

**Использование технологий BIM для проектирования подземных сооружений.  
Из зарубежного опыта**



**Предлагаем вниманию читателей обзор материалов статьи Гэри Морина «Информационное моделирование в строительстве (BIM) для геотехнических объектов: применение принципов BIM к подземным условиям» [6], опубликованной в разделе Autodesk University на сайте американской компании AUTODESK – крупнейшего в мире поставщика программного обеспечения для промышленного и гражданского строительства, машиностроения, рынка средств информации и развлечений. В процессе изложения будут привлечены и некоторые другие материалы.**

**Автор вышеуказанной статьи имеет образование инженера-строителя и огромный опыт в разработке программного обеспечения для геоинформационных систем и систем автоматизированного проектирования, а также в качестве соучредителя и технического директора компании Keunetix, где он возглавляет создание и информационно-техническую поддержку ряда программных продуктов, предназначенных для управления геотехническими данными в процессе информационного моделирования объектов геотехнического строительства (геотехнического BIM).**

**Обзор написан при поддержке партнера журнала «ГеоИнфо – компании CSD, официального дистрибьютора продуктов корпорации AUTODESK в России.**

## АНАЛИТИЧЕСКАЯ СЛУЖБА «ГЕОИНФО»

info@geoinfo.ru

## CSD

Официальный дистрибьютор продуктов корпорации AUTODESK в России

info@csd.ru

## Введение

BIM (Building Information Modeling) – это процесс трехмерного информационного моделирования объекта строительства в общей цифровой среде для согласованной работы участников проекта на всех стадиях его развития (в идеале – на этапах инженерных изысканий, проектирования, строительства, эксплуатации и даже сноса, рис. 1). Этот принципиально новый подход к развитию проектов явился результатом эволюции классических методов проектирования и систем автоматизированного проектирования. Основные принципы BIM впервые сформулировал и применил на практике Роберт Эйш в 1980-х годах, работая над реконструкцией аэропорта в Лондоне.



**Рис. 1.** BIM – процесс трехмерного информационного моделирования объекта строительства на всех стадиях развития проекта [3]. Сюда же можно было бы добавить снос объекта по окончании срока его службы и рекультивацию площадки

Аббревиатурой BIM также называют и созданную единую информационную модель объекта строительства (Building Information Model). Все ее части скоординированы и связаны между собой. Она допускает внесение обновлений, пригодна для компьютерной обработки, расчетов и, анализа. Изменение в ней какого-либо параметра приводит к автоматическому перерасчету всех остальных. При появлении обновлений в одной части модели автоматически вносятся соответствующие изменения и в остальные ее части. Она

обновляется и совершенствуется в течение всего времени развития проекта (и жизненного цикла строительного объекта) и позволяет всем участникам этого процесса и заказчикам иметь оперативный доступ к текущим данным, в том числе к трехмерному визуальному представлению информации. Благодаря этому ошибки в проекте можно обнаружить на ранних этапах проектирования, а не во время строительства. Это обеспечивает улучшение результатов работ на всех этапах: снижаются затраты труда, времени и денег при инженерных изысканиях, проектировании, строительстве и эксплуатации. Все это принципиально отличает BIM от обычной 3D-визуализации.

Но следует подчеркнуть, что на сегодняшний день процесс BIM не является полностью автоматизированным. Все принципиально важные решения принимают люди, но на основе согласованной коллективной работы. Действие каждого участника процесса отражается в информационной модели, поэтому его результаты становятся известными остальным специалистам и заказчику. Следует также отметить, что работа на основе принципов BIM требует специального программного обеспечения – целого набора приложений [1–5, 7–9].

### **Необходимость использования подхода BIM для подземных строительных объектов, причем начиная с этапа инженерных изысканий**

Хотя использование информационного моделирования объектов строительства (BIM) в последние годы значительно выросло, оно чаще всего, к сожалению, проводится лишь для надземных частей зданий или сооружений с игнорированием подземной среды, что является большим упущением. Ведь основная задача BIM заключается в сокращении затрат при строительстве за счет снижения рисков прежде всего на ранних стадиях проектирования, а столкновение с непредвиденными подповерхностными условиями уже на этапе строительства является одним из самых больших рисков. Действительно, для более чем трети строительных проектов, по которым были превышены запланированные затраты, сообщалось, что основной причиной перерасходов были непредвиденные грунтовые условия. Поэтому в сферах инженерных изысканий и геотехнического строительства также следует применять технологии BIM, чтобы уменьшить неопределенности и риски, связанные с инженерно-геологическими условиями, настолько, насколько это возможно. И это, несомненно, снизит риски и затраты в процессе реализации всего проекта в целом.

В связи с этим рассмотрим материалы статьи технического директора компании Keunetix Гэри Морина «Информационное моделирование в строительстве (BIM) для геотехнических объектов: применение принципов BIM к подземным условиям» [6], опубликованной на сайте американской компании AUTODESK – крупнейшего в мире поставщика программного обеспечения для строительства, машиностроения, рынка средств информации и развлечений.

В статье Морина [6] рассказывается о том, как основные принципы BIM по обмену данными и совместной работе в процессе разработки и реализации проекта могут быть использованы для геотехнического строительства на примере лондонского автодорожного тоннеля Сильвертаун (Silvertown Road Tunnel), контракт на строительство которого был заключен в ноябре 2019 года, а ввод в эксплуатацию намечен на 2025 год. Информационное моделирование при инженерных изысканиях и проектировании этого объекта проводилось (и продолжает проводиться) с использованием системы автоматизированного проектирования [AutoCAD Civil 3D](#) (рабочие процессы в которой

основаны на технологии BIM) и программного комплекса [Navisworks](#) (предназначенного для управления BIM-проектами), а также баз данных и систем управления данными (служащих для объединения доступных материалов из разных источников).

Такой подход привел к более хорошему пониманию условий вдоль предполагаемой трассы будущего тоннеля и к усовершенствованным процессам моделирования и визуализации инженерно-геологических данных при работе широкого круга специалистов. И в конечном итоге это помогло снизить риски и сэкономить деньги.

В подтверждение Гэри Морин [6] приводит слова Саймона Майлза – главного инженера-геолога компании Atkins, ответственной за проектирование указанного объекта: *«Использование полностью интегрированной мультимедийной трехмерной модели на основе AutoCAD Civil 3D, включающей в том числе подповерхностные условия, стало настоящим открытием для проектной команды. Визуализируя при проектировании грунтовые условия, мы можем снизить риски и расходы по проекту на этапе строительства».*

Далее Морин [6] раскрывает заявленную тему более подробно.

## **BIM – результат эволюции традиционных процессов проектирования и САПР**

Автор статьи [6] отмечает, что технология 3D BIM является результатом эволюции традиционных методов проектирования (сначала с помощью чертежных досок и кульманов, а затем с использованием все более совершенных систем автоматизированного проектирования – САПР). На рисунке 2 он сопоставляет это с эволюцией программного обеспечения в геотехнической отрасли: первоначально колонки буровых скважин и геологические разрезы рисовались вручную, затем было разработано графическое программное обеспечение, помогающее их строить, а со временем к этой функции добавилось и управление данными, позволяющее распечатывать их одним нажатием кнопки.



**Рис. 2.** Возникновение технологии BIM (сверху) и инженерно-геологического (геотехнического) программного обеспечения (снизу) (по [6])

И, к сожалению, как отмечает Морин [6], на получении разреза часто все и заканчивается. Инженерно-геологический разрез – это, конечно, очень важный документ, но в конечном счете это либо лист бумаги, либо PDF-файл и содержащиеся в нем данные нелегко использовать повторно или анализировать. То есть многие инженеры-исследователи

все еще не используют технологии BIM и передают информацию проектировщикам традиционными способами – в виде отчетов, содержащих разрезы и другие 2D изображения условий площадки строительства. И проектировщикам, чтобы использовать инженерно-геологическую (геотехническую) информацию при разработке проекта, приходится ее повторно изучать, расшифровывать и даже повторно вводить в компьютер, а только потом визуализировать в 3D. Но это медленный и трудоемкий процесс, который часто приводит к ошибкам, проявляющим себя уже на этапах строительства или эксплуатации объекта.

Автор статьи [6] считает, что хотя бы главные принципы BIM вместе с соответствующим программным обеспечением могут быть с большой пользой применены и при геотехническом проектировании (начиная с этапа инженерных изысканий). И преимущества такого подхода уже испытала, например, команда компании Atkins, работавшая и продолжающая работать над проектом автодорожного тоннеля Сильвертаун в Лондоне.

## **Главные принципы BIM**

Гэри Морин [6] напоминает, что подход BIM сначала возник не в строительной, а в производственной сфере. Прежде чем изделие поступало в производство, иногда в течение нескольких лет разрабатывались и испытывались его многочисленные прототипы. Разные группы специалистов, работавшие над этим, должны были периодически собираться вместе и работать коллективно. Прототипы испытывались снова и снова, пока не выбирался наиболее подходящий. Затем его изменяли и снова испытывали до тех пор, пока он не был усовершенствован настолько, чтобы быть запущенным в производство. На протяжении всего этого времени данные об изделии и его физические прототипы сохранялись для внесения любых изменений, которые могут оказаться полезными в течение всего срока его службы.

Но этот процесс не может быть полностью воспроизведен в строительной сфере, поскольку тоннель, дорога, здание или другой объект инфраструктуры не могут быть сначала построены, а при неудаче изменены или снесены и построены заново в усовершенствованном виде. Однако, применяя правильные процессы и методологии, можно построить виртуальный прототип здания или сооружения на основе знаний из различных дисциплин гражданского строительства. Затем эту первичную виртуальную модель можно изменять для усовершенствования проекта и будущего процесса строительства, а потом сохранять доработанную модель в течение всего срока эксплуатации объекта (например, для помощи в его обслуживании и ремонте).

Если говорить об использовании процесса BIM при геотехническом проектировании и строительстве, то и здесь наиболее важны три его основных принципа (процесс разработки, развития и совершенствования единой комплексной информационной модели; скоординированная работа всех участников проекта в единой цифровой среде; учет всего жизненного цикла объекта строительства) и инструменты работы с цифровыми данными, то есть соответствующее программное обеспечение (рис. 3).



Рис. 3. Главные принципы BIM (по [6])

Далее Гэри Морин [6] более подробно рассматривает главные принципы BIM и цифровые инструменты для их применения (см. рис. 3).

1. Информационное моделирование объекта строительства (BIM) – это *процесс*. BIM требует согласованных воспроизводимых процедур, методов и информационных потоков, позволяющих быстро вводить, обрабатывать данные и обмениваться ими.

2. Необходима *скоординированная работа (сотрудничество)* всех специалистов и команд, участвующих в проектировании. Многие из преимуществ BIM достигаются за счет визуализации и анализа данных вместе с информацией из других разделов проектирования (дисциплин), что позволяет инженерам видеть общую картину и принимать решения на основе большей информированности.

3. Должен быть охвачен *весь жизненный цикл объекта строительства*. То есть должны сохраняться и наращиваться данные, собираемые в течение всего жизненного цикла объекта, чтобы их можно было снова использовать и обновлять. Как уже отмечалось выше, в среде без BIM информация часто теряется и ее приходится повторно изучать на каждом этапе развития проекта. Управляя же информацией с помощью BIM, ее можно использовать в течение всего срока эксплуатации строительного объекта и, возможно, для будущих проектов.

4. Использование *3D цифровых данных* является средством, которое позволяет достичь преимуществ BIM. Чтобы добиться успеха в процессе информационного моделирования строительного объекта, должны применяться общие (единые) форматы. Например, в Великобритании и некоторых других странах для геотехнических данных используются согласованные стандарты Ассоциации специалистов по геотехнике и геоэкологии (AGS). А в Соединенных Штатах все больше применяют формат обмена данными по геотехнике и геоэкологии DIGGS. Оба указанных формата позволяют передавать геотехнические и геоэкологические данные внутри организаций и между ними. Формирование наборов таких данных для работы с ними требует их импорта из файла обмена информацией в выбранную систему управления геотехническими данными.

## Основные преимущества BIM

Одним из основных преимуществ BIM, как указывает Гэри Морин [6], является экономия затрат. Разработка и последующее усовершенствование проекта на основе согласованной работы всех участников за счет использования виртуальной модели прототипа помогают выявить и устранить потенциальные проблемы, которые могли бы возникнуть позже – при строительстве. А, как известно, проблемы, выявленные и решенные как можно раньше (на этапе проектирования), обходятся значительно дешевле, чем их устранение уже в процессе возведения объекта. Это хорошо отражено на кривых Маклими (MacLeamy) (рис. 4). Отметим, что рисунок 4, а, представленный Морином в статье [6], может вызвать сомнения из-за скорее всего ошибочного расположения на горизонтальной оси этапа «Строительство», поэтому мы также привели кривые Маклими из другого источника с более точным распределением этапов развития проекта вдоль оси абсцисс (см. рис. 4, б).



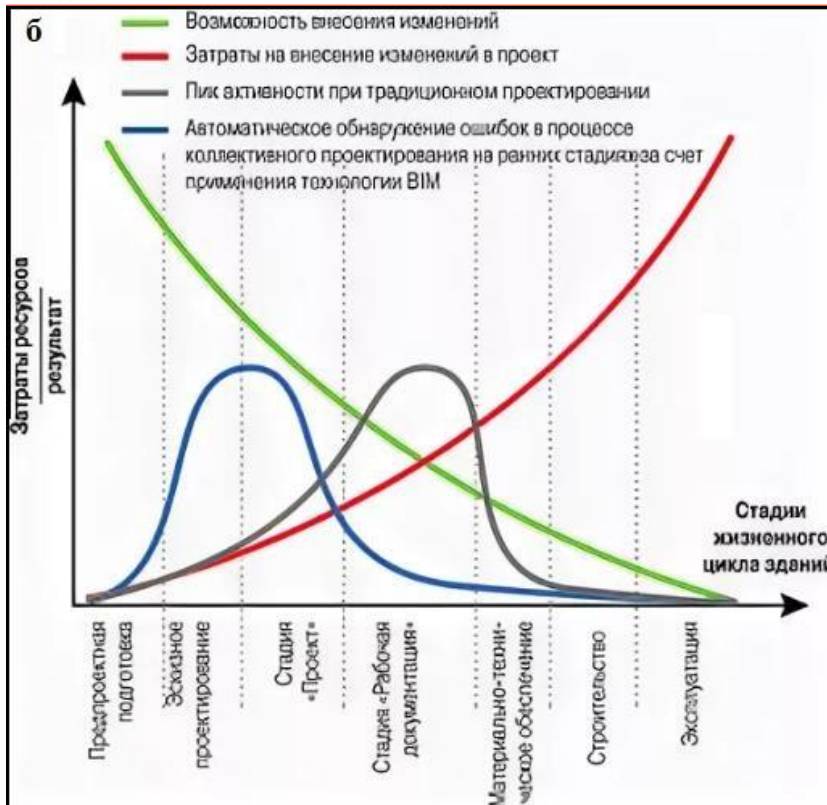


Рис. 4. Кривые Макклими: а – по [6]; б – по [5]

Одним из стандартных применений BIM является выявление коллизий, то есть мест, где элементы здания или сооружения из разных разделов (дисциплин) проекта могут перекрыть друг друга и вызвать труднопреодолимые проблемы во время строительства. Например, это могут быть коллизии между инженерными системами (вентиляции, электроснабжения и пр.) и строительными балками. Если не используется подход BIM, то часто получается так, что одни специалисты не знают об изменениях, внесенных другими, и продолжают работать с неактуальными данными, а это приводит к существенным ошибкам, которые потом приходится долго исправлять.

Вышесказанное очень важно и для геотехнического проектирования, например когда профиль строящейся дороги должен постоянно меняться из-за сложных и неодинаковых грунтовых условий вдоль трассы.

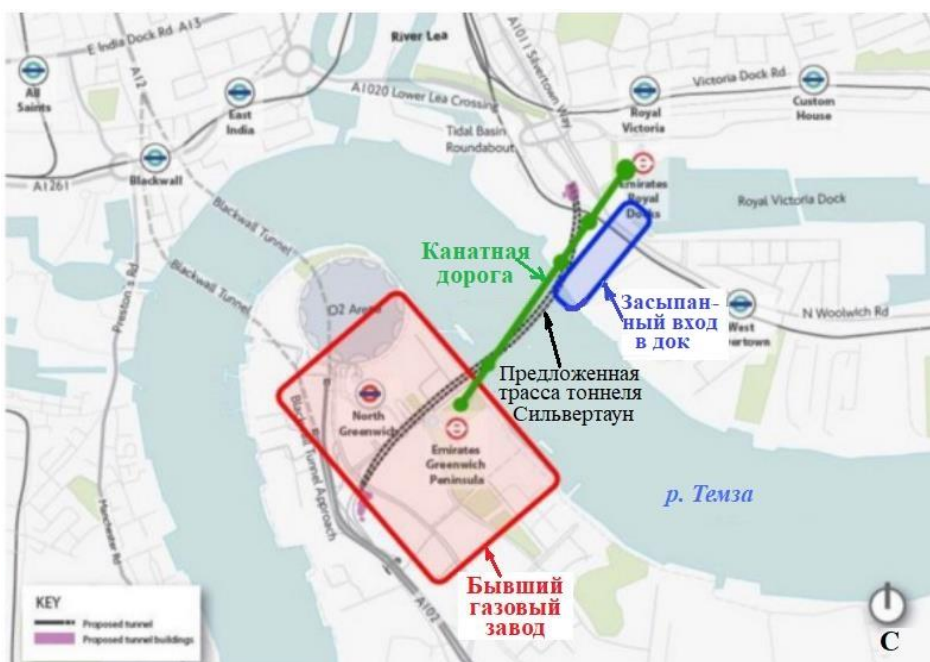
### Пример работы над проектом тоннеля Сильвертаун в Лондоне

Далее Гэри Морин [6] сообщает, что орган местного самоуправления «Транспорт для Лондона» (Transport for London, или TfL) планирует построить новый автомобильный тоннель под рекой Темза в восточной части столицы Великобритании. Предлагаемый автомобильный тоннель Сильвертаун (Silvertown) между районом Сильвертаун и северной частью полуострова Гринвич снизит нагрузку на соседний тоннель Блэкволл (Blackwall) и на другие транспортные сооружения, служащие для пересечения реки.

Для работы над проектом заказчик выбрал проектно-инжиниринговую компанию Atkins.



В районе будущего строительства имеется множество сложных проблем (рис. 5). Трасса тоннеля должна будет проходить через промышленно развитые районы Лондона – участки с самыми разными грунтовыми условиями, дорогами, фундаментами и другими подземными сооружениями. Например, южный портал тоннеля должен появиться на территории снесенного газового завода. Но там до сих пор сохранились остатки подземных фундаментов заводских зданий и загрязненные грунты. А на южном и северном берегах Темзы предполагаемая трасса тоннеля проходит близко к пилонным фундаментам канатной дороги Эмирейтс Эйр Лайн (Emirates Air Line). Кроме того, портал тоннеля на северном берегу должен быть построен в районе ныне засыпанного западного входа в Королевский Док Виктории (Royal Victoria Dock) и остатков фундаментов нескольких снесенных пакгаузов (складов).



**Рис. 5.** Проблемы с выбором и проектированием трассы тоннеля Сильвертаун (по [6])

Руководство компании Atkins осознало, что для снижения рисков и общих затрат по проекту нужен более хороший способ визуализации и понимания поверхностных и подповерхностных условий вдоль трассы тоннеля. В том числе было необходимо достоверное определение объемов загрязненных грунтов, которые будут затронуты строительством, для точной оценки затрат на их обработку во избежание непредвиденных затрат.

Доступных материалов по району строительства вдоль трассы было много – от старых карт и планов (в том числе планов газовых заводов, пакгаузов, пилонов и фундаментов старого входа в док, а также карт, созданных Картографическим управлением Великобритании, и геологических карт Британской геологической службы) до более новых цифровых данных по недавно реализованным проектам (например, данных TfL по строительству фундаментов канатной дороги, в том числе 3D-моделей). И использование этой информации могло бы стать значительным подспорьем в получении

надежных результатов инженерных изысканий, необходимых для понимания условий площадки строительства при последующем проектировании.

Поэтому компания Atkins сначала собрала вместе и упорядочила доступные материалы в специальной базе геотехнических данных (одновременно являющейся системой управления ими) в стандартном формате AGS, причем на основе одной и той же системы координат, одного и того же начала отсчета и стандартных геологических классификаций. Таким образом была создана «мозаика» известной информации по району изысканий. Это очень хорошо помогло запланировать и выполнить необходимые и достаточные инженерные изыскания для строительства тоннеля Сильвертаун, но без лишних затрат.

Параллельно с этим специалисты компании Atkins использовали программный комплекс AutoCAD Civil 3D для создания комбинированной трехмерной модели инженерно-геологических условий проектной зоны (уже собранные данные на основе различных источников информации легко интегрировались в AutoCAD Civil 3D из цифровой системы управления геотехническими данными). К этой модели был добавлен упрощенный прототип трассы тоннеля и связанных с ним конструкций. Для графической информации использовался единый формат (DWG). Это было нетрудно, так как значительная часть данных уже была в этом формате, а остальные материалы было относительно легко конвертировать в него.

По мере создания модели информация также объединялась в программном комплексе Navisworks, чтобы все сотрудничавшие команды проекта могли видеть, как комбинируется модель.

3D-модель можно было постоянно совершенствовать (обновлять или добавлять новые данные, убирать лишнее, вносить поправки и т. д.) и продолжать моделирование на протяжении всей проектной стадии начиная с рекогносцировочных и полных инженерных изысканий и заканчивая всеми последующими этапами развития проекта и жизненного цикла тоннеля.

Подход BIM помогал проектной команде визуально оценивать согласованность всех элементов проекта на каждой стадии работы над ним, то есть быстро убеждаться в том, что все его разделы и данные соответствуют друг другу. Например, уже на камеральной стадии инженерных изысканий благодаря предварительному анализу доступных материалов в единой среде моделирования удалось достаточно точно определить потенциальные препятствия для строительства и определить, какие необходимы новые полевые и лабораторные исследования (рис. 6). Это помогло в том числе сократить количество новых инженерно-геологических скважин (рис. 7, 8) и привело к уменьшению времени изысканий и затрат по ним. По мере проведения изысканий в систему управления геотехническими данными вносилась все новая информация, которая использовалась для дальнейшего уточнения трехмерной геотехнической модели.

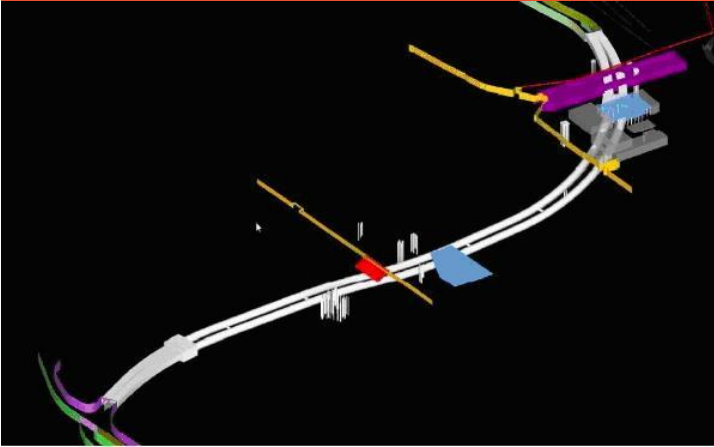


Рис. 6. 3D-модель предложенной трассы тоннеля, других его конструкций и возможных препятствий для строительства [6]

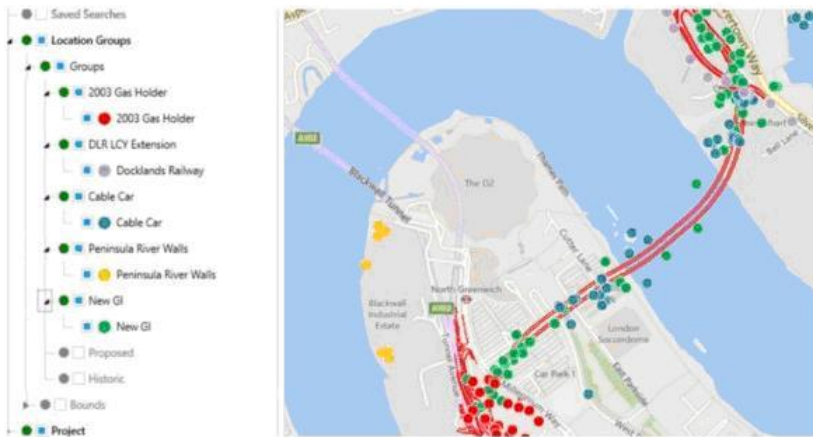


Рис. 7. Местоположения существовавших ранее и вновь пробуренных скважин вдоль трассы тоннеля Сильвертаун на карте из системы управления геотехническими данными [6]

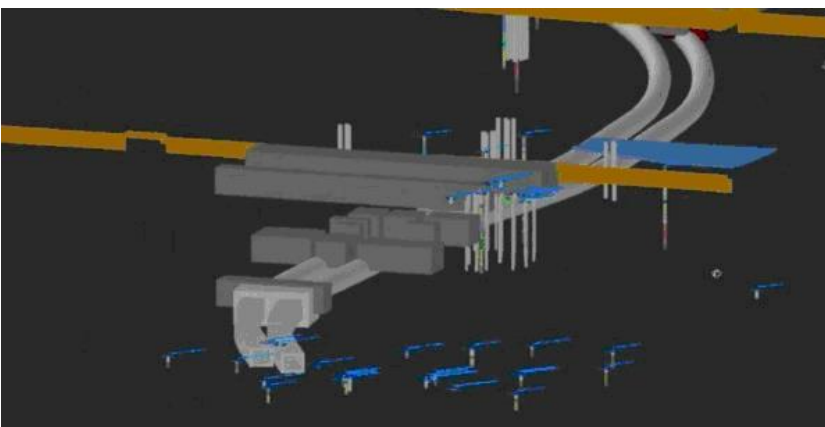


Рис. 8. Скважины и возможные препятствия для строительства тоннеля в 3D-представлении [6]

Динамическая связь между материалами в системе управления геотехническими данными и моделями в программных комплексах AutoCAD Civil 3D и Navisworks позволяла команде быстро осуществлять любое обновление информации, видимое всем, что очень ускорило рабочий процесс в целом. А это, в свою очередь, оставило больше времени для доработки проекта. В том числе удалось быстро и точно автоматически определить объемы земляных работ и загрязнений, рассчитать затраты по ним и оценить риски.

После того как в программном комплексе Navisworks была создана единая комбинированная геотехническая модель на основе подхода BIM (рис. 9), стало ясно, что этот подход принесет пользу и более широкой команде по строительству тоннеля. Например, конструкторы-проектировщики поняли, что после того как в геотехническую модель будут включены переходные плиты рампы тоннеля, гидрогеологические условия вызовут проблемы в текущем проектировании, и учли это в дальнейшей работе. Объединенная геотехническая модель также использовалась для создания необходимых разрезов для акустического анализа с использованием соответствующего программного обеспечения. И так далее.



**Рис. 9.** Комбинированная геотехническая модель, полученная компанией Atkins для проектирования и строительства автомобильного тоннеля Сильвертаун [6]

Далее Гэри Морин [6] отмечает, что сейчас работы по тоннелю Сильвертаун все еще находятся на стадии «Проект», но выражает уверенность в том, что на этапе строительства обязательно проявится ряд преимуществ использования подхода BIM при проектировании. Трехмерная геотехническая модель может быть передана строительной бригаде, что позволит быстрее, качественнее и дешевле реализовать проект с использованием имеющейся в модели информации. Если же во время строительства будут обнаруживаться реальные различия с виртуальными данными, их надо будет включать в модель и на этой основе быстро прогнозировать возможные последствия несоответствий и управлять ими.

## **Заключение**

Гэри Морин [6] еще раз подчеркивает, что компания Atkins в процессе инженерных изысканий и проектирования для строительства тоннеля Сильвертаун в Лодоне обнаружила, что использование полностью интегрированной мультимедициплярной информационной модели будущего подземного сооружения и условий вдоль трассы его строительства (как наземных, так и подземных) имеет большое значение как для инженеров-геологов и геотехников, так и для проектировщиков и строителей. В том числе визуализация подповерхностных инженерно-геологических условий в проектной среде снизила потенциальные риски и затраты во время строительства.

Интересно замечание автора статьи [6] о том, что изначально заказчик поручил компании Atkins использовать BIM только в качестве общей концепции проекта. Но проектная команда решила применить принципы BIM в том числе и к процессу инженерно-геологических изысканий, создав комбинированную трехмерную геотехническую модель, и в результате обнаружила множество преимуществ такого решения. Например, эта модель:

- позволила лучше понять условия, окружающие объект будущего строительства, и дала возможность точно определить потенциальные препятствия для него;
- позволила улучшить оценку объемов земляных работ и количеств связанных с ними загрязнений городской среды;
- помогла значительно сократить количество новых инженерно-геологических скважин при изысканиях (благодаря включению в модель доступной информации до начала полевых работ);
- помогла сэкономить затраты труда и времени при обновлении и интеграции данных и оптимизировать рабочие процессы.

Более того, в процессе развития проекта его команда продолжает находить все больше применений для полученной геотехнической модели, что в конечном счете должно привести к значительной экономии затрат.

## Источники

1. [autodesk.com/autodesk-university/online/profile?code=PtvDIaMUc%2FZG2sykLNFu1Q%3D%3D](https://autodesk.com/autodesk-university/online/profile?code=PtvDIaMUc%2FZG2sykLNFu1Q%3D%3D).
2. [bimforum.pro/osnovnie\\_principy\\_bim](http://bimforum.pro/osnovnie_principy_bim); [sewiki.ru/BIM](http://sewiki.ru/BIM).
3. [bimlab.ru/faq-bim3d.html](http://bimlab.ru/faq-bim3d.html).
4. [cyberleninka.ru/article/n/osnovnye-printsipy-i-osobennosti-bim-tehnologii](http://cyberleninka.ru/article/n/osnovnye-printsipy-i-osobennosti-bim-tehnologii).
5. [iksmedia.ru/articles/5241621-BIM-dlya-datacentrov-normativy-polz.html](http://iksmedia.ru/articles/5241621-BIM-dlya-datacentrov-normativy-polz.html).
6. *Morin G.* Geotechnical BIM: applying BIM principles to the subsurface // AUTODESK. AUTODESK UNIVERSITY. The last accessed date: 15.02.2021. URL: [autodesk.com/autodesk-university/ru/node/660](https://autodesk.com/autodesk-university/ru/node/660).
7. [www.shutterstock.com](http://www.shutterstock.com)
8. [sapr.ru/article/25268](http://sapr.ru/article/25268).
9. [xn--e1aggyi9a.xn--p1ai/news/interesnye/bim-tehnologii-v-rossii-povyshenie-effektivnosti-stroitelstva](http://xn--e1aggyi9a.xn--p1ai/news/interesnye/bim-tehnologii-v-rossii-povyshenie-effektivnosti-stroitelstva).