

УДК 004 : 001.891.57

А. К. ГОЛОВНИЧ, доктор технических наук, директор Научно-исследовательского института железнодорожного транспорта, Белорусский государственный университет транспорта, г. Гомель

ОСОБЕННОСТИ ФОРМИРОВАНИЯ И ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОЙ СТРУКТУРЫ ТРЕХМЕРНОГО ОБРАЗА ПУТЕВОГО РАЗВИТИЯ И ТЕХНИЧЕСКОГО ОСНАЩЕНИЯ ЖЕЛЕЗНОДОРОЖНОЙ СТАНЦИИ

Исследуются функциональные возможности трехмерной модели железнодорожной станции, построенной на основе цифровых станционных объектов, имеющих технологические атрибуты. В качестве примера рассматривается модель работы крытого склада повагонных отправок с визуализацией всех операций в трехмерном представлении. Показаны обширные возможности практического применения данной модели, способной имитировать реальные технологические операции.

1 Общие положения. Трехмерное компьютерное представление железнодорожной станции является адекватным образом реальных объектов путевого развития и технического оснащения. Однако одного только фотореалистичного отображения внешнего вида парков, зданий и сооружений недостаточно для эффективного использования 3D-станции в решении широкого класса теоретических и прикладных задач. Важно формировать станционные структуры как полноценные объекты вместе с определяющими их свойствами, особенностями эксплуатации, остаточным ресурсом, конструкционной спецификой и пр. Цифровое представление станции позволяет включать в состав характеристик объектов всевозможные атрибуты, указывающие на форму, цвет, назначение. В перечень значимых параметров особого типа можно включать правила связи с другими объектами и взаимодействия с окружением данного объекта, описывать технологию работы отдельных парков, станционных подсистем и станции в целом. Таким образом, можно генерировать реальную станцию со всеми свойствами и связями в соответствующей трехмерной имитации на уровне *функционального прототипирования* отдельных объектов как связанной технологической системы.

Чтобы создать полноценную объектную 3D-реализацию станции, необходимо разработать концептуальную основу построения виртуального мира, в котором будет прописан каждый элемент по форме и содержанию. Как в работе реальной станции нет мелочей (важным оказывается техническое состояние пути, зависящее от зазора в стыках; своевременная выгрузка груза из вагона, зависящая от исправности автопогрузчика; производительность работы сортировочной горки, зависящая от режимов и способов торможения на подгорочных путях), так и в компьютерном макете станции должны воспроизводиться аналогичные операции с аналогичными требованиями (естественно, с определенной степенью детализации и погрешностью). Это значит, что на виртуальной станции железнодорожные пути должны функционировать в сборке всех рельсовых скреплений, шпальной решетки и нижнего строения; складские помещения в 3D-конструкции нужно проектировать так, чтобы в свойствах соответ-

ствующих объектов были прописаны размеры площадок, их назначение, технологические, служебные и пожарные проезды, маршруты следования погрузо-разгрузочной техники из вагонов и в вагоны; длительность хранения грузов, место нахождения бездокументных грузов; компьютерная имитация сортировочной горки в соответствующей базе данных должна содержать полную информацию о трехмерной геометрии и координатном позиционировании путей надвига и роспуска, назначении путей сортировочного парка, формализованном описании технологии работы с отцепами, запрещенными к роспуску с горки, технологии работы с отсевным путем. 3D-станция должна стать функциональным подобием своего прототипа.

В таком виде трехмерная компьютерная реализация является не только визуальным отображением всех станционных объектов, но и содержит существенную системную технологическую информацию, которую вместе с внешним образом можно использовать для решения конкретных задач. На примере трехмерного моделирования крытого склада рассмотрим возможный вариант решения задачи мониторинга за перемещением грузов из вагонов на склад и автомобилей.

2 Характеристические сечения 3D-станции по некоторому уровню. Объемные формы объектов железнодорожной станции представляют собой сложно-профильные топологические структуры с различной высотой (третьей координатой, получаемой при съемке станционных объектов с помощью электронных тахеометров). Высота таких объектов может быть постоянной (сигналы, предельные столбики) или переменной (занятый и свободный путь, железнодорожный переезд с поднятым или опущенным шлагбаумом, секция крытого склада с грузом и свободная от него). Сечения объемных цифровых объектов железнодорожной станции плоскостями позволяют получать соответствующие плоскостные следы, или срезы 3D-образа. Следует различать *сечения горизонтальные, вертикальные и свободные*. Пусть в некоторой среде трехмерного моделирования запроектирован крытый склад повагонных отправок с внешним железнодорожным путем, рампой и площадкой для грузовых операций с автомобилями (рисунок 1).

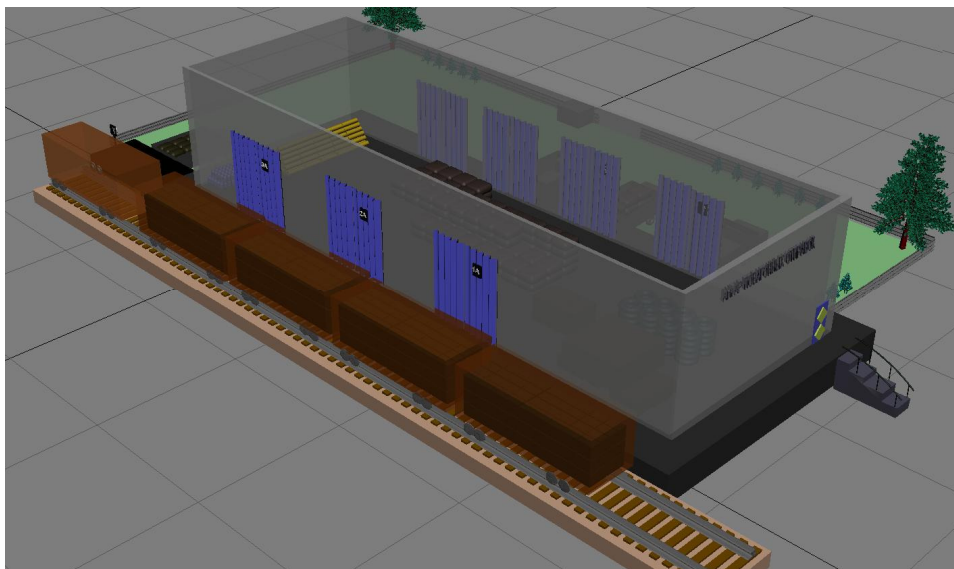


Рисунок 1 – 3D-имитация склада, выгрузочного пути и вагонов

Представленную структуру объектов путевого развития (ОПР) и технического оснащения (ОТО) погружаем в технологическую среду различных операций, производимых с участием крытого склада повагонных отправок. В результате имеем ряд фиксированных *ключевых кадров динамической картины*:

- 1 Крытый склад, свободный от груза, вагонов и автомобилей (исходная позиция).
- 2 Группа поданных вагонов к крытому складу, превышающая фронт работ.
- 3 Частично заполненный грузом крытый склад.
- 4 Ряд автомобилей под погрузку.
- 5 Перезаряженный фронт и выгруженный в склад груз.
- 6 Завершенные работы на складе (уборка порожних вагонов, отправление груженых автомобилей, наличие остатка груза на складе).

Каждый из указанных шести ключевых кадров может характеризоваться определенными параметрами, которые фиксируются геометрически с помощью сечений. Сечения могут быть *характеристическими* (указывающими на характерный параметр), *вторичными* (выявляющими незначимый признак) и *побочными* (с повторяющимися или теряющимися признаками). Набор характеристических сечений одного ключевого кадра называется *локальной сигнатурой комплекса технологических операций*. Множество локальных сигнатур с объединением всех характеристических сечений (горизонтальных, вертикальных и свободных) образует *глобальную сигнатуру* (ГСТО).

Свободные характеристические сечения определяют плоскостные срезы под любым произвольным углом с линией привязки в пределах пространства технологической среды. Подмножество таких сечений оказывается чрезвычайно велико, и для выделения определяющих требуется провести дополнительные исследования.

Свободное характеристическое сечение называется *значимым* (специфическим, определяющим существенное свойство ОПР и ОТО), если оно топологически отлично от любого другого, выводимого из всех свободных сечений данного пространства технологической среды. Следует отметить, что множество значимых сво-

бодных характеристических сечений на порядок больше аналогичных подмножеств горизонтальных и вертикальных характеристических сечений. Сечения под углом, какими являются свободные разрезы технологической среды, объединяют ряд вертикальных и горизонтальных сечений, которые называется *образующими* данное *свободное сечение*.

3 Значимые характеристические сечения инфраструктурно-технологической среды. Трехмерное моделирование существенно расширяет возможности структурного анализа компонентов масштабного плана с помощью визуализируемого ряда кадров. Существенным отличием от используемых в настоящее время подходов анализа, связанного с изучением двумерных масштабных планов, является формирование модели процессов, в которые одновременно вовлекаются путевое развитие и техническое оснащение. При этом возникает динамическая среда с изменением состояний ОПР и ОТО при выполнении соответствующих технологических операций. Идеальной моделью такого подхода является видеofilm, в котором динамически последовательно отражается изменение состояний станционных объектов в результате исполнения отдельных операций. На начальном этапе разработки 3D-подхода предлагается рассматривать общую динамическую картину сквозь призму отдельных временных сечений – ключевых кадров. Каждый ключевой кадр определяется как некоторый фотоснимок состояния станционных объектов. Например, крытый склад с примыкающим железнодорожным путем и площадками характеризуется состояниями каждого из образующих данный 3D-образ компонентов. Примечательно, что наиболее полную наглядность придает не одна, а, как минимум, две позиции ключевого кадра (как правило, с различных ракурсов съемки). 3D-образ – это не фотография, а стилизованный трехмерный конструктив, в котором отдельные объекты могут представляться в условно реалистичном виде. Например, крытый склад и вагоны изображаются полупрозрачными с целью правильного визуального представления о порожнем или груженом состоянии подвижного состава.

Определим локальную сигнатуру комплекса технологических операций для некоторого ключевого кадра 3D-образа. При этом рассматриваем только горизонтальные характеристические сечения как наиболее простую модель описания ключевого кадра. Сам ключевой кадр разделяется на три сегмента 3D-образа:

1) железнодорожный путь с вагонами или без них; если с вагонами, то порожними или гружеными; если гружеными, то каким грузом и в чей адрес; с выгрузкой в склад или по прямому варианту; если порожними, то для погрузки какого груза и в чей адрес;

2) крытый склад повагонных отправок с секционированием площадок хранения и определенным наличием груза на площадках для вывоза автотранспортом или для погрузки в вагоны;

3) площадка для стоянки под выгрузкой или погрузкой автомобилей с определенным фронтом одновременной работы погрузо-выгрузочных механизмов, а также возможной работы по прямому варианту.

Локальная сигнатура комплекса технологических операций позволяет закрыть полный контур связанных объектов путевого развития и технического оснащения, участвующих в обеспечении центрального компонента. В рассматриваемом примере таким компонентом является крытый склад, так как подавляющее большинство операций производится с его участием. Исключением из этого правила оказывается прямой перегруз на секции, где производится погрузка-выгрузка из вагона в автомобиль через высокую рампу без участия крытого склада. Горизонтальное характеристическое сечение на уровне отметки верха рампы охватывает все ОПР и ОТО, указывая на их текущее состояние.

Позиции характеристических сечений «На пути подачи» и «По фронту работы» определяются занятостью железнодорожного пути подвижным составом, но различаются вектором ориентации сопутствующих процессов. Для первой позиции – это взаимное расположение груженных и порожних вагонов с соответствующими грузами на пути у рампы, для второй позиции – это фиксация размещения вагонов у складских дверей. В общем случае эти позиции могут не совпадать.

Площадка для автомобилей также позиционируется по назначению грузов с определенными условными обозначениями. Следует отметить, что исследуемое горизонтальное характеристическое сечение (ГХС-1) является одним из возможных реализаций по срезам состояний связанных ОПР и ОТО. В представленной модельной схеме необходимо выделить описательную (ОК) и содержательную (СК) компоненты. В дальнейшем предлагается фиксировать ОК на уровне условных форм, всегда повторяемых различными ГХС. Выходные условные формы ОПР (одного или нескольких железнодорожных путей подачи) и ОТО (секционированной площадки для автомобилей) соответственно указываются как графические образы.

4 Основы программного макетного конструирования состояний технико-технологической среды. Трехмерная визуализация станционных тех-

нологических процессов обеспечивает более качественное натурное отображение и восприятие различных состояний среды, приближая модельные образы к фото- и видеорядам реальной съемки. Рассмотренный пример работы склада повагонных отправок может быть реализован в следующей программной модели. Каждое конкретное состояние ОПР и ОТО представляется некоторым срезом двумерного и трехмерного изображений конкретной позиции горизонтального характеристического сечения. Исходный вид программной формы представлен на рисунке 2.

Программные структуры позволяют отслеживать состояние трех сегментов ключевого кадра: ОПР (наличие порожних или груженных вагонов на пути); ОТО2 (наличие груза по секциям склада); ОТО1 (наличие груженных или порожних автомобилей). При этом возможен общий обзор состояния всей системы в целом. Особенностью просмотра формируемых слайдов является некоторая неоднозначность привязки определенного состояния ко времени из-за наличия последовательных и параллельных процессов перехода. Поэтому при выполнении параллельных процессов на некоторой j -й позиции ГХС $i(j)$ выделяются k фиксированных параллельных видов, которые оказываются взаимозаменяемыми.

Объединение масштабных 2D- и 3D-изображений на одном программном поле позволяет контролировать отдельные изменения в положении объектов и выполнение технологических операций в реалистичном (но виртуальном) мире. Управление объектами путевого развития и технического оснащения на схемах ГХС $i(jk)$ производится посредством фиксирования соответствующего элемента на программной форме и перемещения его левой клавишей мыши на соответствующее место графического изображения (см. рисунок 2). По результатам данного анализа при наличии груза на складе, обеспечивающего повагонную отправку, на схеме характеристического сечения и на макетном образе проводятся соответствующие изменения.

Следует отметить, что в автоматическом режиме высчитывается оптимальная последовательность операций по погрузке вагонов и автомобилей, что отражается с помощью стрелок, соединяющих соответствующие ОПР и ОТО. Если изменить способ моделирования на «Выбор оператора», то программные рекомендации можно изменять. Более того, даже при неполной загрузке вагона или автомобиля можно зафиксировать принятое оператором решение, которое найдет свое отражение на схеме характеристического сечения.

Поле «Макетный образ» претерпевает адекватные изменения согласно принятым программным и операторным воздействиям. Эта область информационного пространства позволяет полностью погрузиться в среду трехмерных объектов и с помощью средств навигации визуализировать положение груза на отдельных секциях склада, состояние подвижного состава (наблюдать на всплывающих динамических окнах процесс их погрузки или разгрузки).

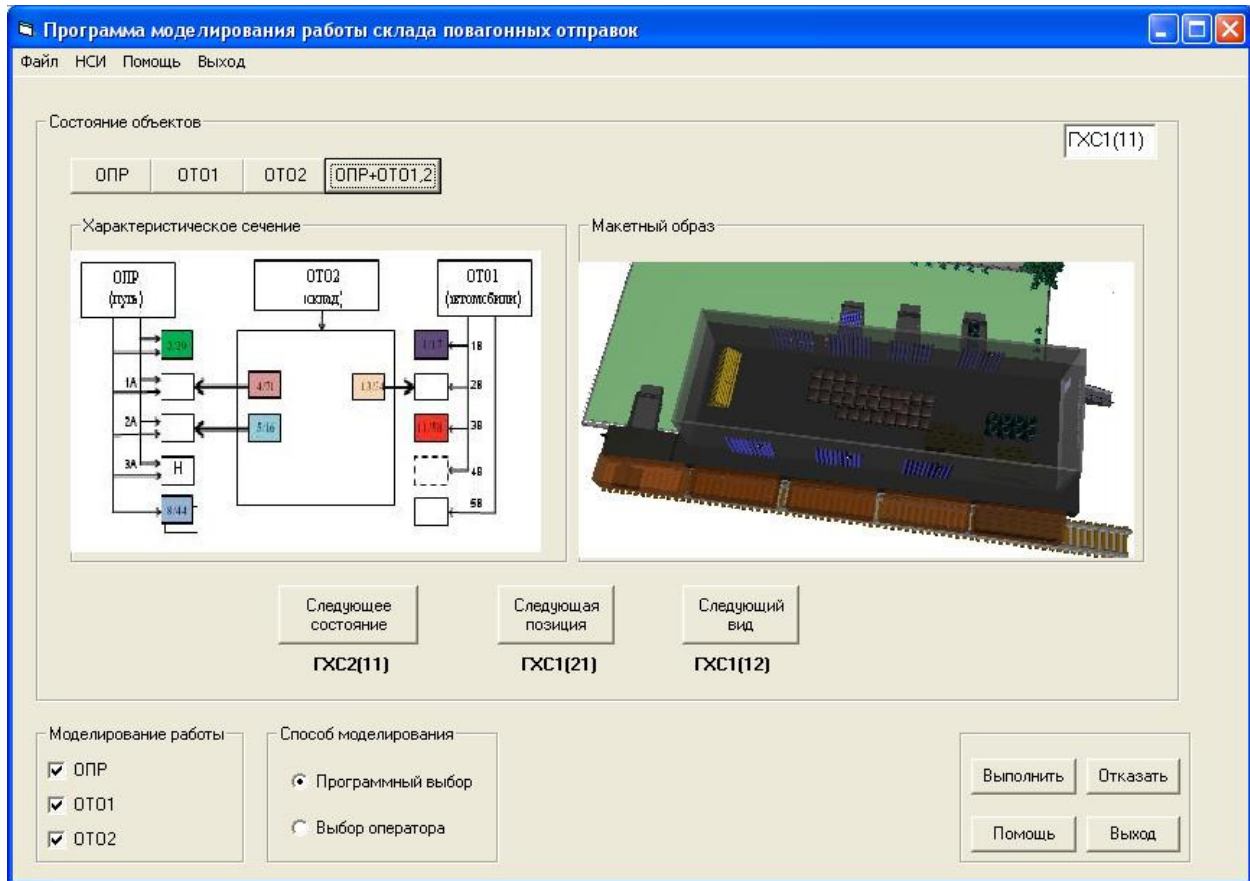


Рисунок 2 – Общий вид загрузочной формы пакета 3D-SKLAD

Благодаря формированию полнофункциональной базы данных окно «Макетный образ» позволяет моделировать состояние складских помещений с учетом существующего положения при некотором графике подхода вагонов и автомобилей. Решается и обратная задача: при заданном состоянии складских помещений рассчитывается такой график подвода вагонов и автомобилей, который минимизирует наличие груза на секциях. Такая задача оказывается весьма полезной на практике при необходимости снятия наличия груза на складе, проведения уборки, профилактических и ремонтных работ и др.

3D-моделирование формирует виртуальную среду, которая благодаря своей масштабной основе максимально приближается к реальному миру. Погружение в этот мир с помощью визуальных и сенсорных устройств превращает программные образы в осязаемые структуры, малоотличимые от реальных объектов. При этом этот виртуальный мир оснащен мощным инструментом прогнозирования, который позволяет заглянуть в ближайшее обозримое будущее, ожидающее склад повагонных отправок, погрузо-выгрузочные пути, площадку погрузки и разгрузки автомобилей.

5 Локальные базовые плоскости качественного отображения объектов станции и их состояний. Формирование $GXCi(jk)$ представляет собой фиксированный плоскостной срез конкретного слоя трехмерной структуры с отражением изменений во времени. Эти изменения связаны с перемещением объектов (вагонов, грузов, автомобилей). Если формируемые $GXCi(jk)$ определяют изменения через определенные промежутки времени, то такое подмножество горизонтальных ха-

рактеристических уровней называется *периодическим*. Если из множества периодических $GXCi(jk)$ можно построить последовательность сечений со строго одинаковым периодом, то имеем структуру *линейных периодических $GXCi(jk)$* . Если некоторые сечения в последовательности получены через время t , большее установленного периода t_s , то получаем линейку *условно периодических ГХС*.

Линейные периодические множества сечений обладают свойством постоянства перемещения во времени с фотографированием текущего состояния ОНР и ОТО. В некоторых случаях целесообразно хранить объектные состояния через промежутки времени, имеющие нелинейную зависимость от номера состояния. Данные последовательности ГХС называются *нелинейными множествами*. Например, на складе повагонных отправок работа по разгрузке вагонов ускоряется по причине необходимости освобождения крытых вагонов для подачи под погрузку согласно регулировочному заданию. В этом случае $t_s(i+1) < t_s(i)$, начиная с некоторого номера состояния i . Это значит, что $i+1, i+2$ и т. д. состояния ОНР и ОТО фиксируются через уменьшающиеся периоды времени согласно некоторой зависимости. На практике оказываются возможными более сложные схемы, когда по одному фронту погрузо-выгрузочные операции ускоряются, а по другому в то же время замедляются. Если имеет место изменение состояния по выделенному ОНР, и в этот же момент времени любые изменения по ОТО отсутствуют, то формируются *частичные сечения* с отображением только изменившегося состояния. Так как все 2D- и 3D-формы ОНР и ОТО

имеют модульную схему своего формирования, то в частичное сечение легко включить соответствующую позицию из предыдущего ГХС $i(j, k-1)$ -состояния.

Все полученные сечения являются функцией времени, поэтому запись $\{ГХСi(jk)\}(t_p)$ указывает на плоскостной графический срез состояния ОПР и ОТО в момент времени t_p . При этом необходимо учитывать, что в нашей модели все процессы имеют дискретный характер. Это значит, что на протяжении некоторого промежутка времени $(t_R - t_p)$ характеристическое сечение будет неизменным, а на момент времени t_R происходит переход

$$\{ГХСi(jk)\}(t_p) \rightarrow \{ГХСi(j, k + 1)\}(t_R).$$

Рассматривая смежные характеристические сечения или ключевые кадры виртуальной видеопоследовательности, можно восстановить видеоряд промежуточных кадров, переводящих систему из состояния ГХС $i(jk)$ в состояние ГХС $i(j, k + 1)$. Так как система переходит в новое состояние благодаря изменению положения отдельных объектов (груза, вагонов, автомобилей), то нужно указать путь их перемещения. Этот путь (*трекинг объектов кадра*) может быть единственным (безальтернативным) или множественным (вариантным).

Безальтернативный трекинг объектов кадра однозначно определяет путь перемещения ОПР или ОТО. Например, уборка группы вагонов с погрузо-выгрузочного пути, выгрузка вагона по прямому варианту.

Вариантный трекинг объектов требует задания пути с выбором из нескольких существующих. Например, выгрузка груза из вагона в склад может производиться через две двери ангара, после выгрузки одиночного вагона возможна либо его уборка, либо перемещение на фронт погрузки на этом же пути. Поэтому, если имеет место вариантный трекинг, то его функциональным аргументом является путь перемещения, как некоторая пространственная кривая, связующая два смежно расположенных состояния ГХС.

Динамическую структуру трехмерного образа составляют ключевые и промежуточные кадры горизон-

тального характеристического сечения. Количество промежуточных кадров между смежными ГХС называется *характеристическим расстоянием*. Если это расстояние по всему ряду рассматриваемых ГХС оказывается одинаковым, то оно называется *характеристическим периодом*. Последовательность промежуточных кадров между ГХС $i(j, k)$ и ГХС $i(j, k + 1)$ определяет степень детализации процесса изменения состояния изучаемой системы, а также указывает на длительность выполнения соответствующей операции. Например, выгрузка в адрес одного получателя вагона пакетированных метизных изделий, укладываемых на выделенную площадку ангара с точки зрения конструируемой виртуальной действительности, представляет собой ряд промежуточных кадров с различием по начальным и конечным (завершающим) фрагментам, так как каждый следующий цикл выгрузки пакета производится из другой точки вагона, и каждый следующий цикл укладки пакета – в другую точку площадки склада. Такая последовательность промежуточных кадров называется *слабодифференцированной*. Из всех кадров можно выделить константную видеоформу, идентичную по всему видеоряду промежуточных фрагментов смежных ГХС.

Выводы. Трехмерные модели путевого развития и технического оснащения станции могут стать высокоэффективным инструментом анализа работы отдельного пункта при условии формирования отдельных цифровых станционных объектов как связанных технологических структур, в которых технические характеристики дополняются технологическими. В противном случае 3D-образ станции является только презентабельной реалистичной формой исходного прототипа, не обладающего внутренней структурой, не имеющего способностей реагировать на окружение других объектов и взаимодействовать с ними. Только насыщение 3D-объектов технологическими атрибутами позволит уверенно решать на модели многие задачи прогнозирования отказов устройств, оценки остаточного ресурса, планирования ремонтов, расчета потребности в расходных материалах и др.

Получено 10.10.2016.

A. K. Golovnich. Object basis for development of 3D-models railway stations on the basis digital scale plans.

In clause the initial positions of formation digital three-dimensional models of railway stations on a object basis of the approach are considered. With the purpose of development three-dimensional, technical and technologically adequate to real separate items, the digital 2D-plans are supposed to be detailed on structure and properties of graphic representations, composing them, of station objects.