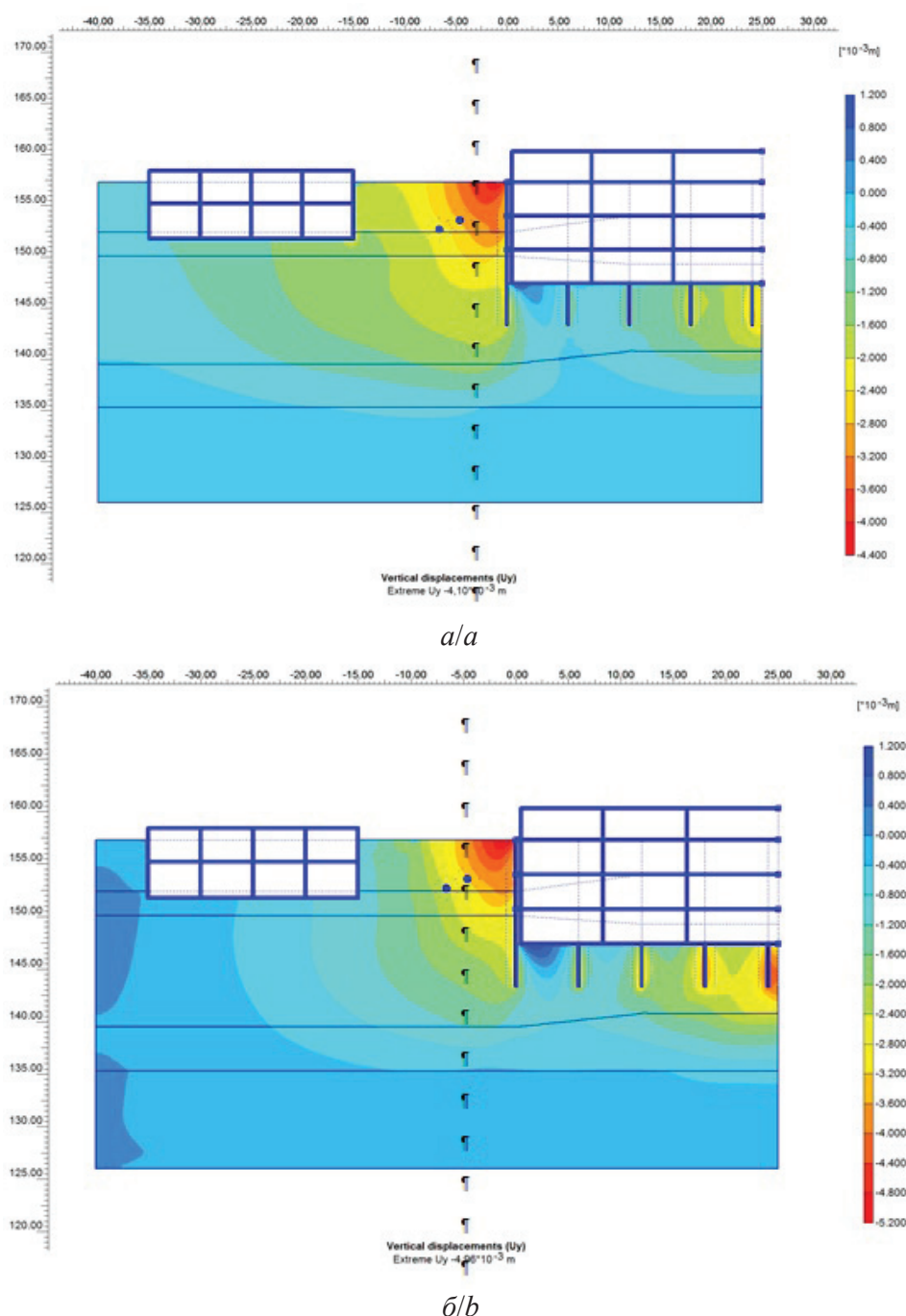


Рис. 5. Изополя вертикальных деформаций грунтового массива для производственного и проектируемого зданий со значениями механических свойств: а) табличные; б) истинные

Fig. 5. Contour lines of vertical deformation of soil mass for production and design buildings with the values of mechanical properties: a) table; b) experimental

ставили 0,25 см, с учетом нового проектируемого здания – 0,65 см, для 4-этажного производственного здания 0,42 и 0,72 см соответственно.

Результаты исследований и их обсуждение

Анализируя полученные результаты, следует отметить, что расчет осадки грунтовых оснований традиционными методами дает завышенную в

5–10 раз величину деформаций по сравнению с данными натурных наблюдений.

Метод послойного суммирования, заложенный в действующих нормативных документах, предложенный в начале XX в., применим в основном для расчетов небольших по размерам фундаментов зданий и сооружений и при отсутствии в основании пластов очень плотных малосжимаемых грунтов.

Таблица. Величины осадок, определенные разными методами

Table. Vertical displacements determined by different methods

Наименование объекта Name of the object	Метод определения осадок, см/Method of determining displacements, cm							
	Метод послойного суммирования (СП 22.13330.2016) Slicing summation method		PLAXIS 8.2				Данные мониторинга Monitoring data	
	Без учета нового строительства Without new construction	С учетом нового строительства With new construction	Без учета нового строительства Without new construction		С учетом нового строительства With the new construction		Без учета нового строительства Without new construction	С учетом нового строительства With new construction
			Параметры грунта/Soil parameters					
			Табличные Table	Истинные Experimental	Табличные Table	Истинные Experimental		
Жилое здание по адресу: ул. Ходынская, д. 4 Residential building, Khodynka street, 4	2,70	2,80	0,32	0,25	0,52	0,65	0,20	0,60
Здание главного производственного корпуса по адресу ул. Ходынская, владение 2 Main production building, Khodynskayz street, estate 2	1,90	2,05	0,17	0,42	0,27	0,72	0,40	0,70

К недостаткам этого метода относятся: громоздкость вычислений, малая точность из-за множества допущений, например, определение осадок без учета боковых деформаций грунта. Отклонения расчетных деформаций от фактических часто составляют 30–50 %. К достоинствам этого метода следует отнести его универсальность, ясность оценки работы грунта основания.

На современной ступени развития науки необходимо пользоваться более совершенными способами расчета деформаций, а именно математическим моделированием. Наиболее достоверные результаты дает программный комплекс Plaxis 8.2, данные которого сопоставимы с данными многолетних мониторинговых наблюдений за деформациями зданий и сооружений (таблица).

Результаты моделирования показали, что в пределах моделируемой области напряжения и деформации в грунтовом массиве, а также дополнительные осадки фундаментов существующих зданий не превышают максимально допустимых значений.

Необходимо заметить, что программный комплекс Plaxis 8.2 дает результаты близкие с мониторинговыми данными (натурными наблюдениями), только при входных параметрах, полученных непосредственно на площадке, а не из справочных пособий. Поэтому рекомендуется при проектировании в сложных инженерно-геологических условиях, а также для сооружений 1 уровня ответственности все входные параметры для последующего моделирования определять непосредственно на площадке, что повысит точность расчетов.

Заключение

На основании обобщения региональных геологических данных и анализа результатов камеральной обработки материалов полевых и лаборатор-

ных исследований можно сделать вывод, что участие работ относится к III (сложной) категории сложности инженерно-геологических условий.

Разработана цифровая модель локальной литотехнической системы взаимодействия «основание–грунт» в условиях плотной застройки. Поведение грунтового массива смоделировано с помощью упругой идеально-пластической модели. Рассчитаны деформации грунтового основания. Обеспечение достаточной точности расчетов связано с необходимостью проведения полноценных лабораторных и полевых исследований для определения механических свойств грунтов. Показано преимущество комплексирования методов по оценке фактических деформаций объектов и МКЭ для описания напряженно-деформированного состояния объекта.

Причина низкой точности простейших методов расчета осадок заключается в том, что работу грунта нельзя описать одним параметром. Для этого необходимо перестроить всю систему, начиная от инженерно-геологических изысканий. Необходимо, чтобы инвестор заказал более подробные геологические изыскания с определением специальных параметров сложных моделей механики грунтов в трехосных испытаниях (в стабилометрах). Компрессионные испытания не позволяют откорректировать все входные параметры. Параметры модели должны определяться на основании сопоставления лабораторных и полевых испытаний грунтов с соответствующими тестовыми расчетами в рамках выбранной модели.

При отсутствии стабилометрических испытаний и задании характеристик грунтов в соответствии с рекомендациями разработчиков Plaxis математическое моделирование можно использовать только для первичного моделирования поведения

грунта. При создании конечно-элементной модели, решении задач и принятии проектных решений для задач «нулевого цикла» необходимо проведение предварительных прикидочных расчетов, подтверждающих корректность работы грунтовых моделей.

Содержание и методологические основы математического определения взаимодействия системы «основание–грунт» должны сделаться постепенно пристальным объектом научного исследования, необходимо создание новых научно-методологических подходов как по определению отдельных параметров, так по назначению параметров в каче-

стве входных для более достоверных и детальных результатов.

Необходимо уделить особое внимание разработке отечественных нормативов для определения коэффициентов Пуассона и бокового давления грунта в состоянии покоя, угла дилатансии.

Следует регламентировать методику определения этих параметров с достаточной надежностью и с приемлемыми издержками.

Приведенные результаты моделирования подтверждают важность выбора грунтовой модели и расчетных параметров при проведении геотехнических расчетов.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Тер-Мартирян А.З., Мирный А.Ю., Соболев Е.С. Особенности определения параметров современных моделей грунта в ходе лабораторных испытаний // *Геотехника*. – 2016. – № 1. – С. 66–72.
2. Nikulina M.E., Gorobtsov D.N., Pendin V.V. Engineering and Geological Audit in Design and Construction of Linear Transport Facilities. *Procedia Engineering*. – 2017. – V. 189. – P. 70–74.
3. Rock heterogeneity from thermal profiles using an optical scanning technique / Yu. Popov, A. Parshin, E. Chekhonin, D. Gorobtsov, D. Miklashevskiy, D. Korobkov, R. Suarez-Rivera, S. Green // 46th US Rock Mechanics Geomechanics Symposium 2012. – Chicago, IL, United States, 24–27 June 2012. – V. 2. – P. 1186–1193.
4. Mayne P.W. Keynote lecture: in-situ geocharacterization of soils in the year 2016 and beyond // *Advances in Soil Mechanics: Geotechnical Synergy: Proc. 15th PCSMGE*. – Buenos Aires, 2015. – Amsterdam: IOS Press, 2015. – V. 5. – P. 139–161.
5. Mangushev R.A., Konyushkov V.V., Dyakonov I.P. Analysis of Practical Application of Screw in Cast Piles // *Soil Mechanics and Foundation Engineering*. – 2014. – V. 51 (5). – P. 227–233.
6. Strokov L.A. Numerical model of surface subsidence during subway tunneling // *Soil Mechanics and Foundation Engineering*. – 2009. – V. 46 (3). – P. 117–119.
7. Строкова Л.А., Епифанова Е.А., Коржнева Т.Г. Численный анализ поведения основания опоры моста на старой железнодорожной линии // *Известия Томского политехнического университета. Инжиниринг георесурсов*. – 2017. – V. 328. – № 5. – С. 125–139.
8. Zdobin D.Yu., Semenova L.K. Geological engineering structure and physical-mechanical properties of soils of unglacial sediments of St. Petersburg // *Vestnik of Saint Petersburg University. Series Geology. Geography*. – 2008. – V. 1. – P. 30–36.
9. Zdobin D.Yu., Yuskova M.A. Methods of analysis of archaeological ceramics physical-mechanical properties // *Vestnik of Saint Petersburg University. Series Geology. Geography*. – 2008. – V. 2. – P. 50–59.
10. Deformations of soil in deep excavations: Comparing calculation results with in-situ measurements / V.M. Ulitsky, A.G. Shashkin, K.G. Shashkin, M.B. Lisyuk, V.A. Vasenin // *Proc. of the 17th International Conference on Soil Mechanics and Geotechnical Engineering: the Academia and Practice of Geotechnical Engineering*. – St. Petersburg, 2009. – V. 3. – P. 2107–2110.
11. Пургина Д. В., Строкова Л. А., Кузеванов К. И. Моделирование гидрогеологических условий обоснования антиландslideйных мер на участке набережной реки Кама в Перми // *Известия Томского политехнического университета. Инжиниринг георесурсов*. – 2016. – С. 327. – № 1. – P. 116–127.
12. СП 22.13330.2016. Основания зданий и сооружений. – М.: Стандартинформ, 2011. – 166 с.
13. Karst hazard assessment in the design of the main gas pipeline (South Yakutia) / L.A. Strokov, E.M. Dutova, A.V. Ermolaeva, I.N. Alimova, A.B. Strelnikova // *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*. – 2015. – V. 27. – 6 p.
14. Strokov L.A., Teterin E.A. Identification, diagnosis and ranking of risks of geohazard in pipeline and urbanized territories // *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*. – 2016. – V. 43. – 6 p.
15. Фи Хонг, Строкова Л.А. Классификация типов почв в Ханое (Вьетнам) при изучении оседания грунта при добыче подземных вод // *Известия Томского политехнического университета. Инжиниринг георесурсов*. – 2017. – V. 328. – № 4. – С. 6–17.
16. Soil-structure interaction effects / V.M. Ulitsky, A.G. Shashkin, K.G. Shashkin, V.A. Shashkin, M.B. Lisyuk // *Geotechnical Engineering for Infrastructure and Development: Proc. of the XVI European Conference on Soil Mechanics and Geotechnical Engineering, ECSMGE*. – 2015. – V. 7. – P. 4191–4196.
17. Plaxis. Material Models Manual. – 2016. – 216 p. URL: <https://www.plaxis.ru> (дата обращения 11.09.2017 г.).
18. Analysis of the settlements of buildings and structures erected on weak clayey soils with allowance for shear deformations over time / M.A. Luchkin, V.M. Ulitsky, A.G. Shashkin, K.G. Shashkin // *Soil Mechanics and Foundation Engineering*. – 2007. – V. 44 (2). – P. 56–61.
19. Examination of the potential of the SDMT to estimate in-situ stiffness decay curves / S. Amoroso, P. Monaco, B.M. Lehan, D. Marchetti // *Soils and Rocks*. – 2014. – V. 37 (3). – P. 177–194.
20. Randolph M.F., Jamiolkowski M.B., Zdravkovic L. Load Carrying Capacity of Foundations // *Advances in Geotechnical Engineering: the Skempton Conference* / Eds. R.J. Jardine, D.M. Potts, K.G. Higgins. – London, 2004. – P. 207–240.

Поступила 14.09.2017 г.

Информация об авторах

Кулешов А.П., аспирант кафедры инженерной геологии Российского государственного геологоразведочного университета им. Серго Орджоникидзе.

Пендин В.В., доктор геолого-минералогических наук, профессор, заведующий кафедрой инженерной геологии Российского государственного геологоразведочного университета им. Серго Орджоникидзе.

UDC 624.131

INFLUENCE OF THE METHOD FOR DETERMINING SOIL PROPERTIES IN NUMERICAL CALCULATIONS OF DEFORMATIONS

Alexander P. Kuleshov¹,
kuleshov@inzhgeos.ru

Vadim V. Pendin¹,
pendin@yandex.ru

¹ Sergo Ordzhonikidze Russian State Geological Prospecting University,
23, Miklukho-Maklay street, Moscow, 117997, Russia.

The relevance of the research is caused by the need of quality of engineering-geological survey for construction in constrained urban environment. Quality research is ensuring the reliability of existing residential and industrial foundation, is a resource-saving, minimizes the volume of capital expenditures for reconstruction of buildings and structures caught in the zone of influence of new construction. It is necessary to determine the required soil parameters for later use in numerical simulation, it is a very important component of ensuring the quality, reliability of estimation of stress-strain state.

The main aim of the research is to study the pattern of stress distribution, deformation at the base of a new building in dense areas, to compare the amount of precipitation of buildings and structures, obtained by various methods, to identify deficiencies of methodology for determining the parameters used in numerical simulation.

Methods of the research: analysis of domestic and foreign experience; determination of soil strength parameters on bibliographical and archival sources; collection, systematization and analysis of available geological information; compiling the model of soil mass; calculation of strains by the layer wise summation and numerical modeling of the stress-strain state of a subgrade with the mechanical properties defined in various ways; mapping the simulation data and traditional calculations to SP 22.13330.2016 with the observations.

Research results. The paper considers local lithotechnical system of interaction «foundation–soil» in the conditions of dense development on the territory of Moscow. The authors have compared the data on foundation deformation obtained in simulation with the observations and with calculations by the method of layer-by-layer summation. Mathematical calculations were carried out using both the table values of the parameters of soil mechanical properties and the ones experimentally determined at site. For more reliable results mathematical modeling requires data stabilometric test, especially to pay attention to the development of national standards to determine the Poisson's ratio, coefficient of lateral earth pressure and the angle of dilatancy.

Key words:

Soil, stress-strain state, finite element method, modulus of deformation, modeling, settlement, soil parameters, methods of determining parameters, numerical simulation.

REFERENCES

1. Ter-Martirosyan A.Z., Mirny A.Yu., Sobolev E.S. Peculiarities of definition of parameters of modern models of soil during laboratory tests. *Geotechnics*, 2016, vol. 1, pp. 66–72. In Rus.
2. Nikulina M.E., Gorobtsov D.N., Pendin V.V. Engineering and Geological Audit in Design and Construction of Linear Transport Facilities. *Procedia Engineering*, 2017, vol. 189, pp. 70–74.
3. Popov Yu., Parshin A., Chekhonin E., Gorobtsov D., Miklashevskiy D., Korobkov D., Suarez-Rivera R., Green S. Rock heterogeneity from thermal profiles using an optical scanning technique (Conference Paper). *46th US Rock Mechanics. Geomechanics Symposium 2012*. Chicago, IL, United States, 24–27 June 2012. Vol. 2, pp. 1186–1193.
4. Mayne P.W. Keynote lecture: in-situ geocharacterization of soils in the year 2016 and beyond. *Advances in Soil Mechanics: Geotechnical Synergy. Proc. 15th PCSMGE*. Buenos Aires, 2015. Amsterdam, IOS Press, 2015. Vol. 5, pp. 139–161.
5. Mangushev R.A., Konyushkov V.V., Dyakonov I.P. Analysis of Practical Application of Screw-in Cast Piles. *Soil Mechanics and Foundation Engineering*, 2014, vol. 51, no. 5, pp. 227–233.
6. Strokova L.A. Numerical model of surface subsidence during subway tunneling. *Soil Mechanics and Foundation Engineering*, 2009, vol. 46, no. 3, pp. 117–119.
7. Strokova L.A., Epifanova E.A., Korzhneva T.G. Numerical analysis of bridge foundation behaviour on the old railway line. *Bulletin of the Tomsk Polytechnic University. Geo Assets Engineering*, 2017, vol. 328, no. 5, pp. 125–139. In Rus.
8. Zdobin D.Yu., Semenova L.K. Geological engineering structure and physical-mechanical properties of soils of unglacial sediments of St. Petersburg. *Vestnik of Saint Petersburg University. Series Geology. Geography*, 2008, vol. 1, pp. 30–36.
9. Zdobin D. Yu., Yuskova M.A. Methods of analysis of archaeological ceramics physical-mechanical properties. *Vestnik of Saint Petersburg University. Series Geology. Geography*. 2008, vol. 2, pp. 50–59.
10. Ulitsky V.M., Shashkin A.G., Shashkin K.G., Lisyuk M.B. Vasin V.A. Deformations of soil in deep excavations: Comparing calculation results with in-situ measurements. *Proc. of the 17th International Conference on Soil Mechanics and Geotechnical Engineering: The Academia and Practice of Geotechnical Engineering*. St. Petersburg, 2009. Vol. 3, pp. 2107–2110.
11. Purgina D.V., Strokova L.A., Kuzevanov K.I. Modeling hydrogeological conditions for antilandslide measures justification on the plot of the Kama river embankment in Perm. *Bulletin of the Tomsk Polytechnic University. Geo Assets Engineering*, 2016, vol. 327, no. 1, pp. 116–127. In Rus.
12. SP 22.13330.2011 *Osnovaniya zdaniy i sooruzheniy* [Code of rules 22.13330.2011. Soil bases of buildings and structures]. Moscow, Standartinform Publ., 2011. 166 p.
13. Strokova L.A., Dutova E.M., Ermolaeva A.V., Alimova I.N., Strelnikova A.B. Karst hazard assessment in the design of the main gas pipeline (South Yakutia). *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, 2015, vol. 27, 6 p.
14. Strokova L.A., Teterin E. A. Identification, diagnosis and ranking of risks of geohazard in pipeline and urbanized territories. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, 2016, vol. 43, 6 p.
15. Phi Hong Thin, Strokova L.A. Classification of soil types for Hanoi (Vietnam) when studying land subsidence at groundwater ex-

- traction. *Bulletin of the Tomsk Polytechnic University. Geo Assets Engineering*, 2017, vol. 328, no. 4, pp. 6–17. In Rus.
16. Ulitsky V.M., Shashkin A.G., Shashkin K.G., Shashkin V.A., Lisyuk M.B. Soil-structure interaction effects Geotechnical Engineering for Infrastructure and Development. *Proceedings of the XVI European Conference on Soil Mechanics and Geotechnical Engineering, ECSMGE*, 2015. Vol. 7, pp. 4191–4196.
 17. Plaxis. Material Models Manual. 2016. 216 p. Available at: <https://www.plaxis.ru> (accessed 11 September 2017).
 18. Luchkin M.A., Ulitsky V.M., Shashkin A.G., Shashkin K.G. Analysis of the settlements of buildings and structures erected on weak clayey soils with allowance for shear deformations over time. *Soil Mechanics and Foundation Engineering*, 2007, vol. 44, no. 2, pp. 56–61.
 19. Amoroso S., Monaco P., Lehane B.M., Marchetti D. Examination of the potential of the SDMT to estimate in-situ stiffness decay curves. *Soils and Rocks*, 2014, vol. 37 (3), pp. 177–194.
 20. Randolph M.F., Jamiolkowski M.B., Zdravkovic L. Load Carrying Capacity of Foundations. *Advances in Geotechnical Engineering: the Skempton Conf.* Eds. Jardine, Potts, Higgins. London, 2004, pp 207–240.

Received: 14 September 2017.

Information about the authors

Alexander P. Kuleshov, postgraduate, Sergo Ordzhonikidze Russian State Geological Prospecting University.

Vadim V. Pendin, Dr. Sc., professor, head of the department, Sergo Ordzhonikidze Russian State Geological Prospecting University.