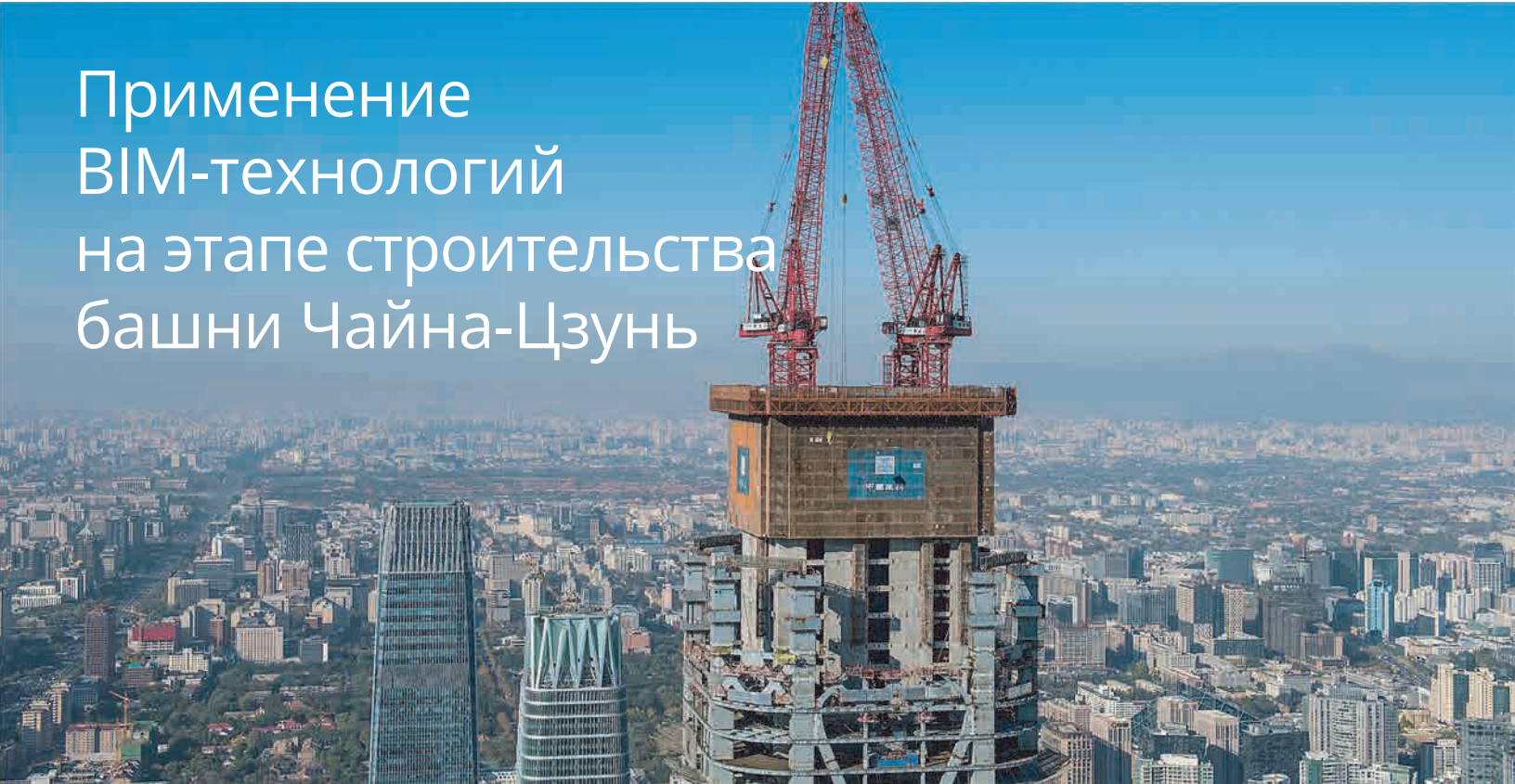


# Применение BIM-технологий на этапе строительства башни Чайна-Цзунь



## Обзор проекта

Башня Чайна-Цзунь представляет собой сверхвысокий и сверхкрупный проект строительства с общим объемом инвестиций в 3,5 млрд. долларов США. Здание будет расположено на центральной оси Центрального делового района Пекина и будет занимать площадь в 1,15 га. Общая площадь строительства составит 437 000 м<sup>2</sup>, включая 350 000 м<sup>2</sup> / 108 этажей над уровнем земли и 87 000 м<sup>2</sup> / 7 этажей — под землей. По завершении строительства здание высотой 528 м станет самым высоким в Пекине, представляя собой новый силуэт на линии горизонта города. Строительство было начато в июле 2013 года и будет завершено в октябре 2018 года.

Владельцем данного проекта является компания CITIC HeYe Investment Co. Ltd., основное подразделение компании CITIC Group (China International Trust and Investment Corporation Group). Пекинский институт архитектурного дизайна (Beijing Institute of Architecture Design, BIAD) выступает в качестве генерального проектировщика. Институт BIAD осуществляет концептуальное проектирование в сотрудничестве с проектной компанией TFP; компания KPF участвует в проекте в качестве архитектурного консультанта; компания Arup является консультантом по конструкциям, а компания PB — консультантом по электромеханическому оборудованию. Роль генерального подрядчика совместно выполняют компании CSEEC (China State Construction Engineering Corporation) и CCTEB (China Construction Third Engineering Bureau).

Башня Чайна-Цзунь является хорошим примером применения BIM-технологий в сверхбольших и сложных проектах. BIM-технологии сделали возможным возведение небоскрёба высотой более 500 м всего за 62 месяца. Скорость строительства в 1,4 раза выше, чем у других аналогичных проектов.

Башня Чайна-Цзунь — первый китайский проект интеллектуального строительства с полномасштабным применением BIM-технологий для синхронизации управления проектированием и руководства строительством. Эффективная интеграция BIM-технологий обеспечивает координацию и сотрудничество между разнопрофильными подразделениями, моделирование и реализацию жизненного цикла проекта.

### Сложности в реализации проекта:

- Первый небоскрёб в мире, возводимый в районе с интенсивностью сейсмических воздействий в 8 баллов (обычный уровень интенсивности землетрясений в Китае)

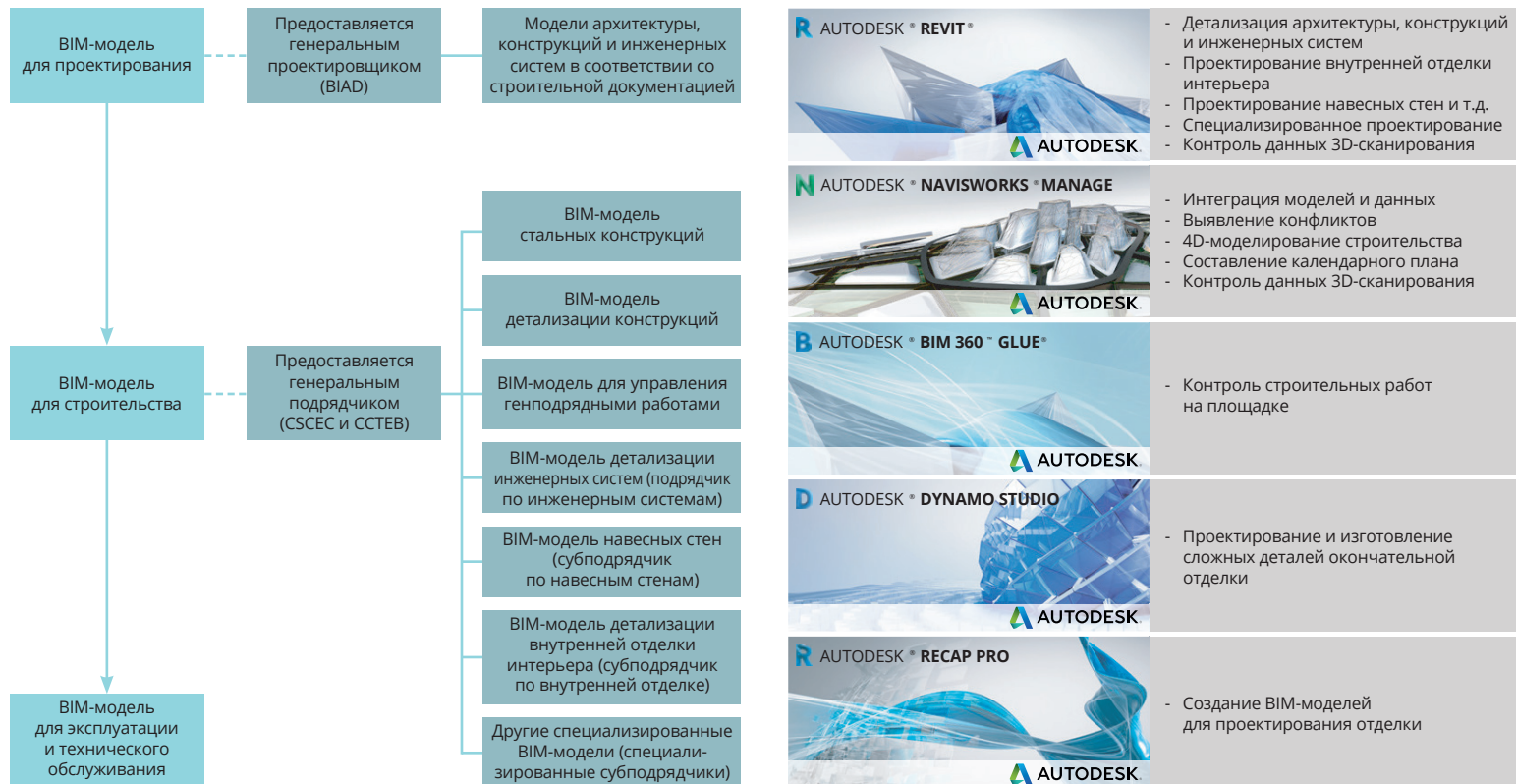
- Самый короткий срок строительства для небоскрёба высотой более 500 м — всего 62 месяца
- Размещение на центральной оси Центрального делового района Пекина, с минимальным размером строительной площадки. Внешняя стена здания находится очень близко к границе участка.
- Самая высокая в мире стена жёсткости из стальных пластин с высотой более 227 м и крупнейшая в мире заливаемая бетоном стальная мегаколонна из множества ячеек с площадью поперечного сечения более 64 м<sup>2</sup>
- Сверхмассивная бетонная плита с толщиной 6,5 м, площадью 11 478 м<sup>2</sup> и общим объёмом заливаемого бетона 62 тыс. м<sup>3</sup>. Это первый случай, когда в свайно-плитном фундаменте были применены стержни из арматурной стали HRB500 с диаметром 40 мм. Глубина фундаментной ямы составляет около 40 м.
- Уникальный стиль, сложные конструкции и множество различных систем. Детализация и координация между различными составляющими очень сложна и имеет высокий уровень требований.



Как генеральный подрядчик проекта возведения башни Чайна-Цзунь, мы уделяем особое внимание техническим инновациям. В этом проекте мы применили свыше 20 новых технологий, в том числе BIM-технологии, которые дают нам необходимый для развития опыт. Мы осуществляем тесное сотрудничество с проектировщиками и субподрядчиками на основе BIM-моделей. Обеспечиваемые BIM-технологиями возможности информационной интеграции позволили нам существенно повысить эффективность и качество строительства. Кроме того, благодаря этим технологиям наша команда может легче справиться с таким сверхсложным проектом, как этот.

### - Сюй Лишань

Исполнительный главный инженер и директор по строительству башни Чайна-Цзунь, компания CCTEB



## Генеральный подрядчик и субподрядчики применяют ВМ-технологии для решения задач

1. ВМ-технологии вводятся в практику в процессе детального проектирования архитектуры, конструкций и инженерных систем с целью разработки и проверки оригинальных проектов. Детализация с применением ВМ-технологий существенно повышает эффективность и возможность технической осуществимости проекта. Было выявлено и вовремя исправлено более 6 200 дефектов, что снизило объем работ по внесению изменений и модификаций непосредственно на строительной площадке.
2. Для удовлетворения требований к качеству строительства подрядчики используют ВМ-технологии для моделирования соединений сложных стальных конструкций с целью их оптимизации. Мобильные устройства и 3D-сканирование используются для контроля и управления строительными работами на строительной площадке на основе оптимизированной ВМ-модели.
3. Подрядчики внедряют ВМ-технологии для строительства из сборных конструкций и дистанционной цифровой обработки стальной арматуры, пластин навесных стен и электромеханического оборудования. Это снижает требования к размерам строительной площадки и делает возможным строительство с применением промышленных методов.
4. Подрядчики используют программу Revit для проектирования и производства стальных кронштейнов и программу Navisworks — для оптимизации процесса заливки бетона. Для заливки бетона объемом 56 тыс. м<sup>3</sup> потребовалось лишь 93 часа, что на 20% меньше по сравнению с традиционным насосным решением.

## Обзор применения ВМ-технологий

Владелец проекта, компания CITIC Heye Investment внедряет и осуществляет руководство применением ВМ-технологий на всем жизненном цикле проекта, что было обязательным требованием для всех проектировщиков и подрядчиков. ВМ-данные передаются от проектировщиков специалистам, отвечающим за строительство, эксплуатацию и техническое обслуживание.

После тщательного изучения и обсуждения с участием всех вовлеченных сторон было составлено Руководство по применению ВМ-технологий в проекте башни Чайна-Цзунь, в котором были изложены рекомендации и стандарты для деятельности, осуществляемой всеми участвующими сторонами в течение жизненного цикла проекта. По мере прогресса работы над проектом происходит накопление опыта, позволяющее улучшать и расширять данное руководство.

В состав группы по применению ВМ-технологий на этапе строительства входит более 100 сотрудников из 28 подразделений, охватывающих 9 функций поддержки генподрядных работ.

Отдел ВМ-управления осуществляет координацию внутренних функций и взаимодействие с владельцем проекта и проектировщиками касательно применения ВМ-технологий.

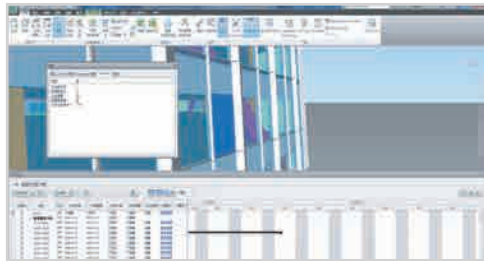
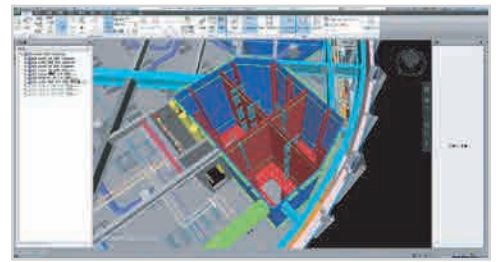
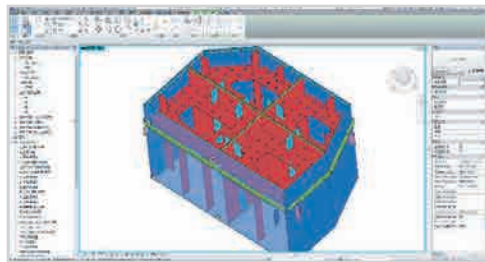
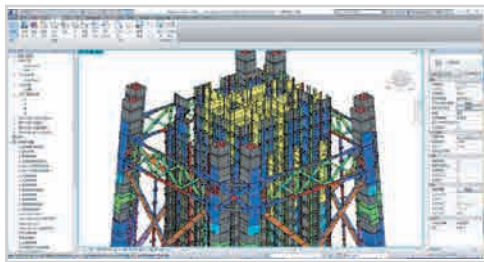
Для облегчения совместного использования моделей и обмена данными отдел ВМ-управления генерального подрядчика составил следующие требования к формату моделей:

- Передаваемые объекты: модели в исходном формате, модели связей в формате Autodesk Revit и модели для просмотра в формате Autodesk Navisworks;

- Редактируемые модели: на основе платформы Autodesk Revit для агрегирования и интеграции данных в различных форматах;
- Модели для просмотра: на основе платформы Autodesk Navisworks для интеграции данных в различных форматах;
- По согласованию с владельцем проекта модели в других форматах данных могут быть представлены в исходном формате вместе с моделями в формате Autodesk Navisworks.

В дополнение к обычным областям применения ВМ-технологий, группа ввела ряд новых способов их использования: сверхточное детальное проектирование, моделирование наиболее сложных строительных задач, предварительная виртуальная сборка сверхбольших конструкций, лазерное 3D-сканирование.

**Более 90% конфликтов в проекте разрешаются путём ВМ-координации. Объём работ по доработке и модификации сокращён на 65% по сравнению с традиционной практикой.**



## **BIM-детализация проекта для координации и руководства строительством**

Детальное проектирование направлено на оптимизацию функций и качественных характеристик башни. Все эти меры помогают улучшить качественные характеристики здания и создать дополнительную ценность в размере более ста миллионов юаней.

Руководство по применению BIM-технологий в проекте башни Чайна-Цзунь было составлено с целью спецификации уровня детализации (LOD) проектирования и стандартов для каждой технической области. В процессе детализации специализированные команды полностью интегрировали трёхмерные модели с двумерными чертежами для разработки высококачественных файлов детального проектирования. На сегодняшний день в проекте создано более 100 000 чертежей детального проектирования. Уровень детализации моделей стальных конструкций, окончательной отделки и навесных стен превышает LOD400.

## **Некоторые цифры на конец 2016 года**

**652:** Общее количество разработанных моделей детального проектирования во всех специализированных областях составляет 652. Наибольшую долю среди них составляют модели отделки.

**800:** 10 профессиональных субподрядчиков создали в Revit более 800 семейств компонентов для данного проекта, охватывающих такие специализированные области, как электромеханическое оборудование, чистовая отделка, навесные стены, лифты и оборудование для очистки окон.

**806:** Проведено 806 циклов рецензирования строительных чертежей для стальных конструкций, электромеханического оборудования, отделки, навесных стен, лифтов, противопожарной защиты и других областей.

**6200:** Благодаря использованию BIM-инструментов в ходе работы над проектом было проведено в 6-7 раз больше процедур рецензирования для междисциплинарной координации. Более 5000 проблем было выявлено на этапе проектирования, и более 6200 — на этапе строительства.

**7,200:** Сокращение длины оконных кондиционеров позволило высвободить 4200 м<sup>2</sup> для других целей. Ещё 3000 м<sup>2</sup> были высвобождены за счёт оптимизации расположения труб в трубных колодцах рядом с гигантскими колоннами. В общей сложности было обеспечено увеличение полезной площади на 7200 м<sup>2</sup>.

Располагая высокоточными моделями детального проектирования, генеральные подрядчики могут эффективно задействовать субподрядчиков и консультантов, формируя всестороннюю схему координации, которая характеризуется руководящей ролью генеральных подрядчиков, участием всех сторон и постоянным обновлением.

Для облегчения координации автоматические программные вычисления дополняются рецензированием, выполняемым инженерами вручную. При этом конфликты, способные повлиять на эксплуатацию или техническое обслуживание, сохраняются в отчёте вместе с соответствующим визуальным представлением для последующего разрешения.

По имеющимся оценкам, более 90% конфликтов моделей могут быть разрешены за несколько циклов координации. Объём работ по доработке и модификации сокращён на 65% по сравнению с традиционной практикой, что позволяет экономить время и деньги на этапе строительства.

На этапе строительства BIM-менеджеры проводят регулярные проверки строительных работ на площадке на предмет их соответствия BIM-моделям, используя для этого приложение Autodesk BIM 360 Glue, запущенное на планшете. BIM-данные используются в определённой степени и при выполнении таких строительных задач, как обзорный контроль, предоставление технической информации, обеспечение и контроль качества и т.д. При выявлении несогласованности стороны составляют отчёт для внесения поправок и их реализации. Более высокая степень согласованности между моделями и строительством делает данные более пригодными для интеллектуальной эксплуатации и технического обслуживания. Это упрощает управление строительством, уменьшает количество ошибок, экономит время и повышает эффективность.

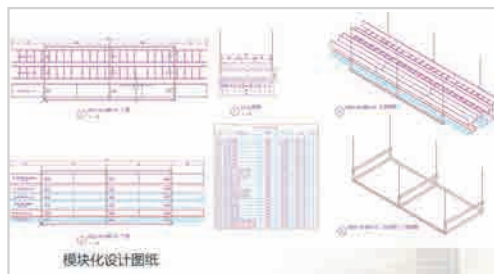
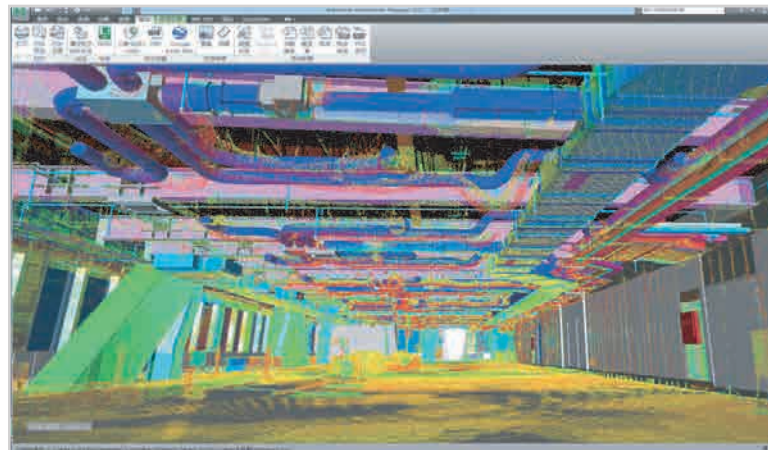
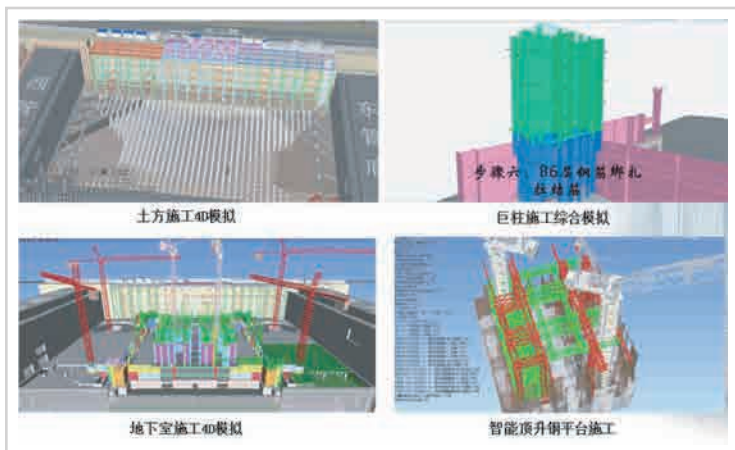
**Контроль строительных работ на площадке с помощью BIM-данных, представленных на планшете, упрощает управление строительством, уменьшает количество ошибок, экономит время и повышает эффективность.**

## **BIM-моделирование строительства**

BIM-группы принимают полное участие в разработке всех основных планов строительных работ. Эти планы подвергаются моделированию с помощью Autodesk Navisworks для выявления возможных конфликтов в отношении пространства, графика выполнения работ и ресурсов. Это позволяет группам оптимизировать организацию и процессы строительства для обеспечения бесперебойного выполнения работ. В случае деталей со сложными узлами, требующих кросс-функциональной поддержки, группы производят предварительное определение узлов в BIM-среде и оказывают помощь в их анализе.

С начала строительства группы произвели моделирование более 10 крупномасштабных планов. Результатом этой работы стало множество видеофайлов, описывающих строительные методы и процессы, спецификации оборудования, в том числе:

- схема размещения поперечных трубопроводов и желобов в фундаментной конструкции
- заливка больших объёмов бетона
- установка мегаколонн
- постройка составной конструкции подвала
- установка и поднятие домкратом платформы интеграции специального оборудования
- последовательность постройки каркасно-вольной стены жёсткости из стальных пластин
- выбор и транспортировка крупного механического и электрического оборудования
- доставка и установка блоков навесных стен
- установка верхней части башни и демонтаж башенного крана.



Такой инновационный подход к выбору вариантов плана позволяет направлять строительство в нужном направлении.

Графики выполнения работ импортируются в Autodesk Navisworks для создания анимации, где автоматически сгенерированный график и реальный прогресс для сравнения отображаются разными цветами. Это даёт наглядное представление о прогрессе работ и сроках выполнения ключевых этапов.

### Строительство из сборных конструкций и цифровая обработка

Проект возведения башни Чайна-Цзунь активно пропагандирует применение строительства из сборных конструкций для повышения энергоэффективности и экологичности строительства. Масштабное использование предварительно собранных деталей ведёт к экономии энергии, снижению затрат и размеров строительной площадки. Кроме того, это обеспечивает значительное повышение качества и скорости строительства. По имеющимся оценкам, количество строительных отходов сократилось на 90%, а потребление воды и электричества в ходе строительства составляет лишь 20% от уровня потребления обычных проектов. Строительство хорошо организовано, несмотря на очень ограниченные размеры строительной площадки.

### Например:

- На этажах с 7-го по 102-й применена технология строительства из сборных конструкций вертикального трубопровода. Установлены 222 комплекта сборных трубопроводов, спроектированных и промаркированных в Autodesk Revit, включая водопроводные трубы, системы кондиционирования воздуха и системы пожаротушения. Это обеспечило сокращение объёма сварочных работ на строительной площадке на 30%, наряду со значительным снижением потребности в рабочей силе.
- Группа по отделочным работам также применяет сборочное строительство в отношении деталей сложной конфигурации для окончательной отделки фойе и офисов люксовой категории. Группа проектирует сложные детали в Autodesk Dupamo и импортирует параметры в станок с ЧПУ для их изготовления. Готовые детали собираются на заводе до их установки на строительной площадке. Это обеспечивает хорошие темпы строительства, несмотря на ограниченные размеры строительной площадки и большой объём работ по прокладке трубопроводов и проводов.

Данные 3D-сканирования импортируются в Autodesk Recap Pro для создания BIM-моделей сооружений в том виде, как они построены, для проектирования внутренней отделки.

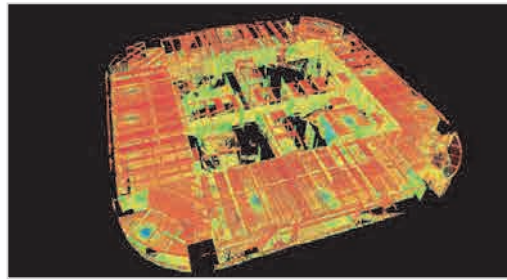
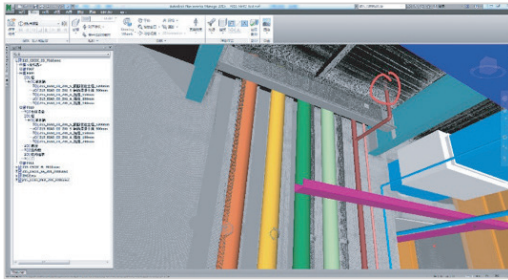
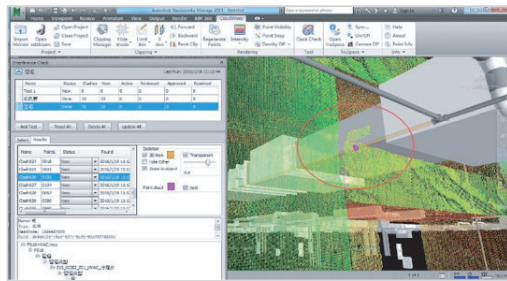
### Трёхмерное лазерное сканирование

BIM-группы используют высокоточные лазерные 3D-сканеры для сканирования каждого этажа после завершения его строительства. На каждом этаже используется до 25 станций сканирования, что гарантирует точность и полноту покрытия при отсутствии «белых пятен». Сканирование проводится с разрешением в 2 мм.

Проект генерирует большие объёмы данных облаков точек. Соответственно, передача данных представляет значительные сложности. В данном проекте впервые в Китае была применена система доступа к данным Jetstream с размещением всех данных на центральном сервере. Команды получают удалённый доступ к данным путем установки на клиентской стороне Autodesk Revit или Autodesk Navisworks с плагинами. Это делает возможным полное участие в 3D-сканировании.

Данные 3D-сканирования обеспечивают надежное документирование строительной площадки. Группа по управлению качеством проекта сравнивает «реальные» данные облаков точек с «виртуальными» BIM-моделями и сообщает об имеющихся отклонениях.

Это помогает идентифицировать ключевые дефекты и проблемы качества компонентов, которые критически важно своевременно устранить для улучшения качества проекта.



Данные 3D-сканирования импортируются в Autodesk Recap Pro для создания BIM-моделей сооружений в том виде, как они построены, для целей проектирования внутренней отделки и руководства строительством. Это позволяет субподрядчикам провести повторную оптимизацию своей работы на основе самых «свежих» данных о реальных условиях и обеспечить завершение моделей проектов в том виде, как они построены.

Это также является инновационным подходом к техническому обслуживанию с поддержкой BIM-технологий. Перед завершением строительства производится сканирование каналов прокладки механического и электрического оборудования в потолке и местах установки в помещениях для оборудования, с тем, чтобы сохранить графические данные и информацию о местоположении для целей эксплуатации и технического обслуживания.

### Заключение

Строительная команда башни Чайна-Цзунь неуклонно идет к цели создания первого в мире сверхвысокого небоскрёба с управлением жизненным циклом на основе BIM-технологий. Как ключевой фактор в процессе строительства, применение BIM-технологий расширяется и углубляется от этапа проектирования до этапа строительства. Что ещё важнее, BIM-технологии были интегрированы в процессы детального проектирования, управление работами на строительной площадке и обеспечения экологичности строительства, что сделало возможным полное участие всех подразделений и междисциплинарную координацию их работы. Башня Чайна-Цзунь является хорошим примером применения BIM-технологий в сверхбольших и сложных проектах и должна стать эталоном BIM-технологий в сфере архитектуры и строительства.

### О компании

Компания CSCEC (China State Construction Engineering Corporation) входит в число 500 крупнейших компаний мира и является крупнейшей китайской компанией в сфере инвестиционного и строительного бизнеса. Важной дочерней компанией компании CSCEC является базирующаяся в г. Ухань компания CCTEB (China Construction Third Engineering Bureau) — ведущее государственное предприятие в области строительных и монтажных работ. Филиал компании CCTEB, компания Super Project Management Company, предлагает профессиональную платформу для осуществления генподрядных работ и управления для крупных проектов. Данная компания была создана для консолидации конкурентных преимуществ при осуществлении крупных проектов строительства, а также для усиления управленческого аспекта генподрядной деятельности. В соответствии с той сферой полномочий, которой её наделила родительская компания, она главным образом занимается осуществлением генподрядных работ, в то же время расширяя свое присутствие в сфере государственно-частного партнерства и комплексных контрактов на проектирование, закупки и строительство.

