

УДК 692.115:69.07:004.043

Д.Е. РАЗВОДОВСКИЙ, канд. техн. наук (79165206707@yandex.ru),

С.О. ШУЛЯТЬЕВ, канд. техн. наук (shulyatevs@yandex.ru), Л.Р. СТАВНИЦЕР, д-р техн. наук

Научно-исследовательский, проектно-изыскательский и конструкторско-технологический институт оснований и подземных сооружений (НИИОСП) им. Н.М. Герсевича АО НИЦ «Строительство» (109428, г. Москва, ул. 2-я Институтская, 6)

Применение BIM в геотехнике

BIM-проектирование является довольно модным инструментом в строительном проектировании. Разработчики программ, реализующих информационное моделирование, предрекают полный отказ от традиционного метода проектирования в ближайшем будущем. Несмотря на высокую эффективность применения информационного моделирования при разработке архитектурных решений и увязке со смежными областями, BIM в геотехнике к настоящему моменту развит слабо. В статье рассмотрены перспективы применения информационного моделирования в геотехническом строительстве на стадии проектирования, строительства и эксплуатации. Акцентируется внимание на необходимости экспертных оценок в геотехнической практике, составе геотехнических данных BIM-модели, использовании информационного моделирования при производстве геотехнических работ и геотехническом мониторинге. Описаны основные сложности и проблемы, которые предстоит решить, а также возможные механизмы формирования BIM-моделей на всех стадиях геотехнических работ. В заключение авторы призывают геотехников более активно подключаться к созданию основ информационного проектирования для возможности стандартизации форматов предоставления информации по геологическому строению площадки, данным по контролю качества в процессе устройства геотехнических конструкций и мониторингу.

Ключевые слова: информационное моделирование, BIM-модель, геотехника, мониторинг, производство работ, основания и фундаменты, инновации.

Для цитирования: Разводовский Д.Е., Шулятьев С.О., Ставницер Л.Р. Применение BIM в геотехнике // *Жилищное строительство*. 2018. № 11. С. 3–8.

D.E. RAZVODOVSKY, Candidate of Sciences (Engineering) (79165206707@yandex.ru),
S.O. SHULYATIEV, Candidate of Sciences (Engineering) (shulyatevs@yandex.ru), L.R. STAVNITSER, Doctor of Sciences (Engineering)
Research Institute of Bases and Underground Structures (NIIOSP) named after N.M. Gershevich, JSC Research Center of Construction
(6, 2nd Institutskaya Street, 109428, Moscow, Russian Federation)

The Use of BIM in Geotechnics

BIM design is a quite fashionable tool in construction design. Developers of programs implementing the information modeling predict a complete rejection of the traditional design method in the nearest future. Despite the high efficiency of information modeling, when developing the architectural solutions and linking with related areas, BIM in geotechnics is currently quite poorly developed. The article considers the prospects of application of information simulation in geotechnical construction at the stage of design, construction and operation. The attention is focused on the need for expert assessments in geotechnical practice, the composition of geotechnical data of the BIM model, the use of information modeling when conducting geotechnical works and geotechnical monitoring. The main difficulties and problems to be solved, as well as possible mechanisms for the formation of BIM models at all stages of geotechnical works are described. In conclusion, the authors call on geo-technicians to be more actively involved in the creation of the basis for information design for the possibility of standardization of formats of information presentation on the geological structure of the site, data on quality control in the process of construction of geotechnical structures and monitoring.

Keywords: information simulation, BIM-model, geotechnics, monitoring, conduction of works, bases and foundations, innovations.

For citation: Razvodovsky D.E., Shulyatiev S.O., Stavnitser L.R. The use of BIM in geotechnics. *Zhilishchnoe Stroitel'stvo* [Housing Construction]. 2018. No. 11, pp. 3–8. (In Russian).

BIM-проектирование стало в настоящее время крайне модным направлением в строительстве. Следует отметить, что цифровые модели уже сейчас выходят за рамки проектирования и начинают внедряться в смежные области, такие как гражданская оборона, урбанистика, транспорт и дорожно-транспортная инфраструктура, природопользование и охрана окружающей среды, энергетика, жилищно-коммунальное хозяйство [1]. При этом уже сейчас разработаны цифровые модели для 26 городов различной степени детализации, которые используются для решения различных проблем (<https://www.virtualcitysystems.de/> Обращение от 24.07.2018).

Считается, что изменяемая на всех этапах возведения здания трехмерная компьютерная модель здания обеспе-

чит полной информацией всех участников строительства, начиная с момента проектирования и заканчивая периодом эксплуатации здания. При этом утверждается, что использование BIM значительно сократит время проектирования и позволит избежать большого количества ошибок. Отметим, что ранее проведенный переход от проектирования с использованием калькуляторов и кульманов к применению компьютеров на всех стадиях проектирования почему-то не вызывал столь высоких оценок и ожиданий. Стандартов на проведение численных расчетов строительных конструкций не появилось до настоящего времени, а разрабатывать нормативные документы на использование CAD систем не потребовалось. BIM-проектирование идет совер-

шенно иным путем, регламентируя все этапы работ в виде СП и ГОСТов. Геотехники к этой работе практически не привлекаются, все решения в первую очередь принимают архитекторы, конструкторы и разработчики программного обеспечения.

Создание BIM-модели – это образование базы данных, содержащей структурированную информацию о ее элементах. Трехмерная и двухмерная визуализация здания, информация о строительных объемах на всем протяжении строительства являются всего лишь интерпретацией заданных в модели геометрических и количественных характеристик. Если все элементы модели создаются в процессе проектирования и контролируются в процессе строительства, то такая модель будет содержать исчерпывающую информацию об объекте. Не оспаривая всех достоинств BIM, можно утверждать, что это лишь новый способ работы с информационным потоком и оптимизация хранения информации о строительной конструкции. О значимости его говорить пока рано, она может выявляться только со временем. Все будут определять результаты возможного использования BIM. С точки зрения геотехника об эффективности использования BIM будет свидетельствовать успешность отражения геотехнических проблем.

BIM в геотехнике

Развитие технологий информационного моделирования в мире главным образом связано с увеличением значимости информационных технологий и масштабным практическим использованием трехмерных моделей в программных комплексах, появлением новых стандартов реализации проектов в представлении с взаимной увязкой графической и расчетной части проекта, а также с дополнительной информацией, получаемой в процессе производства работ и при эксплуатации построенного здания. При этом эти данные, интересующие инженера-геотехника, в большинстве случаев или вообще не включают или включают в минимальном объеме. Попытка решить проблему и внедрить цифровые технологии в геотехнику предпринята компанией Bentley Systems, специализирующейся на создании информационных продуктов, которая в 2018 г. приобрела компанию PLAXIS (КЭ программа для геотехнических расчетов), gINT (программа по обработке результатов полевых изысканий) и SoilVision (позиционирующая себя как глобальная база характеристик грунта и программа по обработке лабораторных испытаний). Однако, как утверждают сами специалисты из Bentley Systems, до интеграции информационных технологий в геотехническое строительство еще пока далеко. С точки зрения отечественных нормативных документов в СП 333.1325800.2017 указывается лишь, что при обосновании инвестиций на основе результатов инженерных изысканий следует создавать ИЦММ (инженерная цифровая модель местности), которая должна служить источником информации для комплексной оценки, анализа инженерно-геологических условий участка строительства и составления долгосрочных прогнозов на возможные изменения этих условий на время строительства и последующей эксплуатации объектов. Вся геотехника сводится фактически к введению в модель геоподосновы, т. е. ИЦММ, которая состоит из цифровой модели рельефа и цифровой модели ситуации. Геологические и геотехнические аспекты в СП просто не рассматриваются.

Особенность подхода BIM-технологии заключается в том, что строительный объект проектируется как единое целое и изменение какого-либо параметра влечет за собой автоматическое изменение остальных связанных с ним параметров и объектов, вплоть до чертежей, визуализаций, спецификаций и календарного графика. Подходы BIM позволяют в создаваемой строительной конструкции оперативно отражать все изменения и дополнения, обеспечивая полной информацией архитекторов, конструкторов и специалистов по инженерным сетям. Одновременно информация, связанная с геотехническими проблемами объекта, не столь хорошо ложится в заданные схемы. Информация о геологическом строении и, как правило, о примыкающих к зданию коммуникациях полной являться не может, а состоит в наборе дискретных данных. Информация по коммуникациям в месте откопки шурфов при наличии новых выработок может быть существенно видоизменена в ходе обследования и при производстве работ. Информация о геологическом строении, с одной стороны, уточняется после каждой из пробуренных скважин в пятне зданий, а с другой – она связана и с изысканиями вне пятна здания. При этом как строить трехмерную геологическую модель между инженерно-геологическими скважинами, никакими документами не регламентировано. Повсеместно известен факт, что при проведении изысканий различными изыскательскими организациями наблюдаются существенные отличия не только в основных показателях физико-механических свойств грунтов, но даже и в наборе ИГЭ. Кроме того, даже у лидеров отрасли в части обработки результатов полевых инженерно-геологических изысканий инженерно-геологические разрезы до сих пор строятся в полуавтоматическом режиме, с ручным назначением слоев.

С точки зрения геотехников не существует единого мнения, какая информация о показателях физико-механических свойств грунтов должна включаться в BIM-модель для возможного использования в расчетах. Существует большое количество расчетных подходов. Ранее используемые решения теории упругости не удовлетворяют современным требованиям. Им на смену приходят многочисленные нелинейные модели механического поведения грунта – Sam Clay, MC, HS, HSS и т. д. Зачастую эти модели не документированы, их параметры определяются без привлечения нормативной базы. Количество методов испытаний грунтов обширно, в то время как по результатам этих испытаний получают различные величины искомых параметров. На практике для получения адекватных результатов расчета в большинстве случаев необходимы экспертные оценки полученных результатов испытаний. Очень большой вопрос, как вместить и структурировать всю эту информацию в рамках BIM-модели.

Экспертные оценки в геотехнике

В геотехнической практике экспертные оценки получают все большее и большее применение. В повседневную практику приходит «наблюдательный метод», который допускает возможность выбора проектного решения по данным мониторинга в тех случаях, когда имеются существенные неопределенности в геологическом строении участка или механическом поведении конструкций. Для этого подхода структурированная наперед заданным об-

Таблица 1

Характеристика геотехнической информации

Вид работ	Однозначность		Необходимость нетипизированных данных		Необходимость экспертных оценок	
	да	нет	да	нет	да	нет
Данные об инженерно-геологическом строении площадки, в том числе гидрогеологии		■	■		■	
Данные об основных показателях физико-механических свойств грунтов		■	■		■	
Проектные материалы об устраиваемых фундаментных конструкциях	■			■		■
Данные по ИЦММ	■			■		■
Данные мониторинга		■	■		■	
Данные производства работ	■		■		■	
Свайные фундаменты и «стена в грунте»	■		■		■	
Фундаменты на естественном основании	■		■			■
Усиление оснований	■			■	■	
Данные о перекладке коммуникаций		■		■		■
Данные о дополнительных изысканиях		■	■		■	
Данные об авариях		■	■		■	
Данные о состоянии фундаментов		■	■		■	
Данные о протечках гидроизоляции		■	■		■	
Данные о динамических воздействиях						

разом информация не может существовать в принципе. Наблюдательный метод – высшая форма использования экспертных оценок, она не предполагает возможности принятия решений без вмешательства геотехника. Держать в рамках BIM-модели несколько альтернативных проектных решений, конечно, задача технически возможная, но требующая дальнейшего совершенствования подходов к BIM проектированию.

Следует отметить, что в геотехнической практике часто не получается структурировать и свести к единообразному виду всю информацию. Результаты геотехнического мониторинга или обследования существующих зданий часто не ложатся в заранее заданные схемы. Необходимо сохранять в большом количестве разнообразную информацию, структура которой заранее неизвестна. Мысли о необходимости введения в модель нетипизированной информации возникают не только у геотехников, но и у специалистов, занимающихся построением BIM-моделей уже существующих зданий по результатам обследования и обмеров. В [2] предложена информационная модель эксплуатации памятника архитектуры. Автор указывает, что это не просто виртуальная копия конкретного архитектурного памятника, в которой отражена информация о геометрии сооружения, а своеобразный «интеллектуальный контейнер» с взаимосвязанной информацией об объекте, которая может неограниченно пополняться. Вероятно, в геотехнике возможны аналогичные или какие-то сходные подходы, но стоит заранее договориться, как это следует выполнять.

Необходимость экспертных оценок практически совпадает с необходимостью использования нетипизированной информации, но является несколько более широким понятием. Указанное положение проиллюстрировано в табл. 1.

О составе геотехнических данных BIM-модели

В [3] приводятся результаты опроса европейских геотехников об использовании информационных технологий в их повседневной деятельности. Все его участники согласились с тем, что геотехнические данные должны быть включены в общую информационную модель, и полностью согласны, что BIM выгоден строительной отрасли Великобритании. Более 80% опрошенных специалистов заявили, что используют BIM, в основном коммерчески доступный пакет в сочетании с CAD и соответствующим программным обеспечением. Эти цифры сравниваются авторами с мнением 54% пользователей BIM в Великобритании в 2013 г. Тремя основными категориями данных, которые эксперты считали необходимыми для включения в BIM, являлись прочностные характеристики грунтов (например, угол внутреннего трения, сцепление, 37%), отдельные данные полевых испытаний (статическое зондирование, 33%) и стратиграфия участка строительства (30%). Интересно, что ни один из опрошенных не упомянул о скрытых коммуникациях или существующих подземных объектах, хотя они часто составляют значительную часть непредвиденных условий для реализации проекта. Включение геотехнических данных в информационную модель положительно отразится на стоимости проекта, но эксперты ожидают временных последствий, возможно, из-за сложностей в обмене данными или несовместимости форматов (40%). Это подтверждается тем фактом, что почти два из трех респондентов считают, что данные о геотехнических особенностях здания должны передаваться в том же формате, что и для наземных конструкций, тогда как 40% опрошенных специалистов считают, что формат AGS подходит как универсальный формат геотехнических данных при совместном их использовании.

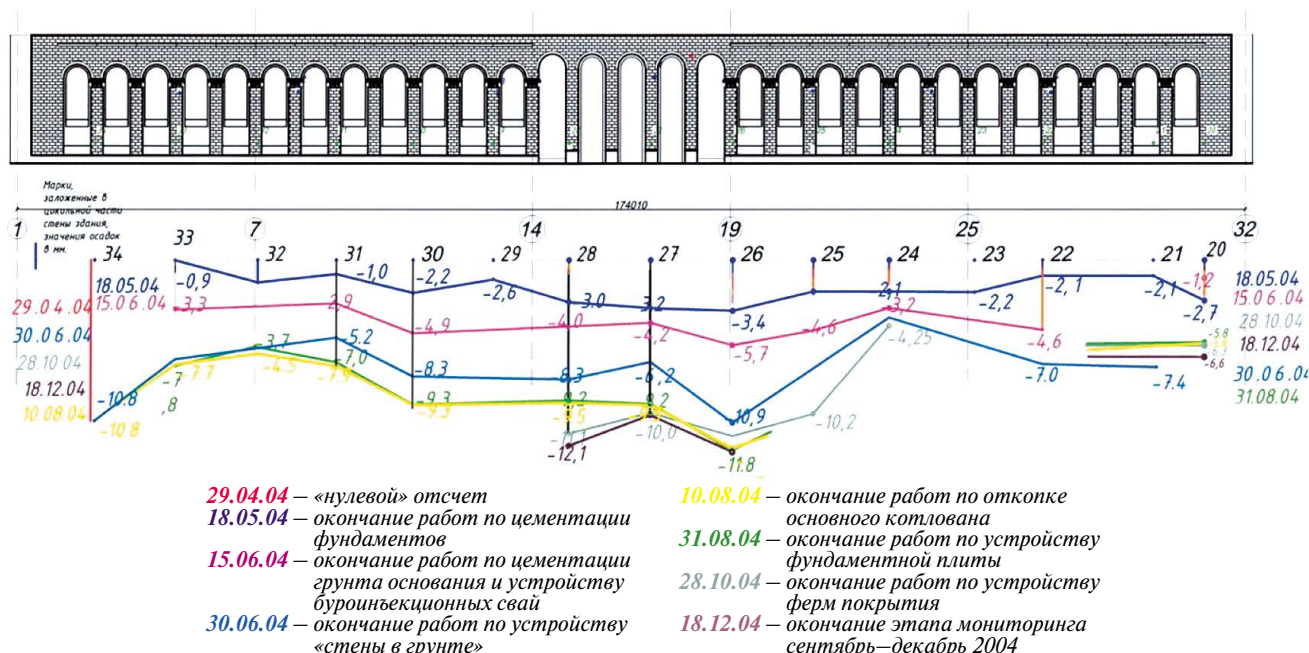


Рис. 1. График осадок фундаментов в процессе выполнения работ по реконструкции ЦВЗ «Манеж» [7]

В [4] делается вывод, что BIM выполняет свою задачу на всех этапах строительного проекта, предоставляя преимущества с точки зрения улучшения качества конструкции, простоты реализации, способности к обмену информацией, сокращения затрат на строительство и ошибок проектирования, более быстрой работы над проектом и сокращения времени строительства, энергоэффективности, поддержки строительства и управления проектами, а также позволяет своим владельцам повысить эффективность работы в жизненном цикле строительства. При этом отмечается, что оптимальная схема для построения BIM-модели в геотехнике до сих пор не найдена.

С точки зрения авторов BIM-модель должна включать хотя бы следующую геотехническую информацию.

1. Информация по геологическим выработкам, включая гидрогеологию.

2. Правила построения инженерно-геологических разрезов между скважинами.

3. Таблица основных показателей физико-механических свойств грунтов, определенных в соответствии с действующей нормативной литературой.

Опционно может присутствовать следующая информация.

1. Результаты статического зондирования, выполненного непосредственно на площадке строительства.

2. Результаты испытания грунтов винтовыми штампами или прессиометрических испытаний.

3. Протоколы проведения испытаний грунтов, включая трехосные испытания.

4. Результаты определения дополнительных характеристик (RQD, OCR, данные динамического зондирования, данные геофизических исследований и т. д.).

5. Данные гидрогеологических исследований.

6. Альтернативные данные по основным показателям физико-механических свойств грунтов основания в результате проведения дополнительных изысканий.

7. Данные о производстве работ (включая промораживание грунта, перекопку котлована, несоответствие факти-

ческого геологического строения результатам ИГИ, отклонения свай от проектных положений, наличие шламового слоя, дефекты в сваях, результаты бетонирования, отсутствие контакта фундамента с основанием, дефекты гидроизоляции и др.).

8. Информация о коммуникациях.

Отметим, что ИЦМММ обычно включает информацию о коммуникациях, которые расположены непосредственно близко к дневной поверхности. При этом часть коммуникаций на ней не может быть показана по различным соображениям. Сооружения метрополитена на геоподоснове или ИЦМММ обычно вообще не показываются.

При устройстве фундаментов возможное количество корректировок проектной документации значительно больше, чем при возведении надземных конструкций. Это связано с отличием фактического геологического строения площадки от полученного в ходе изысканий, наличием в грунте скрытых полостей, невозможности доступа ко всем участкам устраиваемых конструкций (в первую очередь это относится к сваям и конструкциям, выполняемым способом «стена в грунте»). С этой точки зрения внедрение информационных технологий в производство работ по устройству всех видов фундаментов является актуальной задачей.

BIM при производстве геотехнических работ

На стадии строительства применение BIM в геотехнике не имеет столь ярко выраженных особенностей по сравнению с другими строительными конструкциями. Вся информация о производстве работ и выявленных дефектах может легко заноситься в BIM-модель. Проведенный анализ показывает, что компании, принимающие наиболее активное участие во внедрении BIM-технологий, отмечают, что использование технологии информационного моделирования на этапе строительства позволяет повысить скорость подготовки аналитических отчетов о ходе строительства,

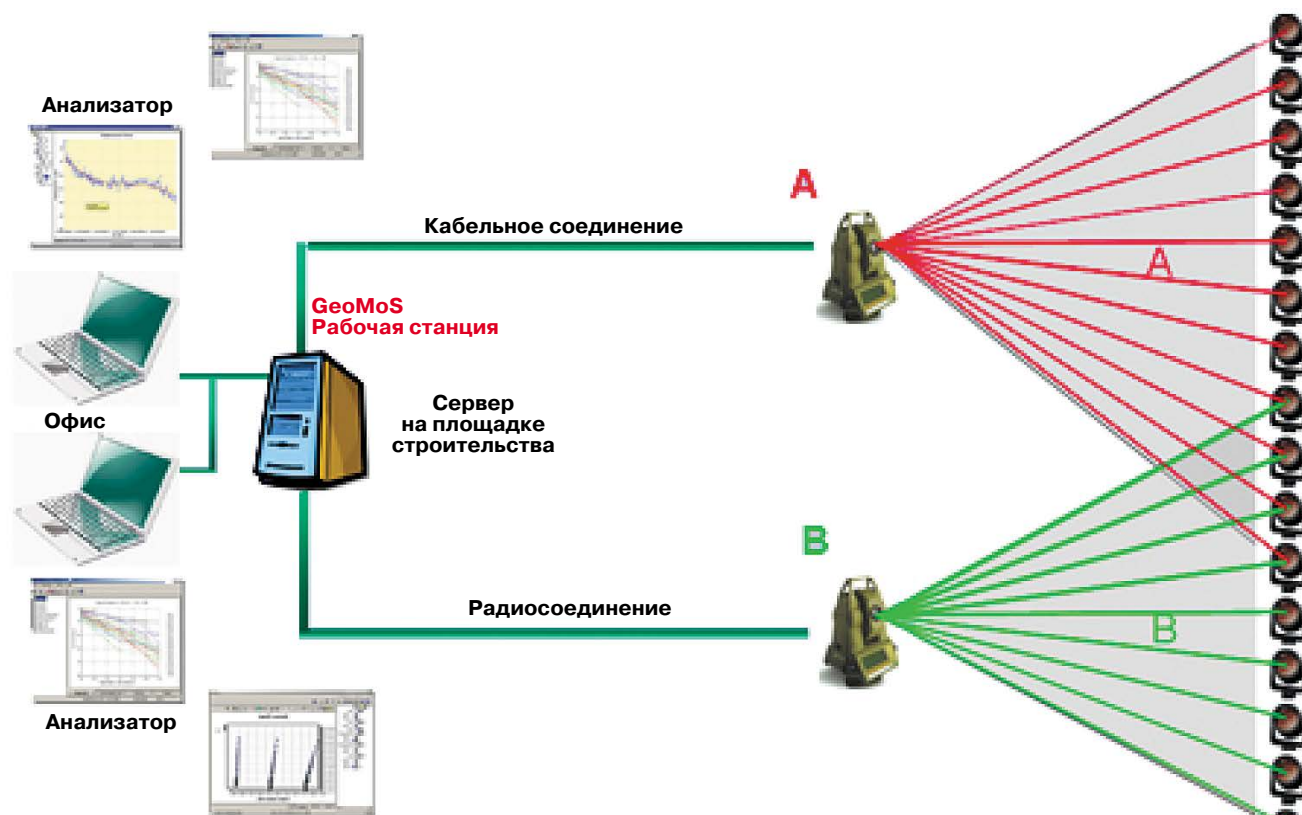


Рис. 2. Принципиальная схема организации системы постоянно действующего мониторинга (Шулятьев О.А., Мозгачёва О.А. *Геотехнический мониторинг при строительстве и эксплуатации подземных сооружений. В кн.: Российская архитектурно-строительная энциклопедия. Т. XII. Строительство подземных сооружений. М., 2008. С. 425–438*)

снизить риски возникновения ошибок благодаря получению информации из единого актуального источника, исключая ручные пересчеты; легко может быть типизирована и сведена в общую базу данных информация о выявляемых визуально дефектах конструкций. Журналы производства работ также легко могут быть оцифрованы. Исполнительная съемка выполненных фундаментных конструкций также легко может быть представлена в модели. Таким образом, большинство методов контроля качества может быть типизировано и представлено в информационной модели. Тем не менее часть получаемой информации остается неопределенной. Часто неизвестна фактическая толщина фундаментных конструкций. Неизвестна величина защитного слоя для нижней арматуры фундаментных плит или буровых свай. Методы выявления дефектов в сваях (Sonic и Super Sonic) не дают полностью достоверной информации без разрушивания конструкций свай.

ВМ в геотехническом мониторинге

Активное внедрение информационных технологий именно в процесс мониторинга за устройством геотехнических конструкций легко делает этот этап геотехнических работ составной частью BIM-модели. Применение технологий информационного моделирования на этапе строительства обладает очевидными достоинствами, однако примеры практической реализации полностью автоматизированного мониторинга в отечественной практике пока малочисленны или касаются реализации систем документооборота.

Первым объектом, где был осуществлен комплексный подход к геотехническому мониторингу, стало строитель-

ство подземного сооружения на Манежной площади [5]. С развитием техники стало возможным наблюдать не только за измерением осадок фундаментов и грунтовых марок, но и перемещений ограждающей конструкции котлована на всем его протяжении. Особенно это стало актуальным при строительстве в плотной городской застройке [6–9]. Так, при строительстве подземной части Турецкого торгового центра в Москве [6] производились измерения перемещений ограждающей конструкции котлована и осадок окружающей застройки с фиксацией дефектов, в результате чего составлялись две зависимые друг от друга базы данных: база измерения горизонтальных перемещений ограждающей конструкции и база дефектов окружающих сооружений. Первая попытка создания объемной цифровой модели сооружения, базирующейся на результатах лазерного 3D-сканирования, была предпринята в 2004 г. при выполнении мониторинга ЦВЗ «Манеж» в Москве [7], которая представляла модель этапа мониторинга (рис. 1). Первый автоматизированный мониторинг был применен при строительстве ММДЦ «Москва-Сити», вся территория которого была оборудована роботизированной постоянно действующей системой «CYCLOPS» [8], которая имела функции автоматического поиска марок с автонаведением, съемкой показаний и передач всей базы данных в Интернет; благодаря этому была сформирована информационная система, включающая модели здания и обеспечивающая обмен данными для сравнения с результатами математического моделирования (рис. 2).

Как можно видеть, в геотехнической литературе отсутствует информация о реализованных и интегрированных с BIM комплексах автоматизированного строительного кон-

Таблица 2
Форматы хранения данных 3D-сканирования

Производитель оборудования	Формат файла
Общий формат (ASCII)	.XYZ, TXT, .ASC
Leica	.PTG, .PTS, .PTX
Faro	.FLS, .FWS, .XYB
LIDAR	.LAS
Topcon	.CLR, .CL3

троля. Предлагаемые проекты пока ориентированы на решение отдельных задач мониторинга.

Современные геодезические приборы позволяют осуществлять как обмен со специальными приложениями для предварительной обработки данных, так и экспортировать измеренные координаты в табличном и текстовом виде. Далее информация о координатах измеренных точек может быть импортирована в программы формирования чертежей (Autodesk AutoCAD, NanoCAD и др.) или в форматах представления массивов (облаков) точек в информационные модели. Наиболее распространенные форматы в зависимости от производителя оборудования представлены в табл. 2.

Более традиционный подход к работе с геодезическими измерениями, в том числе при роботизированной съемке, предполагает экспорт/импорт координат для приборов. При этом координаты могут дополняться вспомогательными метками, упрощающими их идентификацию. Имеются программы для упрощения обмена данными для геодезических приборов.

Наиболее простая форма обмена данных реализуется путем выгрузки координат в текстовые файлы, но пока единого стандарта для такого вида операций не предложено.

Современные системы также предусматривают прямую связь с мобильными устройствами для ускорения процедур импорта/экспорта данных вплоть до режима реального времени. Разработанные решения на базе информационных моделей поддерживаются программными продуктами Autodesk (Point Layout) и Trimble (Tekla Field 3D). Такие решения позволяют достаточно легко выходить на BIM.

Выводы

Геотехникам необходимо более активно участвовать в создании основ для BIM-проектирования. В разрабатываемых в настоящее время подходах особенности геотехнических работ пока не нашли отражения. Желательно как можно скорее начать исправление ситуации.

В современных условиях появилась возможность создания и развития информационных моделей не только на стадии проектирования, но и возведения конструкций, а также на период дальнейшей эксплуатации зданий. Необходимо разрабатывать приемлемые формы стандартизации форматов представления по геологическому строению площадки, данным по контролю качества в процессе устройства геотехнических конструкций и мониторингу.

На стадии устройства фундаментов BIM-модель может строиться только во взаимодействии с сопутствующими моделями ИЦМММ и геологическим строением, необходимо организовать правила такого взаимодействия.

Если процесс проектирования зданий с построением BIM моделей уже стал реальностью и используется на практике проектными организациями, то построение эффектив-

ного BIM-взаимодействия всех участников строительного процесса на стадии устройства фундаментов является задачей ближайшего будущего.

В рамках настоящей работы рассмотрены возможные механизмы формирования BIM-моделей на всех стадиях геотехнических работ.

Список литературы / References

1. Вальгер С.А., Федорова Н.Н. Концепция виртуального города для задач строительства и планирования городской среды. *Тезисы докладов VII международного симпозиума: Актуальные проблемы компьютерного моделирования конструкций и сооружений (APCSCE 2018)*. Новосибирск: Сибстрин, 2018. С. 54.
1. Valger S.A., Fedorova N.N. Virtual city conception for construction and urban environment planning tack. *VII International Symposium: Actual problems of computational simulation in civil engineering (APCSCE 2018)*. Novosibirsk: Sibstin. 2018, p. 54. (In Russian).
2. Талапов В.В. О некоторых закономерностях и особенностях информационного моделирования памятников архитектуры // *AMIT*. 2015. № 2 (31). <http://www.marhi.ru/AMIT/2015/2kvart15/talapov/talapov.pdf> (дата обращения 24.07.2018).
2. Talapov V.V. About some conformity and peculiarity of historic landmark information modelling. *AMIT*. 2015. No. 2 (31). <http://www.marhi.ru/AMIT/2015/2kvart15/talapov/talapov.pdf> (Date of access 24. 07. 2018). (In Russian).
3. Liam R. Tawelian, Slobodan B. Mickovski. The Implementation of Geotechnical Data Into the BIM Process. *Proceedings Engineering The 3rd International Conference on Transportation Geotechnics (ICTG 2016). Advances in Transportation Geotechnics 3*. 2016. Vol. 143, pp. 734–741.
4. Bryde D., Broquetas M., Volm J.M. The project benefits of building information modeling (BIM). *International Journal of Project Management*. 2013. No. 7. Vol. 31, pp. 971–980.
5. Ильичев В.А., Коновалов П.А., Никифорова Н.С. Особенности геомониторинга при возведении подземных сооружений в условиях тесной городской застройки // *Основания, фундаменты и механика грунтов*. 1999. № 4. С. 20–26.
5. Ilichev V.A., Konovalov P.A., Nikiforova N.S. Constructing of underground structures in cramped urban conditions geomonitring peculiarities. *Osnovaniya, fundamenti i mehanika gruntov*. 1999. No. 4, pp. 20–26. (In Russian).
6. Petrukhin V.P., Shuljatjev O.A., Mozgacheva O.A. Construction of the underground part of the Turkish Trade Center. *Proceeding of 4th International Symposium Geotechnical Aspects of Underground Construction in Soft Ground*. Toulouse. 2002, pp. 125–128.
7. Мозгачева О.А., Петрухин В.П., Разводовский Д.Е., Шультяев О.А. Геотехнические аспекты реконструкции московского Манежа // *Развитие городов и геотехническое строительство*. 2006. № 10. С. 222–232.
7. Mozgacheva O.A., Petruhin V.P., Razvodovskii D.E., Shulyatev O.A. Geotechnical aspects of Moscow Manez reconstruction. *Razvitie gorodov and geotekhnicheskoe stroitelstvo*. 2006. No. 10, pp. 222–232.
8. Eastman C., Teicholz P., Sacks R., Liston K. *BIM Handbook*. Second edition. NJ: Wiley, 2011. 626 p.
9. Rob Krier. *Town spaces*. Basel, Berlin, Boston: Birkhauser, 2006. 288 p.