

Переход на трехмерную технологию проектирования станций Санкт-Петербургского метрополитена на основе решений компании Autodesk

Возросшие в последние годы требования к достоверности, качеству и темпам проектирования привели специалистов Санкт-Петербургского института по проектированию объектов метрополитена ОАО «Ленметрогипротранс» к пониманию необходимости внедрения технологий создания 3D-моделей проектируемых сооружений. В статье описан опыт разработки и внедрения технологии трехмерного проектирования и проведения подготовительных мероприятий и работ при создании 3D-модели в ОАО «Ленметрогипротранс».

В качестве платформы для создания 3D-технологии в институте были выбраны решения компании Autodesk и определены основные требования: сквозное 3D-проектирование должно быть похоже на традиционное, должно объединять несколько отделов традиционной структуры, обеспечивать возможность совместной разработки, синхронизации работ, а также давать возможность автоматизированного выпуска проектной документации. Переход на новые технологии должен происходить без нарушения планов и графиков основных проектных работ, осуществляемых в рамках текущих договоров и контрактов.

Работа над освоением технологий 3D-проектирования началась в 2010 году с обучения нескольких специалистов отдела проектирования трасс инструментам AutoCAD Civil 3D, обучения группы архитекторов архитектурно-строительного отдела работе с AutoCAD Architecture, а также с построения с помощью этих систем трехмерной подземной трассы и наземного вестибюля станции метрополитена. В итоге была построена трехмерная модель трассы одного из участков Санкт-Петербургского метрополитена, где пересекаются три ветки, и создана модель наземного вестибюля новой станции. Тем самым была проверена возможность проработки и развития дальнейших решений, а также правильность выбранной платформы для трехмерного проектирования.

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, а именно: программа разбивки пикетов на трассе с учетом специфических требований к трассе метрополитена, программы расчета

геометрии специфических осей тоннелей на прямых и криволинейных участках трассы, программа для расчета положения наклонного хода станции глубокого заложения.

В результате работ в AutoCAD Civil 3D и разработанных программах 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.

Первый опыт построения трехмерных моделей оказался не слишком удачным. Стало очевидно, что необходимо не только обучение специалистов владению САПР 3D, но и разработка самой технологии трехмерного проектирования, учитывающей особенности 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, которое осуществлялось с помощью AutoCAD Architecture. Было принято решение создать рабочую группу, состоящую из специалистов консалтинговой компании «CSoft-Бюро ESG», имеющих опыт подобного рода работ [1,2,3], разработчиков отдела автоматизированного проектирования (ПАПР) и специалистов-проектировщиков института. Задача группы состояла в разработке и апробировании технологии трехмерного проектирования строительных конструкций. По рекомендации специалистов консалтинговой компании в результате оценки уровня владения специалистами-проектировщиками, вошедшими в рабочую группу, основным инструментом AutoCAD, было проведено предварительное обучение этой САПР. Такая оценка, по мнению специалистов консалтинговой компании, должна являться обязательным этапом при внедрении 3D-технологии. После обучения AutoCAD было проведено обучение AutoCAD Architecture.

Технология разрабатывалась на примере одной из проектируемых станций Санкт-Петербургского метрополитена в течение 2011-2012 годов. Столь длительный период (который не закончен и по сей день) обусловлен как не тривиальностью задачи, так и серьезной занятостью проектировщиков текущей работой, которые производят разработку новых технологий «без отрыва от производства».

К настоящему времени специалистами института совместно с сотрудниками компании “CSoft-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, что прежде чем приступить непосредственно к разработке 3D-модели в рамках определенного проекта, необходимо провести ряд подготовительных мероприятий и работ. В общем случае перечень следующий:

1. определение состава объекта проектирования – зданий, сооружений (надземных и подземных), систем, сетей проекта, по которым требуется создать 3D-модель;
2. определение состава проектных дисциплин для создания 3D-модели на основе общего перечня дисциплин проекта;
3. определение группы специалистов по трехмерному моделированию и специалистов по разработке двумерной документации, функциональных задач каждого участника работ и уровней доступа к функционалу среды проектирования в организационной структуре проекта;
4. принятие соглашения о степени детализации 3D-модели на различных этапах проектирования;
5. создание структурно-иерархической модели (СИМ) объекта проектирования;
6. определение перечня выходных форм модели;
7. принятие соглашения о способе кодировки объектов и документации проекта;
8. определение состава САПР (архитектуры среды проектирования), которые будут использованы при создании 3D-модели; оценка степени готовности САПР по наполнению библиотек и/или элементной базы данных;
9. настройка САПР, а именно:
 - ▶ принятие соглашения по настройке и использованию единой среды проектирования (интерфейса);
 - ▶ создание недостающих элементов, добавление их в библиотеки и осуществление настройки среды проектирования под проект;
10. определение процедуры групповой работы над 3D-моделью в общем процессе проектирования;
11. создание 3D-модели.

Пункт 9 и его подпункты являются ключевыми моментами 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 отклонения от них. Например, если работы по проекту выполняются на субподрядной основе, то головной исполнитель может потребовать использование иных спо-

собов кодировки объектов и документации проекта, отличных 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) зависит 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 перечисленные выше пункты (за исключением пункта 8):

1. в качестве исходного объекта для проработки технологии был выбран сложный объект санкт-петербургского метрополитена – пересадочный узел, включающий три станции метро;
2. были выделены два проектных отдела и, соответственно, две проектные дисциплины – отдел ПТЭ (прокладка трассы) и отдел ПК (подземные строительные конструкции как основная дисциплина). Были выделены только эти две дисциплины, так как на начальном этапе было решено ограничиться созданием 3D-модели несущих конструкций станционного узла (Обделка);
3. была сформирована группа 3D-проектирования, в которую вошли инженеры по строительным конструкциям;
4. 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. Выбор САПР для моделирования несущих конструкций (Обделки) осуществлялся между AutoCAD MEP или AutoCAD Architecture. С учетом того, что основными сборочными единицами Обделки являются строительные конструкции, предпочтение было отдано AutoCAD Architecture, как более дешевому решению без избыточного функционала AutoCAD MEP.

После определения среды проектирования требовалось оценить степень готовности САПР AutoCAD Architecture к работе. Экспресс-оценка показала, что готовность по наполнению библиотек и элементов БД практически близка к нулю и что все библиотеки придется создавать в процессе работы. Обусловливалось это в первую очередь спецификой проектируемого объекта – подземных строительных конструкций.

Вертикальные решения компании Autodesk, используемые при реализации пилотного проекта, предпола-

гают до начала работ по созданию библиотек предварительный подбор инструмента САПР (интеллектуального объекта), который бы наиболее полно удовлетворял 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 при реализации проекта кроме библиотек трехмерных элементов сразу приступили к созданию библиотек элементов 2D.

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

По результатам 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 создания 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 подземные станции глубокого и мелкого заложения и на наземные крытого типа. Станции глубокого и мелкого заложения в свою очередь по типу конструкций делятся на колонные, пилонные, односводчатые и т.н. "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". В процессе обследования были выявлены терминологические расхождения и отличия в разбиении станций пилонного и односводчатого типов на участки. По результатам обследования были получены первичные классификаторы станций этих типов.

Первичные классификаторы необходимы для создания общей единообразной структуры библиотек САПР. Построение классификаторов позволяет описать все конструктивные компоненты станции и создать наиболее

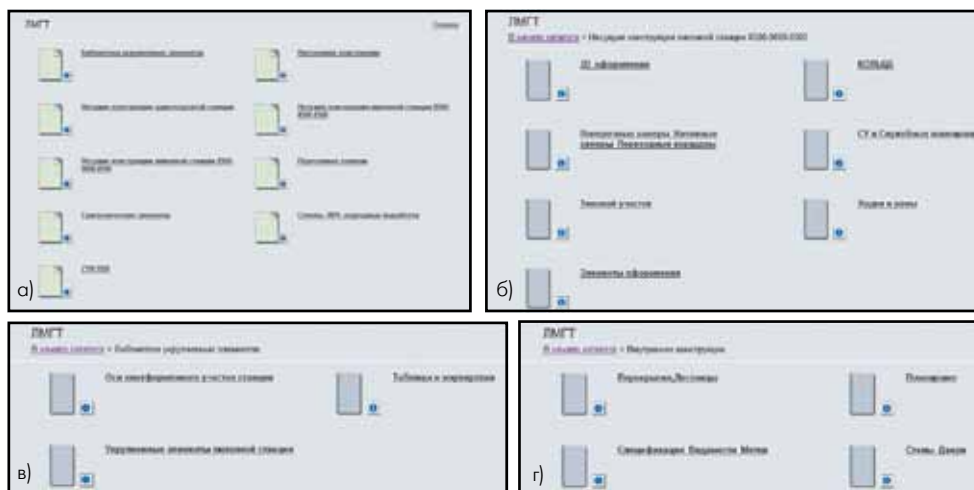


Рис. 1. Примеры оглавления разделов библиотеки компонентов для AutoCAD Architecture: 1а – оглавление разделов верхнего уровня; 1б – оглавление раздела "Несущие конструкции пилонной станции 8500-9800-8500"; 1в – оглавление раздела "Библиотека укрупненных компонентов"; 1г – оглавление раздела "Внутренние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

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: выбор стационарного 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.

Полученный классификатор уточнялся и изменялся в процессе дальнейшей работы. Часть первичного классификатора станции типа "пилонная" легла в основу каталога библиотеки основных элементов конструкций в САПР 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 2D- и 3D-элементов, 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 происходило силами рабочей группы. В дальнейшем должно быть организовано сопровождение системы силами специалистов отдела ПАПР, включающее пополнение и корректировку библиотек.

Краткое описание процесса коллективной работы над 3D-моделью

Основные требования института к внедрению технологии трехмерного моделирования – максимально

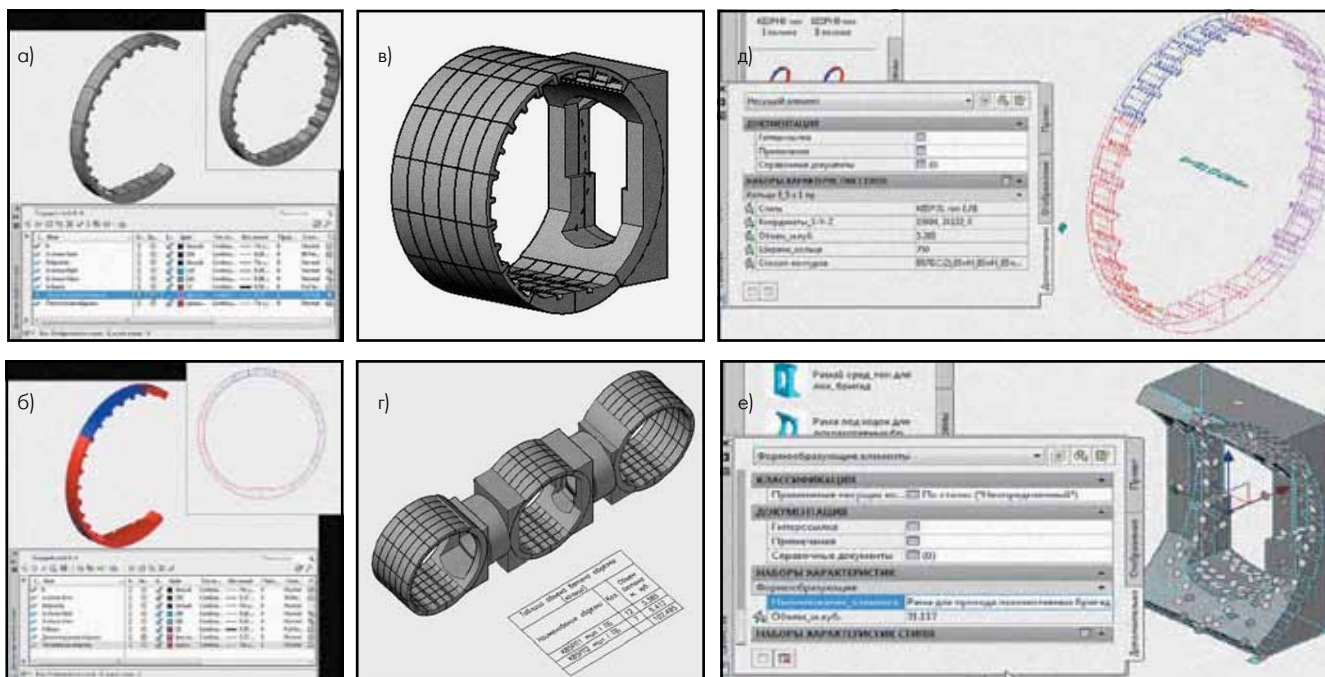


Рис. 2. Примеры элементов библиотеки конструкций подземной части метрополитена: 2а – Обделка бокового туннеля с демонтированным участком (несущий элемент); 2б – то же с показом контуров в цветовом решении; 2в – типовой сборный участок бокового туннеля, состоящий из колец Обделки с демонтируемой частью (несущий элемент) и рамы ходьбы (формообразующий элемент); 2г – типовой сборный участок, состоящий из колец Обделки боковых и среднего туннелей (несущие элементы), рамы и ходьбы (формообразующие и несущие элементы); 2д – пример кольца Обделки с присоединенным к нему набором характеристик; 2е – пример рамы ходьбы с присоединенным к нему набором характеристик

сохранить традиционный, выверенный годами, порядок проектирования – с одной стороны, и иметь возможность в любой момент времени собрать полную 3D-модель (по текущему состоянию “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 другой стороны. С учетом этой установки создание новой технологии началось с проработки схемы коллективного взаимодействия при работе над 3D-моделью для основного выпускающего отдела (ПК) и отдела разработки трасс (ПТЭ), которая не нарушала бы традиционный порядок проектирования. В дальнейшем разработанная схема будет использоваться и для других отделов института (рис. 3).

Как видно из рис. 3, процесс создания 3D-модели объекта метрополитена (на примере станционного узла) начинается с создания 3D-модели трассы (отделом ПТЭ), на которой необходимо расположить станционный узел (подземную часть). Менеджер проекта совместно с отделами ПК и ПТЭ, используя 3D-модель трассы, полу-

чает трехмерную модель компоновки станционного узла в габаритах. При создании такой модели происходит размещение укрупненных конструкций станционного узла в соответствии с классификатором станции выбранного типа. При этом вся модель делится на основные узлы (участки), проверяются основные

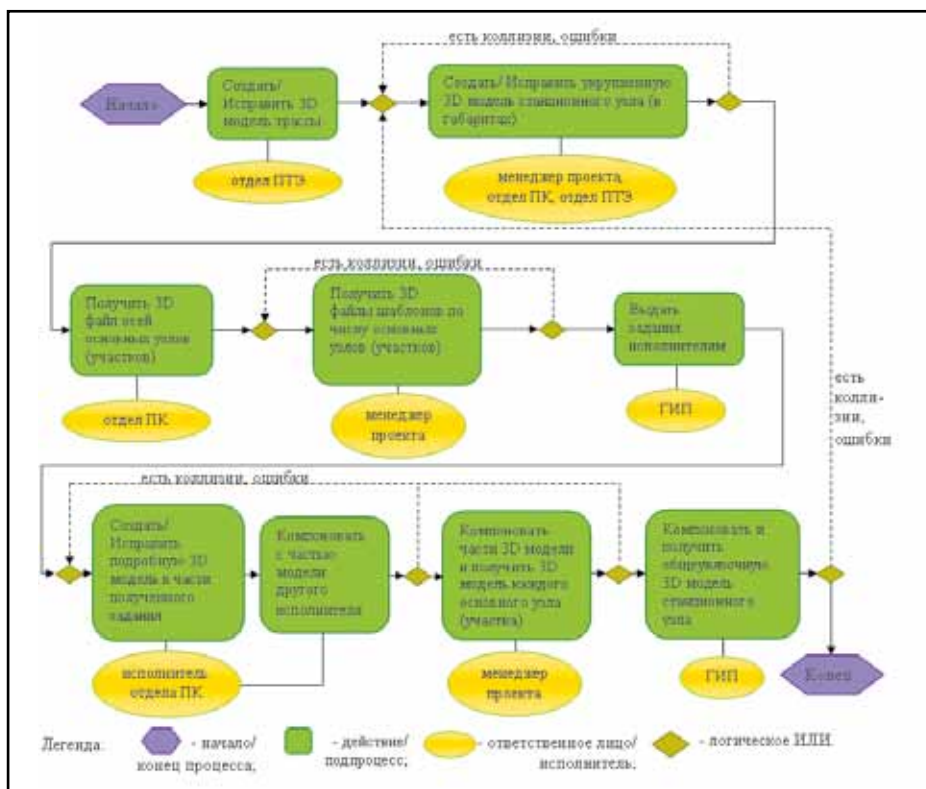


Рис. 3. Блок-схема коллективного взаимодействия участников проекта при создании 3D-модели объектов метрополитена

технические проектные решения и уже на этом этапе устраняются ошибки и коллизии (при их обнаружении). На основании укрупненной 3D-модели отдел ПК получает 3D-файл осей основных узлов. Затем менеджер проекта, используя этот файл, 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 любой момент времени исполнитель может компоновать свою часть модели с частью другого исполнителя для взаимной увязки размещенных конструкций. При обнаружении коллизий, они устраняются. Менеджер проекта периодически (например, в конце каждого рабочего дня) с целью контроля выполняемых работ и выявления ошибок и/или коллизий компоует и проверяет 3D-модели каждого основного узла. Если несоответствия есть, то они доводятся до исполнителей для их 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 вернуться на доработку на любой из предыдущих шагов. Для примера, 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 использования такого процесса является то, что каждый его участник выполняет привычную для него работу, но только в среде 3D, а 3D-модель при этом проходит две линии проверки при ее проработке: сначала сверху вниз (от укрупненной модели до модели отдельных объектов), а потом снизу вверх (при проверке на местах исполнителей, сборке отдельных участков и сборке 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 отражены на рис. 4.

Как видно из рис. 4, создание 3D-модели станции метрополитена начинается с получения с помощью Autodesk Civil 3D-файла полилиний (то есть главных осей трассы), затем на его основе создается 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.

Далее создается 3D-модель компоновки габаритов станционного узла с помощью AutoCAD Architecture. При создании этой модели осуществляется размещение укрупненных конструкций станционного узла с использованием 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, содержащие эти элементы.

После этого 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

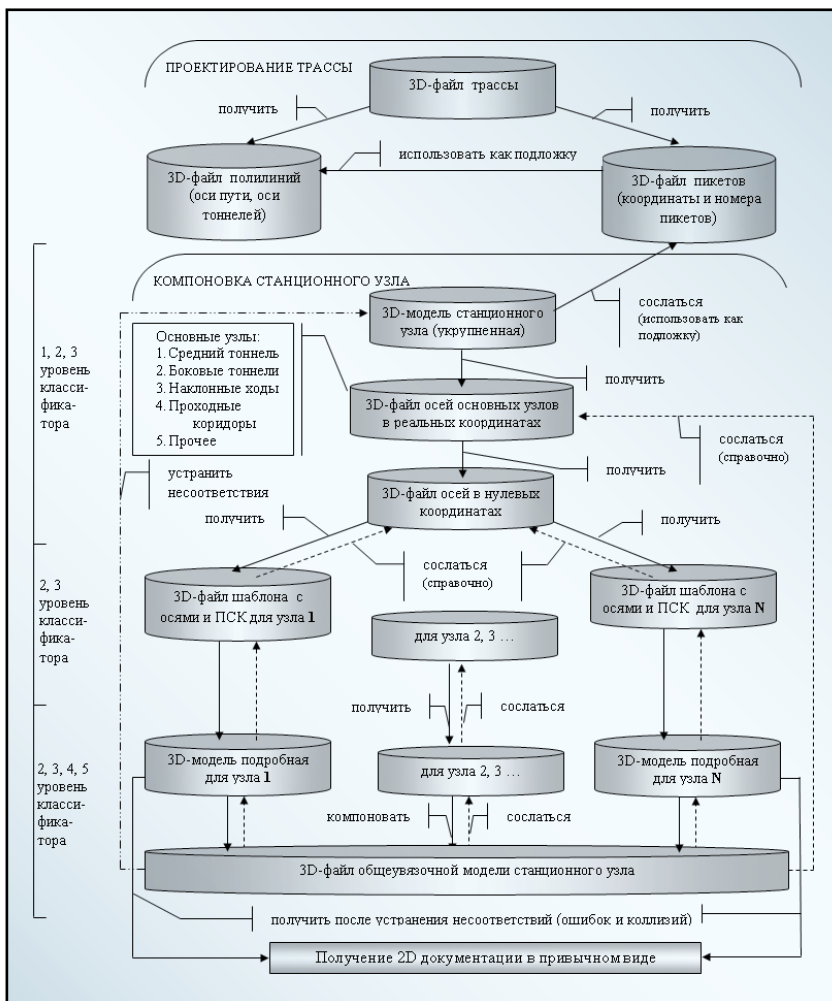


Рис. 4. Технические аспекты проектирования объектов метрополитена в AutoCAD Architecture

заложения главной оси станции, расположенная в основании наклонного хода).

Далее 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 используется 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 файл 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 проверки полученных проектных решений создается 3D-файл общеувязочной модели станционного узла. Данный 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 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.

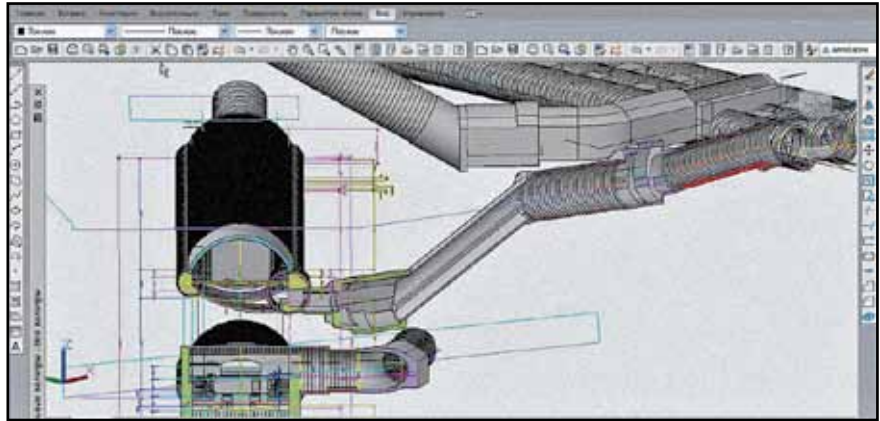


Рис. 5. Пример 3D-модели сборки переходного узла комплекса станционных сооружений с несколькими разрезами

контроль проектных работ и двойную линию проверки 3D-модели.

- ▶ Разработаны и апробированы технические аспекты технологии трехмерного проектирования объектов метрополитена в AutoCAD Architecture.

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 за счет наличия 3D-модели в целом;
- ▶ уменьшение количества требуемых ресурсов, сокращение сроков проектирования и увеличение производительности проектных работ за счет использования наработанных библиотек;
- ▶ повышение квалификации проектировщиков, уменьшение затрат на обучение и сокращение времени на подготовку новых специалистов по 3D-проектированию;
- ▶ обеспечение быстрого внесения изменений за счет использования единой 3D-модели (благодаря наличию соответствующих ссылок файлов друг на друга).

**И. Н. Чиковская, Л. Г. Данилова, к.ф.-м.н.,
компания "CSoft-Бюро ESG",
А. А. Лянда, к.т.н.,
ОАО "Ленметрогипротранс"**

Выводы

Выполненные ОАО "Ленметрогипротранс" работы по внедрению 3D-технологий проектирования объектов метрополитена позволили достичь следующих результатов:

- ▶ Определен комплекс мероприятий и видов работ при подготовке к созданию 3D-модели.
- ▶ Предложен принцип классификации строительных конструкций объектов метрополитена.
- ▶ Разработан и апробирован процесс коллективной работы над 3D-моделью, максимально соответствующий традиционному порядку проектирования объектов метрополитена и обеспечивающий надежный

Литература

1. Чиковская И. Н. Электронный кульман или информационная модель здания// REM – 2008 – № 2 – С. 42–44.
2. Галкина О. М., Рындин А. А., Рябенский Л. М., Тучков А. А., Фертман И. Б. Электронная информационная модель изделий судостроения на различных стадиях жизненного цикла// CADmaster – 2007 – № 6 (37) – С. 48–51.
3. Воробьев А. М., Данилова Л. Г., Игнатов Б. А. и др. Сценарий и механизмы создания единого информационного пространства// CADmaster – 2012 – № 5 (55) – С. 48–51.
4. Гаршин О., Москвиченко А. Преимущества нисходящего проектирования на примере использования Pro/ENGINEER WILDFIRE// САПР и графика – 2004 – № 11 – <http://www.sapr.ru/article.aspx?id=14915&iid=707>.

Autodesk®
Gold Partner

CSoft
группа компаний
Б Ю Р О Е С Г

Акция Autodesk

до 18 января 2013 года обновите или
купите программный комплекс Autodesk
со скидкой до 10%*

* Подробности об акции читайте
на нашем сайте www.csoft.spb.ru



Получите скидку до 10% при приобретении новой лицензии или обновлении до программного комплекса Autodesk. Выполните обновление сейчас, потому что цены на обновления в 2013 году будут меняться.

ООО "СиСофт-Бюро ЕСГ"

Санкт-Петербург, ул. Белоостровская д. 28 Email: esg@esg.spb.ru

т. (812) 496-6929, ф. (812) 496-5272

Internet: www.esg.spb.ru, www.csoft.spb.ru