ИНЖЕНЕРНЫЕ ИЗЫСКАНИЯ ДЛЯ ПРОЕКТИРОВАНИЯ И СТРОИТЕЛЬСТВА ПОДЗЕМНЫХ СООРУЖЕНИЙ

С конца XX в. в крупных городах России производится проектирование и строительство подземных сооружений со значительным заглублением (до 30 и более метров), когда геомассивы испытывают воздействия как по площади, так и по глубине. Кроме того, в городах-мегаполисах геомассивы находятся в сфере интенсивной хозяйственной и строительной деятельности.

В связи с этим актуальными являются использование передовых технологий и технических средств, а также совершенствование методов инженерно-геологических изысканий в условиях все возрастающего воздействия техногенных процессов на свойства грунтов. Все эти факторы оказывают существенное влияние на выполнение расчетов фундаментов и конструкций подземных сооружений [1].

Кроме того, необходимо учитывать влияние на напряженное состояние конструкций подземных сооружений, расположенных на поверхности зданий и сооружений и залегающих над ними слоев грунтов [2], а также взаимодействия подземных конструкций и окружающего массива грунтов как элементов единой деформируемой системы [3].

Чтобы подземное сооружение органично вписалось в геологическую среду и было запроектировано таким образом, чтобы его строительство не вызвало значительных и необратимых процессов в геомассиве, таких, как барражный эффект, подтопление, карстово-суффозионные процессы, наведенная сейсмичность и т. д. [4], необходимо выполнение комплексных инженерных изысканий.

Инженерные изыскания предваряют проектирование и строительство, являясь самым непродолжительным и самым дешевым по стоимости этапом. Тем не менее инженерно-геологические изыскания дают информацию о геологическом строении участка предполагаемого строительства, его рельефе, гидрографии, гидрогеологических условиях, составе и свойствах грунтов массива, геологических процессах, в том числе тектонических и техногенных движениях, сейсмичности, карстовых и карстово-суффозионных процессах и т. д.

Оценка инженерно-геологических условий площадки проектируемого строительства, выполненная с высоким качеством, а также полнота учета результатов изысканий в процессе проектирования и строительства являются определяющими факторами степени риска проявления нежелательных процессов и явлений при строительстве и эксплуатации подземных сооружений.

Особое внимание должно уделяться техническому заданию, которое является обоснованием для назначения видов и объемов изысканий, необходимых для проектирования.

Тем не менее в действующих нормативных документах недостаточно четко прописаны, а в ряде случаев вообще отсутствуют важные моменты взаимодействия изыскателей и проектировщиков. Так, например, в пункте 4.13 СНиП 11-02-96 [5] указывается, что в техническом задании, составляемом специалистами по проектированию, не допускается указывать виды, объемы, технику и технологию инженерно-геологических изысканий. По нашему твердому убеждению, это совершенно неверно, особенно в современных условиях, когда выполняется проектирование и строительство зданий повышенной этажности и сооружений со значительным заглублением. Да, изыскатели составляют программы по инженерно-геологическим изысканиям и несут за это ответственность. Но в техническом задании должны быть указаны не только тип проектируемых фундаментов и предполагаемые нагрузки на них, но и предполагаемая длина свай (при проектируемых свайных или комбинированных свайно-плитных фундаментах), а также предполагаемая активная зона взаимодействия грунтов основания с фундаментами.

Нередко составителями технического задания нежелание указывать в нем предполагаемых длин свай и активной зоны аргументируется отсутствием инженерно-геологических разрезов и описаний скважин, поскольку инженерно-геологические изыскания только намечается выполнять.

В подавляющем большинстве случаев в городах имеются общегородские геологические фонды и/или фонды специализированных организаций, в которых имеются материалы изысканий предыдущих лет на площадке предполагаемого строительства или на сопредельных участках.

Перед проведением инженерных изысканий на основании технического задания, выдаваемого заказчиком (инвестором, проектировщиком), изыскательской организацией составляется программа, утверждаемая проектной организацией и инвестором. От качества и полноты намечаемых методов и объемов изысканий зависит качество и полнота отчета (научно-технического заключения) и, как следствие, качество проектирования и строительства.

Традиционные методы инженерно-геологических изысканий не всегда позволяют получить полную информацию о состоянии геомассивов. Кроме того, сложные инженерно-геологические условия и разветвленные сети подземных коммуникаций и сооружений осложняют проведение изысканий.

Значительное заглубление подземных сооружений в большинстве случаев предполагает использование коренных пород в качестве оснований, что требует особого подхода к инженерным изысканиям, разработки новых методов и методик исследований.

Различные виды антропогенного воздействия в условиях плотной городской застройки оказывают существенное влияние на состав и свойства грунтов и, следовательно, на их устойчивость [6].

Лабораторные и полевые методы исследований свойств грунтов имеют главенствующее значение в инженерно-геологических изысканиях для строительства и требуют совершенствования имеющихся и создания новых методик, технологий и технических средств, необходимых и достаточных для проектирования и строительства, с учетом прогноза возможных изменений свойств грунтов (например, в результате подтопления, при проектировании и строительстве подземных объектов в насыпных и намывных неслежавшихся грунтах и др.) [7].

Инженерные изыскания должны учитывать природные особенности участка предполагаемого строительства (реконструкции), с одной стороны, а также требования проектирования, с другой стороны.

Всесторонняя и достоверная оценка инженерно-геологических условий должна выполняться на основании комплексных инженерных изысканий, поскольку в мире нет универсального способа исследования окружающей среды и лишь сочетание различных дисциплин позволяет достичь необходимых результатов [8].

Информационные технологии, получившие широкое распространение практически во всех передовых областях науки и техники, привели к появлению новой науки — системологии. В Сибирском институте механизации и электрификации (СибИМЭ) сибирского отделения ВАСХНИЛ составлена сравнительная таблица системологии и системного анализа для агроинженерных

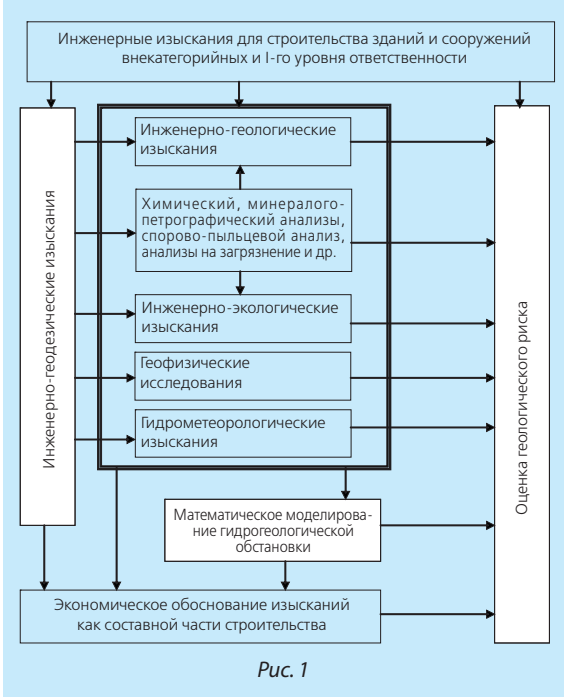

Рис. 1

систем [9]. Подобный принцип вполне применим к инженерным изысканиям для строительства. В таблице №1 представлены характерные отличия системологии (системной методологии) инженерных изысканий от применяющегося в настоящее время системного анализа.

Для применения системологии (системной методологии) в области инжнерно-геологических изысканий требуется большой объем специальных теоретических и эмпирических исследований. Использование компьютерных технологий позволяет создавать интегрированные информационные системы (ИИС), в частности, CALS-технологии. В основе CALS-технологии лежит применение принципов и технологий информационной поддержки любого объекта (процесса) за весь его жизненный цикл, состоящий из нематериального (*замысла, модели, проекта*), материального воплощения (инженерных изысканий) и последующих этапов (*строительства, эксплуатации зданий и сооружений, их реконструкции, демонтажа*).

Таблица 1. Системология и системный анализ в инженерных изысканиях для строительства

Наименование показателя	Тип подхода к исследованиям предметной области	
	Системный анализ	Системология
Объект исследования	Простые системы	Сложная система
Предмет исследования	Процессы, законы и закономерности, присущие каждой системе	Общие законы и закономерности поведения всей сложной системы
Теоретический императив	Фундаментальные положения, законы и закономерности базируются на измерительной основе	Фундаментальные положения, законы и закономерности базируются на моделях
Особенности формирования общих законов и их характер	Законы формулируются (подтверждаются или опровергаются) на основе экспериментов	Дедуктивный характер законов постулируют осуществимостью моделей
Концепция исследований	От эмпирии к теории, т.е. процессу объяснения. Предсказания и управления исследуемой предметной области	Основные объяснительные компоненты — одношаговый рекуррентный принцип, «дельфийский метод» и комплекс моделей
Уровень проблемы	Междисциплинарный	Общедисциплинарный
Решение проблемы	Специальное, аспектное	Интегральное, синтезное
Подход к изучению свойств систем и взгляд на вероятность (стохастику)	Физикалический подход-исследование характерных свойств простых стохастических систем на основе физической вероятности	На основе системной вероятности исследуют структурно-поведенческие свойства детерминированной сложной системы
Формулировка понятий, категорий и принципов	Каждая из систем использует свои принципы и свой категорийно — понятийный аппарат	Единый («сквозной») тезаурус на основе обобщенных понятий и принципов
Обобщение выводов по результатам исследований	Редукционизм: выявление специфики системы (целого) путем интеграции свойств ее частей	Эмерджентно — синтетические оценки структурно-поведенческих свойств сложных систем
Взгляд на систему	Полисистемный (декомпозиция простых систем на ряд подсистем, их моделей и т.п.)	Моносистемный (разнокачественная многомерность сложной системы)
Взаимосвязь систем в исследованиях	Общение посредством формального согласования и объединения результатов	Единая методология постановки проблем, анализа и синтеза результатов
Интерпретация общесистемных свойств и проблем	Рассмотрение свойств проблемы, типа элементов и этапов работ с позиции дисциплинарной принадлежности	Обобщенная оценка структурно-функциональных свойств целостной сложной системы и решаемых проблем

Инженерные изыскания для строительства, особенно зданий и сооружений повышенных уровней ответственности, должны «...обеспечивать комплексное изучение природных условий района, площадки, участка, трассы проектируемого строительства, местных строительных материалов и источников водоснабжения и получения необходимых и достаточных материалов для разработки экономически целесообразных и технически обоснованных решений при проектировании и строительстве объектов с учетом рационального использования и охраны природной среды, а также получение данных для составления прогноза изменений природной среды под воздействием строительства и эксплуатации предприятий, зданий и сооружений [10].

В состав комплексных инженерных изысканий, особенно для проектирования подземных сооружений внекатегорийных и I уровня отвественности, должны входить: инженерно-геодезические, инженерно-геологические, инженерно-экологические, гидрометеорологические изыскания и геофизические исследования. Результаты исследований по различным видам инженерных изысканий, на наш взгляд, должны интерпретироваться совместно специалистами всех этих направлений с выдачей совместных рекомендаций специалистам по проектированию. На рис.1 (исправленном и дополненном) представлены основные взаимосвязи между видами инженерных изысканий с выходом на оценку геологического риска [11].

Оценка геологического риска для сооружений повышенной ответственности выполняется в составе технического отчета по инженерно-геологическим изысканиям или самостоятельно на основе отчета (отчетов) [12].

Приведенная на рисунке 1 схема может изменяться в зависимости от конкретных условий и принимаемых проектных решений. Так, например, геофизические исследования могут проводиться как до инженерно-геологических изысканий, так и параллельно с ними и после них. Это же относится к инженерно-гидрометеорологическим и инженерно-экологическим изысканиям.

В последние годы применяется комплекс геофизических методов при решении инженерно-геологических задач в подземном строительстве, например, геофизическое сопровождение при строительстве бестраншейных коммуникаций методом виброимпульсного георадиолокационного зондирования, позволяющие выполнять исследования геомассивов до глубины 40 м [13].

Сейсмоакустическая томография является одним из перспективных направлений исследования геомассивов. Георадиолокационное зондирование в комплексе с сейсмоакустической томографией были проведены при строительстве кабельного коллектора 110 кВ на участке Гражданская — Войковская с целью определения качества укладки железнодорожной насыпи и элементов устоя моста Московской окружной железной дороги.

Этот же комплекс геофизических исследований был применен ООО «Геологоразведка» при исследовании геомассива для выяснения причин, приведших к провалу, и оценки его последствий в Москве на Ленинградском проспекте.

В процессе проведения геоэкологических изысканий получают информацию о степени загрязнения геологической среды (грунтов и подземных вод) тяжелыми металлами, токсичными веществами, радиоактивными элементами, газами, нефтепродуктами, микроорганизмами и т. д.

Одним из наиболее эффективных и оперативных методов установления строения массива, приближенного определения видов, разновидностей, плотности и консистенции грунтов, а также оценки деформационных прочностных и других характеристик является статическое зондирование [14].

Для обеспечения проектирования достоверными данными необходимо постоянное совершенствование нормативной базы инженерных изысканий, тем более, что в существующих нормативных документах, в частности по инженерно-геологическим изысканиям, имеются значительные пробелы и недоработки.

Так, например, при обработке материалов испытаний грунтов статическим зондированием специалисты сталкиваются с тем, что действующие нормативные документы носят в ряде случаев общий характер и не всегда позволяют рассчитать с достаточной точностью деформационные и прочностные характеристики грунтов. К примеру, в таблице 6 прил. 7 МГСН.2.07-97 [15], перешедшей без изменений в МГСН.2.07-01 [16], для расчета покровных, озерно-болотных и озерно-ледниковых глинистых грунтов (и глин, и суглинков, и супесей) предлагается единая формула: $E = 7{,}8q + 2$ (где q — лобовое сопротивление проникновению зонда в грунт). При этом, очевидно, что формула дана без учета таких важнейших свойств глинистых грунтов, как пластичность, пористость, наличие органических включений и т. д. [17, 18].

Расчет модуля деформации моренных отложений, т. е. $E = 8q + 7{,}5$, выполняется для грунтов московского, окского и днепровского оледенений по единой формуле. Несомненно, требуются дальнейшие исследования, корректировка и детализация указанных и других зависимостей.

Проведенная нами аналитическая обработка результатов параллельных испытаний статическим зондированием и статическими нагрузками штампами моренных глин и суглинков позволила установить корреляционную зависимость в виде: $E_ш = f(q_c)$, (табл. 2) [19, 20].

Сравнение полученных нами результатов с использованием первой зависимости с результатами рекомендуемого в МГСН 2.07-97 и МГСН 2.07-01 [15,16] уравнения для моренных глин и суглинков полутвердой и твердой консистенции $E_ш = 7{,}5 + 8\,qc$ показало их близкое сходство. Различие коэффициентов в предложенных нами двух уравнениях может быть объяснено тем, что второе из них было получено для тугопластичных и мягкопластичных моренных глин и суглинков, залегающих, как правило, в приповерхностных слоях, т. е. в зоне аэрации и искусственного замачивания грунтов.

Одним из самых сложных вопросов в области инженерно-геологических изысканий является определение прочностных и деформационных характеристик супесей. Расчет этих параметров традиционно выполняется по результатам статического зондирования по формулам, применимым для глинистых грунтов. Но нередко супеси очень близки по составу к пескам, поэтому значения модулей деформации (E) этих грунтов в подавляющем большинстве случаев получаются неоправданно завышенными. Также значительно завышенными получаются и значения сцеплений (C) супесей, рассчитанных по результатам статического зондирования и нередко получающихся равными 30 – 50 кПа и более, которые, как правило, по результатам лабораторных испытаний (в тех случаях, когда удается отобрать образцы ненарушенной структуры), составляют не более 6 – 12 кПа. Нормативные значения удельного сцепления (C), рекомендуемые действующими нормативными документами, в зависимости от коэффициента пористости (e) для супесей с показателями текучести $0 \le I_L \le 0{,}25$ не превышают 13 – 21 кПа, а с показателями текучести $0{,}25 < I_L \le 0{,}75$ находятся в интервале 9 – 19 кПа [21].

Ведущиеся в последнее время дискуссии о необходимости отмены нормативной документации, на наш взгляд, совершено беспочвенны, поскольку ликвидировать действие нормативных документов легко, но на разработку новых необходимо очень значительное время, большое количество специалистов и колоссальные экономические затраты [22]. По нашему твердому убеждению, работы в области совершенствования существующей нормативной базы инженерно-геологических изысканий для строительства должны продолжаться, а при появлении благоприятных условий необходимо приступать к разработке новых нормативных документов. А как будет называться любой из них — «Регламент...», СНиП или СП — существенной роли не играет, важно содержание документов и

Таблица 2. Уравнение зависимости $E_ш$ от q_c для моренных суглинков

Вид грунтов	Зависимость между $E_ш$ и q_c (МПа)	Диапазон измер ений q_c	R_f (%)
Глины и суглинки твердые и полутвердые	$E = 7+6{,}4\,q_c$	$q_c = 2 – 4{,}8$	4–7
Глины и суглинки тугопластичные и мягкопластичные	$E = 3+6{,}8\,q_c$	$q_c < 2$	4–5

неукоснительное выполнение их требований.Необходимо продолжить работу по обобщению и детализации свойств грунтов на основе более тесного взаимодействия изыскательских организаций, особенно, выполняющих научно-исследовательскую работу в этом направлении. Инженерные изыскания для строительства на современном этапе могут выполняться только на основании методологических разработок, совершенствования нормативной базы и внедрения компьютерных технологий. Системология позволит инженерным изысканиям подняться на качественно новый уровень, в том числе и для подземных сооружений. ●

В. И. КАШИРСКИЙ, к. т. н., нач. отдела инженерно-геологических изысканий НИИОСП им. Н. М. Герсеванова

Литература

1. Каширский В. И., Зиангиров Р. С. «Экологический аспект инженерно-геологических изысканий в условиях мегаполиса на примере г. Москва». «Городские грунты и техногенез. Экология и геоэкология городских агломераций». М., ФГУП «ВИМС», 2006 г., с. 46–53.

2. Фотиева Н. Н., Булычев Н. С., Саммаль А. С., Деев П. В. «Расчет обделок параллельных тоннелей, сооружаемых в условиях городской застройки». «Российская геотехника — шаг в XXI век». Труды юблейной конференции, посвященной 50-тилетию РОМГГиФ. М., 2007 г., НИИОСП, с. 258–263.

3. Булычев Н. С. «Механика подземных сооружений»: Учебник для вузов. 2-е изд., перераб. и доп. — М.: «Недра», 1994 г.

4. Майоров С. Г., Зиангиров Р. С. «Инженерные изыскания». «Современное высотное строительство». Монография. М., 2007 г., с. 82–93.

5. СНиП 11-02-96. «Строительные нормы и правила. Инженерные изыскания для строительства». М., Госстрой РФ, 1998 г.

6. Зиангиров Р. С., Каширский В. И. «Определение вида и оценка параметров, состава и свойств песчаных грунтов по результатам статического зондирования». // Объединенный научный журнал «Строительство», М., №33, 2004 г., с. 71–78.

7. Каширский В. И. «Инженерно-геологические изыскания для строительства на урбанизированных территориях». «Передовые технологии, оборудование и методы инженерно-геологических и геофизических изысканий и исследований при строительстве подземных сооружений». М., 2007 г., с. 117–126.

8. Федорова М. П. «Инженерно-геологические изыскания для строительства тоннелей и метрополитенов». «Передовые технологии, оборудование и методы инженерно-геологических и геофизических изысканий и исследований при строительстве подземных сооружений». М., 2007 г., с. 135–139.

9. Каширский А. И. «Управление эффективностью агроинженерных систем на принципах системологии и методах IT-технологии». «Организация и развитие информационного обеспечения органов управления, научных и образовательных учреждений» («Информагро-2005») / Материалы научно-практической конференции (ФГНУ «Росинформагротех», пос. Правдинский Московской обл.) 3–4 октября 2005 г., с. 325–328.

10. СНиП 1.02.07.87 «Инженерные изыскания для строительства». М., 1988 г.

11. Каширский В. И. «Системология комплексных инженерных изысканий для строительства». / Сб. докл. тематической научно-практической конференции «Городской строительный комплекс и безопасность жизнеобеспечения граждан» — М.: МГСУ, 2005 г.

12. «Рекомендации по оценке геологического риска на территории г. Москвы». ГУГ ОЧС г. Москвы, 2002 г.

13. Миронов С. И., Изюмов С. И., Дручинин С. В., Круглов Н. А. «Опыт применения комплекса геофизических методов для оценки состояния грунтового массива на объектах подземного строительства в Москве». «Передовые технологии, оборудование и методы инженерно-геологических и геофизических изысканий и исследований при строительстве подземных сооружений». М., 2007 г., с. 22–32.

14. Ziangirov R. S., Kashirsky V. I., Dmitriev S. V. Cone penetration tests data for evaluating soil type, composition and properties. Proceedings of the 14th Europian Conference on Soil Mechanics end Geotechnical Engineering. Geotechnical Engineering in Urban Environments. Madrid 2007. Pp. 1697–1684.

15. МГСН 2.07-97 (Московские городские строительные нормы) «Основания, фундаменты и подземные сооружения». ГУП «НИАЦ», М., 1998 г.

16. МГСН 2.07-97 (Московские городские строительные нормы). «Основания, фундаменты и подземные сооружения». ГУП «НИАЦ», М., 2002 г.

17. Каширский В. И. «Методика исследований состава и свойств дисперсных грунтов полевыми методами в условиях мегаполиса (на примере г. Москвы)». / Диссертация на соискание ученой степени кандидата технических наук. М., ФГУП ПНИИС, 2005 г., с. 293.

18. Каширский В. И., Зиангиров Р. С. «Определение плотности песчаных грунтов по результатам статического зондирования». // Объединенный научный журнал «Строительство», М., №34, 2004 г., с. 55–65.

19. Зиангиров Р. С., Каширский В. И. «Оценка модуля деформации дисперсных грунтов по данным статического зондирования». // Объединенный научный журнал «Строительство», М., №30, 2004 г., с. 74–82.

20. Каширский В. И. «Методика исследований состава и свойств дисперсных грунтов полевыми методами в условиях мегаполиса (на примере г. Москвы)». / Автореферат диссертации на соискание ученой степени кандидата технических наук. М., ФГУП ПНИИС, 2005 г., с. 23.

21. «Пособие по проектированию оснований зданий и сооружений» (к СНиП 2.02.01-83). — М.: «Стройиздат», 1986 г.

22. Каширский В. И. «Актуальный круг проблем. Инженерная геология». М., ПНИИИС, июнь 2007 г., с. 66–67.