



## ➤ ПЕРЕХОД НА ТРЕХМЕРНУЮ ТЕХНОЛОГИЮ ПРОЕКТИРОВАНИЯ СТАНЦИЙ САНКТ-ПЕТЕРБУРГСКОГО МЕТРОПОЛИТЕНА НА ОСНОВЕ ВЕРТИКАЛЬНЫХ РЕШЕНИЙ КОМПАНИИ AUTODESK

### Предыстория

В последние годы возросшие требования к достоверности и темпам проектирования станций метрополитена привели ведущих проектировщиков ОАО "Ленметрогипротранс" (далее — институт) к пониманию необходимости внедрения технологий, позволяющих формировать 3D-модели объектов метрополитена, в частности — подземных конструкций. В качестве платформы для создания 3D-технологии в институте были выбраны решения компании Autodesk и определены основные требования: сквозное 3D-проектирование должно быть похожем на традиционное, объединять несколько отделов традиционной структуры, обеспечивать возможность совместной разработки, синхронизации работ, а также обеспечивать возможность автоматизированного выпуска проектной документации. Очевидно, что переход на новые технологии должен происходить, по возможности, без нарушения планов и графиков основных проектных работ, осуществляемых в рамках текущих договоров и контрактов.

В 2010 году началось обучение нескольких специалистов отдела проектирования трасс работе с AutoCAD Civil 3D, а также группы архитекторов архитектурно-строительного отдела института — работе с AutoCAD Architecture. С помощью

этих систем автоматизированного проектирования необходимо было построить модель трехмерной подземной трассы и наземного вестибюля станции метрополитена. И поставленная задача была успешно выполнена. В короткие сроки была построена трехмерная модель трассы одного из участков Санкт-Петербургского метрополитена, где пересекаются три ветки, и создана модель наземного вестибюля новой станции. Таким образом, мы убедились в правильности выбора платформы для трехмерного проектирования и оценили ее возможности для проработки и развития дальнейших решений.

В процессе выполнения работ была выявлена недостаточность функционала AutoCAD Civil 3D для проектирования трасс метрополитена и принято решение о доработке необходимых функций. С целью адаптации продукта для решения требуемых задач были разработаны специальные программы:

- программа разбивки пикетов на трассе с учетом специфических требований к трассе метрополитена;
- программы расчета геометрии специфических осей тоннелей в прямых и кривых участках трассы;
- программа для расчета положения наклонного хода станции глубокого заложения.

В результате с помощью AutoCAD Civil 3D и разработанных программ был получен пакет двумерных чертежей в традиционном виде и трехмерные полилинии осей путей по уровню головки рельса (УГР) с разбивкой пикетов, которые являются исходными данными для проектирования подземных станций.

Однако первый опыт построения трехмерных моделей оказался не слишком удачным. Стало очевидно, что необходимо не только обучить специалистов работе с 3D-САПР, но и создать саму технологию трехмерного проектирования, учитывающую специфику объектов, практически не имеющих аналогов в массовом строительстве, а также особенности существующей структуры института и используемой много лет технологии проектирования.

Полученный опыт предопределил направление дальнейшей работы: трехмерное проектирование подземной станции в части строительных конструкций платформенного участка комплекса станционных сооружений с помощью AutoCAD Architecture. Было принято решение создать рабочую группу, состоящую из специалистов консалтинговой компании Бюро ESG, которые имеют богатый опыт выполнения подобного рода работ [1, 2, 3], разработчиков отдела автоматизированного проектирования (ПАПР) и специа-

листов-проектировщиков института. Данная группа должна была разработать и опробовать технологию трехмерного проектирования строительных конструкций. По результатам оценки уровня владения основным инструментарием AutoCAD членами рабочей группы было проведено предварительное обучение работе с этой САПР. Такая предварительная оценка, по мнению специалистов Бюро ESG, должна стать обязательным этапом при внедрении 3D-технологии. После обучения работе с AutoCAD наступила очередь AutoCAD Architecture.

Технология разрабатывалась в течение 2011-2012 гг. на примере одной из проектируемых станций Санкт-Петербургского метрополитена. Столь долгий период (который не закончен и по сей день) обусловлен как нетривиальностью поставленной задачи, так и серьезной занятостью проектировщиков, которые разрабатывают новые технологии без отрыва от производства.

К настоящему времени специалистами института совместно с сотрудниками компании Бюро ESG практически завершены работы по созданию технологии 3D-проектирования строительных конструкций объектов метрополитена, краткое описание которой приведено ниже.

### Подготовительные мероприятия и виды работ при создании 3D-модели

Практика показывает: прежде чем приступить непосредственно к разработке 3D-модели в рамках определенного проекта, необходимо провести ряд подготовительных мероприятий и работ. В общем случае перечень таких работ следующий:

- 1) определить состав объекта проектирования — зданий, сооружений (наземных и подземных), систем, сетей проекта, по которым требуется создать 3D-модель;
- 2) определить состав проектных дисциплин для создания 3D-модели исходя из общего перечня дисциплин проекта;
- 3) определить группу специалистов по трехмерному моделированию и по разработке двумерной документации, функциональные задачи каждого участника работ и уровни доступа к функционалу среды проектирования в организационной структуре проекта;
- 4) принять соглашение о степени детализации 3D-модели на различных этапах проектирования;

- 5) создать структурно-иерархическую модель объекта проектирования (далее — СИМ);
- 6) определить перечень выходных форм модели;
- 7) принять соглашение о способе кодировки объектов и документации проекта;
- 8) определить состав САПР (и тем самым — архитектуру среды проектирования), который будет использоваться при создании 3D-модели; оценить степень готовности САПР для наполнения библиотек и/или элементной базы данных;
- 9) настроить САПР, а именно:
  - a) принять соглашение по настройке и использованию единой среды проектирования (интерфейса);
  - b) создать недостающие элементы, добавить их в библиотеки и произвести настройку среды проектирования для осуществления проекта;
- 10) определить процедуру групповой работы над 3D-моделью в общем процессе проектирования;
- 11) создать 3D-модель.

Пункт 9 и его подпункты являются ключевым моментом в подготовке к трехмерному проектированию.

По пунктам 7, 9а и 10 рекомендуется выпуск стандартов предприятия. Тогда в каждом конкретном проекте принимается решение: следовать ли принятым стандартам по этим пунктам или требуются какие-либо их модификации. Например, если работы по проекту выполняются на субподрядной основе, то головной исполнитель может потребовать использовать иные способы кодировки объектов и документации проекта, отличные от принятых в стандарте. Процедура групповой работы при этом тоже может отличаться от принятой, если часть 3D-модели будет разрабатываться головным исполнителем или другим субподрядчиком.

Глубина и степень детализации 3D-модели (пункт 4) зависят от стадии проектирования: концептуальное проектирование, проект (П), рабочая документация (Р), а также от назначения модели. Например, если 3D-модель разрабатывается только для получения принципиального решения или как презентационный материал, то степень детализации может быть ограничена.

Выходные формы пункта 6 — это различные формы представления одной и той же 3D-модели, которые определяются потребностями заказчика.

### Начало работы

При реализации пилотного проекта по созданию технологии трехмерного проектирования объектов метрополитена (на примере подземной станции) были последовательно выполнены практически все эти пункты (за исключением пункта 8):

- в качестве исходного объекта для проработки технологии был выбран сложный объект Санкт-Петербургского метрополитена — пересадочный узел, включающий три станции метро;
- были выделены два проектных отдела и, соответственно, две проектные дисциплины — отдел ПТЭ (прокладка трассы) и отдел ПК (подземные строительные конструкции как основная дисциплина) — поскольку на начальном этапе было решено ограничиться созданием 3D-модели несущих конструкций станционного узла (далее — "обделка");
- была сформирована группа 3D, в которую вошли инженеры по строительным конструкциям (далее — "конструкторы");
- была определена степень детализации модели.

Пункт 8 не был реализован в виде работ, так как платформа проектирования была задана заказчиком — использовались решения компании Autodesk на базе AutoCAD. Для создания 3D-модели трассы была выбрана уже апробированная AutoCAD Civil 3D. Для моделирования несущих конструкций (обделки) мы выбирали между AutoCAD MEP и AutoCAD Architecture. Поскольку основными сборочными единицами обделки являются строительные конструкции, предпочтение было отдано AutoCAD Architecture как более дешевому решению без избыточного функционала AutoCAD MEP.

Среда проектирования определена. Теперь требовалось оценить степень готовности САПР AutoCAD Architecture к работе. Экспресс-оценка показала, что готовность к наполнению библиотек и элементов БД практически близка к нулю и что все библиотеки придется создавать в процессе работы. Обуславливалось это в первую очередь спецификой проектируемого объекта — подземных строительных конструкций.

Вертикальные решения компании Autodesk предполагают дополнительную работу: прежде чем создавать библиотеки, необходимо подобрать инструмент САПР (интеллектуальный объект), который наиболее полно удовлетворял бы



требованиям проектируемого объекта (например, единичной строительной конструкции и ее сборки). При выборе инструмента необходимо учитывать, что 3D-библиотеки должны содержать укрупненные элементы модели, и в то же время понимать, что они не будут покрывать нужды проектировщиков на 100% при создании рабочей чертежной документации. Поэтому кроме библиотек трехмерных элементов мы сразу приступили к созданию библиотек элементов 2D.

Реализация пунктов 5, 6, 7 и 9 потребовала проведения дополнительных работ, а именно — обследования в отделе ПК.

По итогам этого обследования были подобраны возможные варианты инструментов САПР для последующего апробирования и применения. Результаты работ по выбору инструментов использовались не только для построения 3D-модели, но и для формирования СИМ станций метрополитена. Был создан первичный классификатор объектов и элементов станций как часть СИМ, который лег в основу создания 3D-технологии моделирования объектов метрополитена методом нисходящего проектирования [4].

## Принципы построения классификатора станций метрополитена

Все станции метро, строящиеся в Санкт-Петербурге, делятся на подзем-

ные станции глубокого или мелкого заложения и на наземные крытого типа. Станции глубокого и мелкого заложения, в свою очередь, по типу конструкций подразделяются на колонные, пилонные, односводчатые и так называемые "станции закрытого типа".

На основе технической (чертежной) документации, выпускаемой отделом ПК, и при непосредственном участии сотрудников этого отдела было проведено обследование станций типа "пилонная" и "односводчатая". При этом выявились терминологические расхождения, а также отличия в разбивании станций пилонного и односводчатого типов на участки. По результатам обследования были получены первичные классификаторы станций данных типов.

Первичные классификаторы необходимы для создания общей единообразной структуры библиотек САПР. Построение классификаторов позволяет описать все конструктивные компоненты станции и создать наиболее полный каталог элементов в САПР 3D. В дальнейшем с помощью этих элементов собирается 3D-модель. В последующем к элементам каталога может быть добавлена необходимая или недостающая атрибутивная информация.

Классификация осуществлялась по следующему обобщенному алгоритму: вы-

бор станционного узла — определение типа станции — создание перечня укрупненных элементов для каждого типа станции — создание конструктивных комплектов для каждого укрупненного элемента — определение конструктивных компонентов для каждого комплекта и инструментов САПР для каждого компонента.

В процессе дальнейшей работы полученный классификатор уточнялся и изменялся. Часть первичного классификатора станции типа "пилонная" легла в основу каталога библиотеки основных элементов конструкций в AutoCAD Architecture. Поэтому оглавление верхнего уровня каталога библиотеки содержит как разделы в соответствии с классификатором, так и иные разделы, необходимые для обеспечения работ проектировщиков в режимах 2D и 3D (рис. 1). Все каталоги конструктивных элементов 2D и 3D, хранящиеся на сетевом ресурсе для общего доступа к ним специалистов-проектировщиков, были размещены на инструментальные палитры САПР.

На рис. 2 приведены примеры некоторых элементов, вошедших в библиотеку конструкций подземной части метрополитена.

Наполнение библиотек в процессе выполнения пилотного проекта осуществлялось силами рабочей группы. В даль-

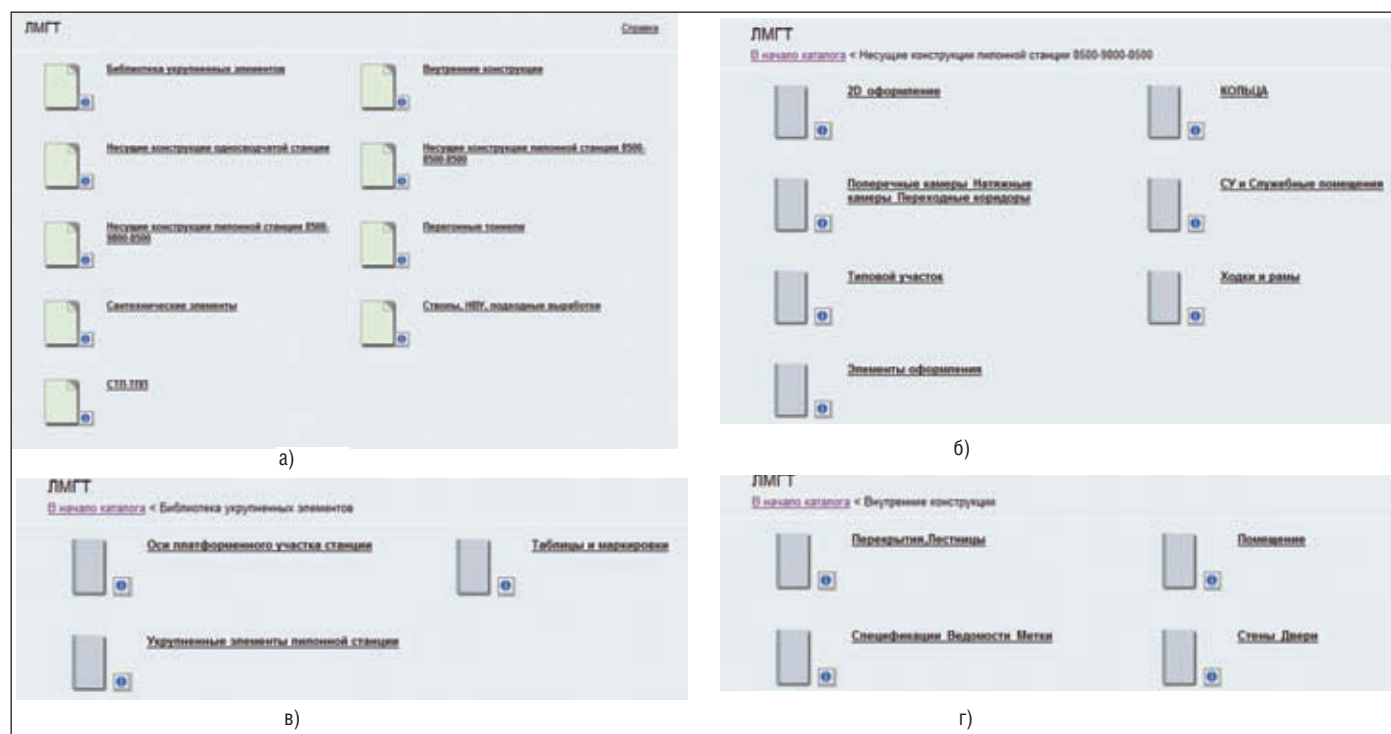


Рис. 1. Примеры оглавления разделов библиотеки компонентов для AutoCAD Architecture: 1а — оглавление разделов верхнего уровня; 1б — оглавление раздела "Несущие конструкции пилонной станции 8500-9800-8500"; 1в — оглавление раздела "Библиотека укрупненных компонентов"; 1г — оглавление раздела "Внутренние конструкции"



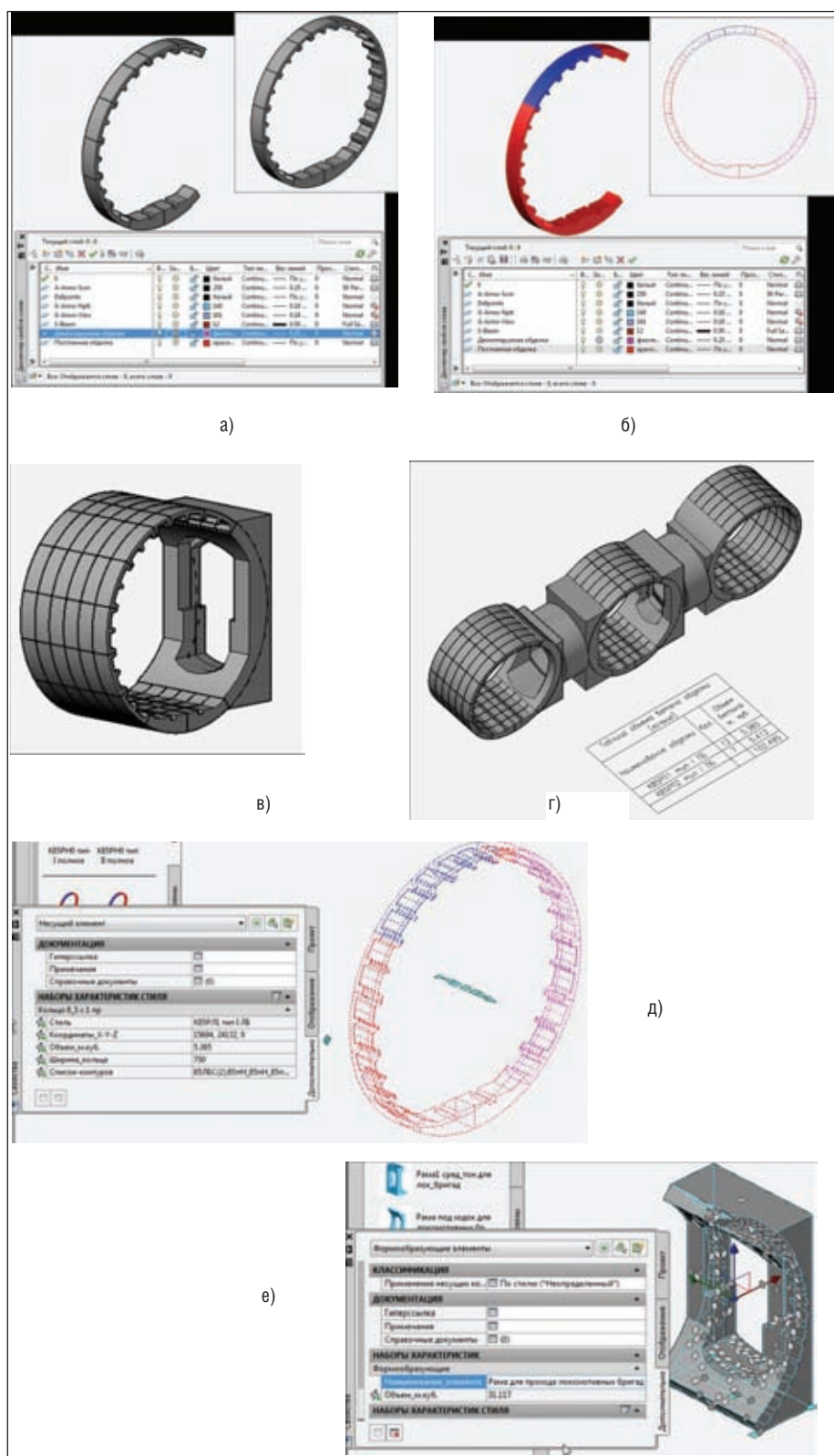


Рис. 2. Примеры элементов библиотеки конструкций подземной части метрополитена: 2а – обделка бокового тоннеля с демонтированным участком (несущий элемент); 2б – то же, что и на рис. 2а, но с показом контуров в цветовом решении; 2в – типовый сборный участок бокового тоннеля, состоящий из колец обделки с демонтируемой частью (несущий элемент) и рамы хода (формообразующий элемент); 2г – типовый сборный участок, состоящий из колец обделки боковых и среднего тоннелей (несущие элементы), рамы и ходки (формообразующие и несущие элементы); 2д – пример кольца обделки с присоединенным к нему набором характеристик; 2е – пример рамы хода с присоединенным к нему набором характеристик

нейшем планируется организовать сопровождение системы, включая пополнение и корректировку библиотек, специалистами отдела САПР.

### Краткое описание процесса коллективной работы над 3D-моделью

Основные требования института к внедрению технологии трехмерного моделирования следующие: во-первых, максимально сохранить традиционный, выверенный годами порядок проектирования и, во-вторых, иметь возможность в любое время собрать полную 3D-модель (в соответствии с текущим состоянием – "как есть") и представить ее руководящему составу для обсуждения и изменения проектных взаимосвязанных решений, а также для обсуждения коллизий (ошибок, пересечений) еще на стадии проектирования. С учетом этих требований создание новой технологии началось с проработки схемы коллективного взаимодействия при работе над 3D-моделью для основного выпускающего отдела (ПК) и отдела разработки трасс (ПТЭ), не нарушающей традиционный порядок проектирования. В дальнейшем такая схема будет использоваться и для других отделов института (рис. 3).

Как видно из рисунка, процесс создания 3D-модели объекта метрополитена (на примере станционного узла) начинается с формирования отделом ПТЭ 3D-модели трассы, на которой необходимо расположить станционный узел (подземную часть). Менеджер проекта совместно с отделами ПК и ПТЭ, используя 3D-модель трассы, получает трехмерную модель компоновки станционного узла в габаритах. При создании такой модели укрупненные конструкции станционного узла размещаются в соответствии с классификатором станции выбранного типа. При этом вся модель делится на основные узлы (участки), проверяются основные технические проектные решения и устраняются обнаруженные ошибки и коллизии. На основе укрупненной 3D-модели отдел ПК получает 3D-файл осей основных узлов. Затем менеджер проекта на базе этого файла формирует 3D-файлы шаблонов по числу основных узлов. ГИП выдает задания исполнителям. Каждый исполнитель, используя соответствующий заданию файл шаблона, разрабатывает детальную 3D-модель участка (или отдельного объекта участка) в соответствии с принятым соглашением о степени детализации 3D-модели. В любое время исполнитель может компоновать свою часть модели с частью другого исполнителя для

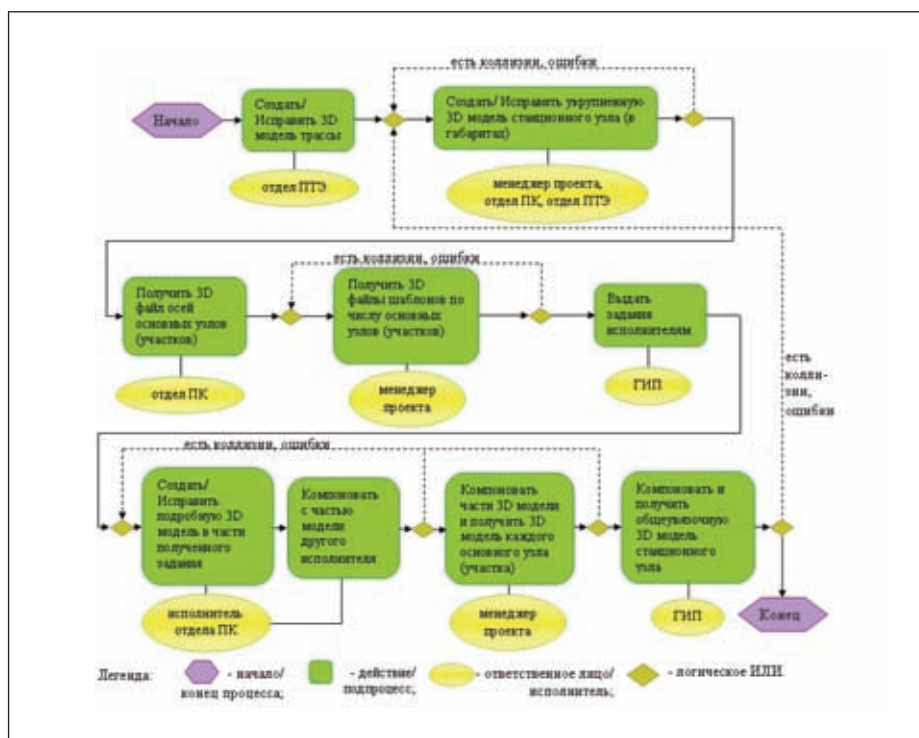


Рис. 3. Блок-схема коллективного взаимодействия участников пилотного проекта при создании 3D-модели объектов метрополитена

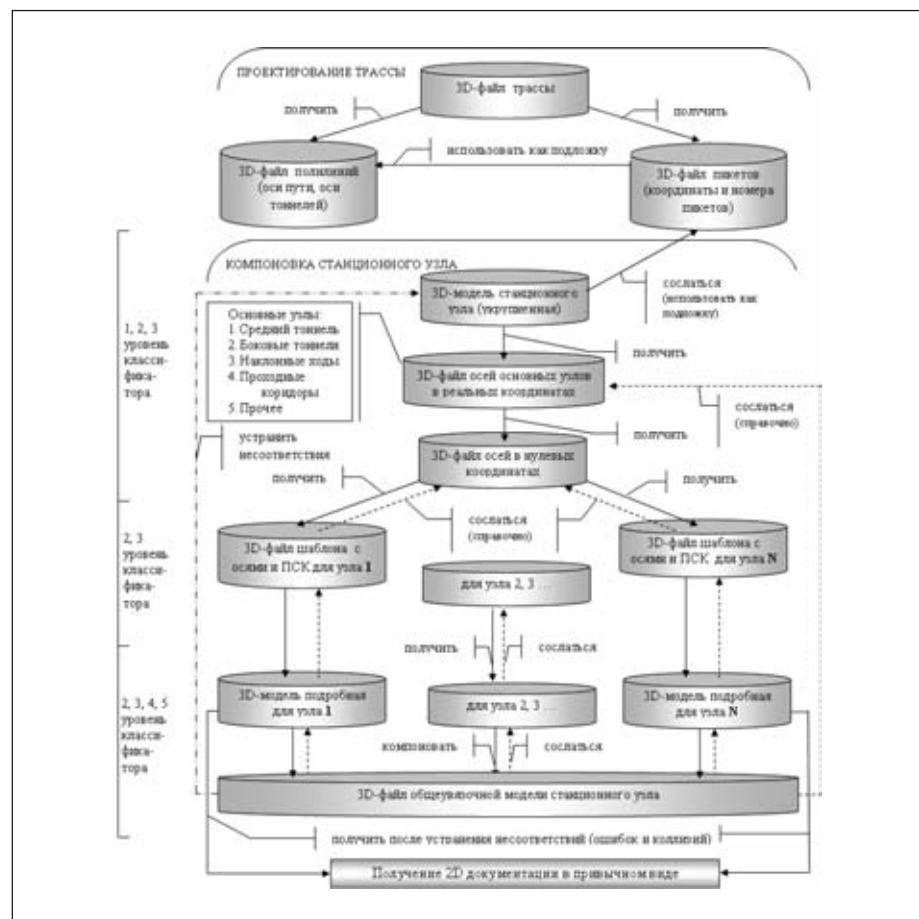


Рис. 4. Технические аспекты проектирования объектов метрополитена в AutoCAD Architecture

взаимной увязки размещенных конструкций. Обнаруженные коллизии устраняются. Менеджер проекта периодически (например, в конце каждого рабочего дня) для контроля выполняемых работ и выявления ошибок и/или коллизий компонуется и проверяет 3D-модели каждого основного узла. Выявленные несоответствия доводятся до исполнителей для устранения. Периодически (например, один раз в неделю) для осуществления контроля над ходом выполнения проекта в целом производится полная сборка 3D-модели станционного узла. В случае обнаружения ошибок и/или коллизий 3D-модель может быть возвращена на доработку на любой из предыдущих шагов. Так, на рис. 3 показан возврат на доработку на стадию создания укрупненной модели станционного узла. Разрешение сложных коллизий ГИП может вынести на обсуждение (например, на диспетчерском совещании) с демонстрацией 3D-модели для выработки коллегиального решения.

Преимуществом такого процесса является то, что каждый его участник выполняет привычную для себя работу, но только в среде 3D, а 3D-модель проходит две линии проверки: сначала сверху вниз (от укрупненной модели до модели отдельных объектов), а потом снизу вверх (исполнителями на местах, при сборке отдельных участков и при создании полной детальной 3D-модели).

### Технические аспекты трехмерного проектирования станций метрополитена в среде AutoCAD Architecture

Основные технические аспекты технологии трехмерного проектирования объектов метрополитена в AutoCAD Architecture на основании СИМ объекта отображены на рис. 4.

Как видно из рисунка, создание 3D-модели станции метрополитена начинается с получения посредством Autodesk Civil 3D файла полилиний (то есть главных осей трассы), на основе которого затем формируется графический файл пикетов. При этом 3D-файл полилиний используется в качестве подложки при создании 3D-файла пикетов (то есть файл пикетов содержит ссылку на файл полилиний). Такой подход определяется традиционной технологией проектирования: при выпуске рабочих чертежей проектировщикам нужны пикеты без трасс. Затем с помощью AutoCAD Architecture создается 3D-модель компоновки габаритов станционного узла. При этом осуществляется размещение укрупненных



конструкций станционного узла с применением простых геометрических фигур и в соответствии с классификатором для станций данного типа, а 3D-файл пикетов, в свою очередь, используется как подложка. Таким образом, из 3D-модели компоновки габаритов "видны" как пикеты, так и полилинии, благодаря ссылкам на файлы, в которых содержатся эти элементы.

Затем из 3D-модели компоновки габаритов станционного узла получают 3D-файл осей станционного узла в реальных координатах, а из него — 3D-файл осей станционного узла в нулевых координатах, в которых за точку отсчета берется так называемая точка БВН (база высотная нижняя — самая нижняя точка заложения главной оси станции, расположенная в основании наклонного хода).

После этого из 3D-файла осей станционного узла в нулевых координатах получают 3D-файлы шаблонов отдельных участков в пользовательской системе координат (ПСК). Каждый 3D-файл шаблона участка ссылается на 3D-файл осей станционного узла в нулевых координатах справочно, то есть последний применяется только для просмотра.

Используя 3D-файл соответствующего заданию шаблона, каждый исполнитель создает рабочий файл и приступает к разработке в привычном для него виде (план). При этом ПСК каждого создаваемого пользователем узла имеет направление оси X вдоль оси конструкции, а точка вставки узла в файле 3D-модели габаритов совпадает с координатой 0,0,0 AutoCAD в рабочем файле исполнителя. При моделировании объекты участка могут детализироваться до уровня компонентов частей участка (в соответствии с классификатором для станций данного типа и принятым соглашением о детализации 3D-модели). Каждая 3D-модель объектов участка ссылается на соответствующий 3D-файл шаблона. То есть при корректировке 3D-файла шаблона участка изменения мгновенно отображаются в 3D-модели объектов участка. С целью выявления коллизий и/или ошибок, а также для проверки полученных проектных решений создается 3D-файл обобщенной модели станционного узла. Этот файл содержит ссылки на все файлы 3D-моделей объектов участков, размещенных в их истинном положении, а также на 3D-файл осей станционного узла в реальных координатах (справочно).

После получения 3D-модели требуемой детализации и устранения всех ошибок

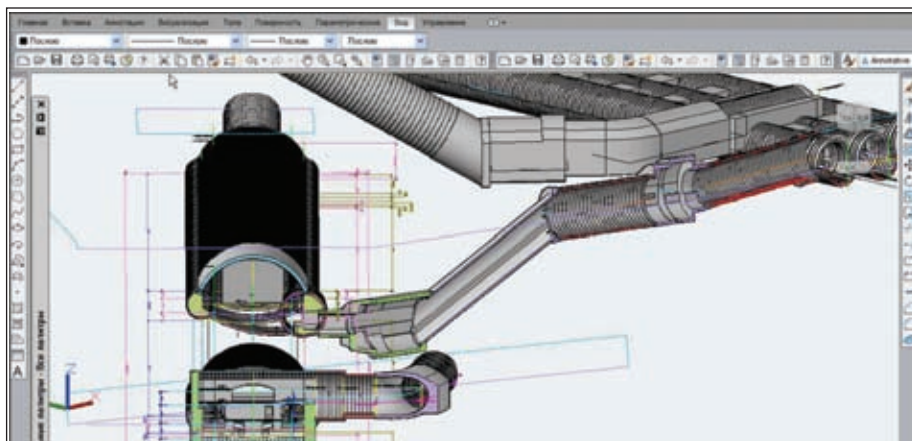


Рис. 5. Пример 3D-модели сборки переходного узла комплекса станционных сооружений с несколькими разрезами

и коллизий из 3D-модели формируется традиционная 2D-документация, соответствующая требованиям данного проекта и ГОСТ.

На рис. 5 приведен пример 3D-модели сборки переходного узла комплекса станционных сооружений с несколькими разрезами, полученной в процессе создания описанной технологии.

## Выводы

Таким образом, проделанная работа позволила достичь следующих результатов.

1. Определен комплекс мероприятий и видов работ при подготовке к созданию 3D-модели.
2. Предложен принцип классификации строительных конструкций объектов метрополитена.
3. Разработан и апробирован процесс коллективной работы над 3D-моделью, максимально соответствующий традиционному порядку проектирования объектов метрополитена и обеспечивающий надежный контроль за проектированием и двойную линию проверки 3D-модели.
4. Разработаны и апробированы технические аспекты технологии трехмерного проектирования объектов метрополитена в AutoCAD Architecture.
5. Использование описанной выше технологии трехмерного проектирования объектов метрополитена обеспечивает предприятию следующие очевидные преимущества:

- повышение наглядности принимаемых решений и тем самым — сокращение времени на их принятие благодаря наличию 3D-модели;
- уменьшение количества требуемых ресурсов, сокращение сроков проектирования и увеличе-

ние производительности проектных работ за счет использования наработанных библиотек;

- повышение квалификации проектировщика, уменьшение затрат на обучение и сокращение времени на подготовку новых специалистов в области 3D-проектирования;
- обеспечение возможности быстрого внесения изменений за счет использования единой 3D-модели (благодаря соответствующим перекрестным ссылкам файлов).

## Литература

1. И. Чиковская. Тихая революция. Электронный кульман или информационная модель здания // CADmaster. — 2008. — № 3. — С. 88-92.
2. О. Галкина, А. Рындин, Л. Рябенский, А. Тучков, И. Фертман. Электронная информационная модель изделий судостроения на различных стадиях жизненного цикла // CADmaster. — 2007. — № 6. — С. 48-51.
3. А. Воробьев, Л. Данилова, Б. Игнатов и др. Сценарий и механизмы создания единого информационного пространства // CADmaster. — 2010. — № 5. — С. 48-51.
4. О. Гаршин, А. Москвиченко. Преимущества нисходящего проектирования на примере использования Pro/ENGINEER WILDFIRE // САПР и графика. — 2004. — № 11. — С. 76-81.

*Ирина Чиковская,  
к.ф.-м.н. Лариса Данилова  
Бюро ESG*

*к.т.н. Александр Лянда  
ОАО "Ленметрогипротранс"*