

УДК 004.9, 656.073

В. Г. КУЗНЕЦОВ, кандидат технических наук, Е. А. ФЕДОРОВ, В. Г. КОЗЛОВ, Белорусский государственный университет транспорта, г. Гомель; С. В. ГРИГОРЬЕВ, Белорусская железная дорога, г. Минск

ЦИФРОВАЯ МОДЕЛЬ ГИС-ТЕХНОЛОГИЙ ДЛЯ РЕШЕНИЯ ЗАДАЧ ОПЕРАТИВНОГО УПРАВЛЕНИЯ ПЕРЕВОЗОЧНЫМ ПРОЦЕССОМ

Решение множества задач оперативного управления перевозочным процессом зависят от качества организации системы информационного обеспечения. Развитие информационных технологий, в том числе ГИС-технологий, определяет новые возможности их применения на железнодорожном транспорте, а также и новые требования к технологии обработки и анализа информации. На текущем этапе развития для принятия управленческих решений уже недостаточно получения своевременной и актуальной информации о состоянии объектов перевозочного процесса. Требуется создание новых интеллектуальных транспортных систем, позволяющих в результате обработки огромного массива информации формировать готовые решения. Для этого необходимо описание области знаний перевозочного процесса, через формализацию цифровых моделей объектов железнодорожного транспорта и определение их семантических и онтологических связей.

Для решения задач оперативного управления перевозочным процессом на основе использования ГИС-технологий необходимо поддерживать целостную базу данных объектов инфраструктуры и связанных с ними характеристик, в том числе с отображением объектов инфраструктуры на географической основе. Основой ГИС является геоинформационная база данных (ГБД) хранения данных [1, 3, 4, 10].

ГБД является составной частью цифровой модели железной дороги, которая идентифицирует объекты управления в пространстве. По продолжительности жизненного цикла и структуре геоданных основных технических ресурсов перевозочного процесса все объекты цифровой модели железной дороги разделены на две подгруппы: объекты инфраструктуры и объекты перевозочных средств (динамически изменяемые в пространстве объекты слежения).

Описание цифровых моделей объектов инфраструктуры и перевозочных средств железной дороги осуществляется на принципах их геоинформационной спецификации для решения задач оперативного управления перевозочного процесса.

Цифровая модель железной дороги отображает объекты инфраструктуры (ОИ) и объекты подвижного состава (ОПС), в зависимости от установленной совокупности характеристик и параметров их оценки.

Цифровая модель ОИ Белорусской железной дороги состоит из следующих концептуальных элементов и логических сущностей: железная дорога; отделение железной дороги; железнодорожная станция; межгосударственный пункт перехода; межотделенческий пункт перехода; железнодорожное направление; железнодорожный участок; перегон; блок-участок; район управления ЦУП; район управления ЦУМР; диспетчерский участок; парк станции; маневровый район станции; грузовой район станции; место общего пользования; место необщего пользования; депо и ряд других [14].

Приведенные логические сущности составляют группу статических объектов моделирования перевозочного процесса, продолжительность жизненного цикла геоинформационных данных которых определяется периодичностью проведения реконструкции (модернизации).

На основании цифровой трансформации логических сущностей объектов инфраструктуры формируется база

данных статических объектов. Каждая логическая сущность состоит из нескольких связанных объектов, которые в БД разделены на следующие подсхемы (группа таблиц): дорога, отделения, железнодорожные станции, железнодорожные участки, депо и вспомогательные таблицы. В данную подгруппу объектов моделирования также входят такие логические сущности перевозочного процесса, как график движения поездов и план формирования поездов.

Приведенные подсхемы БД состоят из ряда отдельных взаимосвязанных таблиц с описанием элементарных (топографических) объектов. Например, цифровая модель объекта «железнодорожная станция» включает следующие элементарные объекты: пути; стрелочные переводы; светофоры; поездные и маневровые маршруты; пассажирские платформы; здания; искусственные сооружения; земляное полотно и т.д.

Элементарные (топографические) объекты инфраструктуры определяются соответствующими атрибутами: динамическими (имя, положение X , положение Y , угол поворота, масштаб X , Y , Z), постоянными (класс, вид, логическая принадлежность, тип, принадлежность) и статическими (номер, отметка центра, отметка земли, материал, габариты и т.п.) [5].

Из элементарных объектов с различной атрибутивной информацией формируется соответствующие статические объекты цифровой модели перевозочного процесса. Классификатор элементарных (топографических) объектов инфраструктуры определен в СТП [1].

Цифровая модель ОПС (объектов слежения) железной дороги состоит из следующих концептуальных элементов и логических сущностей: поезд; состав; вагон; контейнер; отправка; локомотив; бригада; документ.

На основании цифровой трансформации логических сущностей, таких как «поезд», «состав», «вагон», «контейнер», «отправка», «локомотив», «документ», формируются базы данных динамических объектов перевозочного процесса. Каждая логическая сущность состоит из нескольких логически связанных объектов. В соответствии с этим БД динамических объектов логически разделена на следующие подсхемы: поезда, составы, вагоны, контейнеры, отправки, локомотивы, бригады, документы и вспомогательные таблицы, которые логически связаны между собой. Сведения о каждом объекте

слежения заносится в соответствующую ему логическую подсхему, которая состоит из нескольких уровней. Каждая таблица БД последующего уровня является дочерней по отношению к таблице предыдущего уровня.

К вспомогательным относятся таблицы, не принадлежащие явно ни к одной из логических сущностей. Они необходимы для хранения информации, общей для двух или более логических сущностей, либо для предотвращения избыточности данных в какой-либо конкретной сущности (код, вид и тип объекта и т.п.). Во вспомогательных таблицах также находится специально агрегированная информация для решения определенного класса задач перевозочного процесса.

Поля таблиц с информацией о позиционировании объекта слежения всех уровней заполняются на основании данных глобальных навигационных спутниковых систем (GNSS), поступающих в базу данных в оперативном режиме [9]. Информация записывается в таблицы всех логических подсхем, объекты слежения. Часть полей таблиц заполняются непосредственно из показателей исходных сообщений АСУ линейного уровня путем переноса их значений в поля таблиц БД. Часть показателей заполняются по алгоритмам на основании значений показателей исходного сообщения АСУ и НСИ.

Порядок заполнения показателей таблиц с данными объектов перевозочных средств имеет свои особенности как для отдельного объекта слежения, так и для конкретного исходного сообщения АСУ. Поэтому заполнение таблиц осуществляется по специальным алгоритмам обработки GPS данных отдельно для каждого ОПС. Приоритетность записи информации в таблицы определяется также специальными алгоритмами, с использованием служебных таблиц. Продолжительность жизни информации о позиционировании динамического объекта определяется идентификацией выполнения операции в режиме реального времени.

Такая система организации БД позволяет поддерживать содержащиеся в ней сведения об объектах слежения в актуальном состоянии и непротиворечивой целостности.

Концептуальное моделирование объектов инфраструктуры и перевозочных средств для решения задач оперативного управления перевозочным процессом основывается на семантических и онтологических связях между данными объектами в процессе перевозок. Обобщенная онтологическая схема объектов перевозочного процесса на железнодорожном транспорте приведена на рисунке 1.

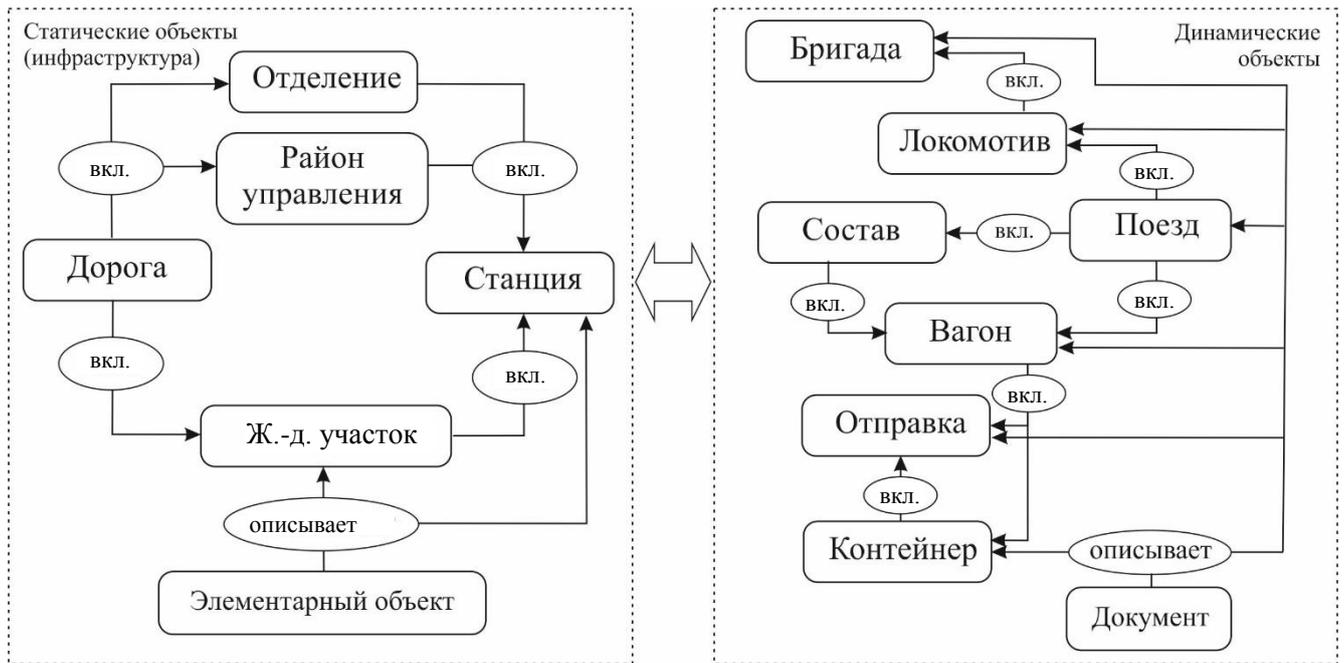


Рисунок 1 – Обобщенная онтологическая схема объектов перевозочного процесса

В соответствии с классификатором цифровых моделей объектов железнодорожного транспорта онтологическая схема перевозочного процесса состоит из двух блоков: статические (ОИ) и динамические объекты (ОПС). Каждый блок имеет свои особенности формирования геоинформационных данных и соответствующие требования к их актуальности и точности. Актуальность данных о позиционировании статических объектов составляет одни сутки. Точность положения по координатам X, Y, Z – не более одного метра. Данные о позиционировании динамических объектов должны удовлетворять следующим требованиям: актуальность – не более 1 с, точность определяется техническими возможностями гео-

информационной системой позиционирования объекта в пространстве, при этом должна позволять однозначно определять положение объекта слежения на элементах инфраструктуры.

В онтологической схеме процесса перевозок объекты связаны между собой внутри своей группы. Объект «железнодорожная станция» является элементом (атрибутом) объектов более высокого уровня – «отделение железной дороги» и «железнодорожный участок». В свою очередь «железнодорожный участок» является элементом объекта «отделение железной дороги», а также «района управления ЦУП» и при этом его атрибуты определяются на основании параметров объекта

«железнодорожная станция». Самым верхним уровнем в группе статических объектов является «железная дорога».

Параметры позиционирования ОПС (объектов слежения) «поезд», «состав» и «вагон» связаны между собой и с элементарными объектами инфраструктуры. В зависимости от стадии перевозочного процесса параметры объектов слежения объединяются в один объект слежения более верхнего уровня или, наоборот, объект верхнего уровня разбивается на объекты нижнего уровня. Например, после процесса погрузки объект «отправка» (контейнер) включается во временную группу объекта «вагон». Технологическое время жизни данной группы заканчивается после выполнения операции выгрузки. Аналогичная процедура производится при трансформации объектов «вагон (состав)» и «локомотив» в объект верхнего уровня – «поезд».

Позиционирование ОПС производится по динамическим атрибутам: положение X , положение Y , положение Z , а также по принадлежности к элементарным ОИ. Интегрирующей основой для данных об инфраструктуре является **информация в картографической нотации**. Она позволяет отобразить значительный объем информации о взаимном расположении объектов инфраструктуры и их существенные характеристики. Поэтому важной задачей, с точки зрения формирования ГБД, является формирование таблиц с геоданными с последующим дополнением модели данных ГБД таблицами, реализующими отношения. Геоданные могут быть представлены двух видах [1, 3, 5].

Растровые данные представляют собой файлы с изображением участка земной поверхности в виде массива точек, которые могут быть географически координированы, наиболее распространенный формат *tiff* (georeferencing Tagged Image File Format). Ввиду того, что объекты инфраструктуры отображаются на картах и масштабных планах в виде условных обозначений, а не точек, применение растровых данных неудобно при использовании в ГИС. Они могут быть применены в качестве вспомогательного материала.

Векторные данные представляют собой записи в таблицах ГБД (управляемых системой управления баз данных с поддержкой географической привязки – Oracle, SQL Server, PostgreSQL и др.) или файлы с таблицами географически привязанных данных, наиболее распространенный формат – *shp* (ESRI **S**He**P**efile), правила визуализации которых (условные графические обозначения) хранятся на ГИС-сервере. Такое представление данных является наиболее наглядным способом отображения объектов инфраструктуры и позволяет обеспечить ссылки на соответствующие данные ГБД и информационных систем (ИС).

При формировании модели данных ГБД на основе онтологии необходимо учитывать установленные ТНПА типы отношений между классами инфраструктуры [14].

Данные в символьной нотации об объектах инфраструктуры могут храниться как непосредственно в ГБД, так и в отраслевых ИС служб. В настоящее время все используемые на железнодорожном транспорте ИС (Информационная аналитическая система поддержки управленческих решений для грузовых перевозок – ИАС ПУР ГП, Единая корпоративная интегрированная

система управления финансами и ресурсами – ЕК ИСУФР, Автоматизированная система управления сортировочной станцией – АСУСС, Система автоматизации подготовки и оформления документов станционной и коммерческой отчетности – САПОД, разрабатываемая Автоматизированная система управления в хозяйстве пути – АСУ «Путь» и другие) в своей архитектуре реализованы на системах управления базами данных, которые обеспечивают доступ из любой ГИС [13]. Однако в большинстве инфраструктурных служб в настоящее время не завершено формирование отраслевых ИС, поэтому ГБД может стать важным источником данных для ИС служб. Это позволяет обеспечить единство источника данных об объектах инфраструктуры для всех подразделений железной дороги [8].

Создание ГБД позволит создать инструменты коллективной работы отраслевых специалистов при решении задач управления инфраструктурой: проектировщиков, эксплуатационников, снабженцев и управленцев, которая будет являться единым источником информации для всех подразделений, занятых в системе эксплуатации инфраструктуры.

Накопление информации об инфраструктуре в ГБД. Основой инфраструктуры железных дорог является путевое развитие, непосредственно к которому примыкает большинство объектов инфраструктуры [6, 7]. Исходное накопление данных ГБД осуществляется посредством сбора материалов линейных изысканий путевого развития станций и подъездных путей. Все материалы изыскательских работ, связанных со строительством, разработкой исполнительной документации и паспортизацией подъездных путей, должны накапливаться в ГБД. Бумажный вариант материалов в этом случае является резервным. Требования к подготовке документов в электронном виде должны быть разработаны с учетом возможности экспорта их в ГБД с минимальными трудозатратами. Для этого может быть использован стандарт предприятия «Инженерно-геодезические изыскания. Составление масштабных планов, продольных и поперечных профилей объектов железнодорожного транспорта» [1]. Он включает в себя описание системы обращения материалов изысканий, подготовленных в электронном виде, перечень условных картографических обозначений устройств и сооружений железнодорожного транспорта и позволит сформировать геоданные об инфраструктуре железной дороги.

Наполнение ГБД при производстве строительных работ возможно за счет того, что в ходе выполнения проектных работ проводятся изыскания, которые посредством специальной методики войдут в состав ГБД. После проведения исполнительной съемки ее материалы, подготовленные в электронном виде в соответствии со стандартом, должны передаваться в ГБД. Это гарантирует соблюдение проектных требований, исполнение которых, в особенности при изменении параметров движения, обеспечивает безопасность перевозок.

Последующее наполнение ГБД может осуществляться по мере выполнения топографо-геодезических и линейных изысканий, выполняемых в ходе паспортизации, проектирования строительства, модернизации и реконструкции объектов инфраструктуры. Это позволит обеспечить многократное использование хранящихся в ГБД геоданных [7].

Обработка материалов изысканий для передачи их в ГБД возможна:

– непосредственно в клиентском приложении ГИС (ГИС-клиенте) с помощью имеющихся в системе инструментов вычерчивания карт;

– в САПР, для чего необходимо обеспечить унификацию представления данных в специализированных САПР и ГБД для обеспечения возможности передачи данных между ними без потери в автоматическом режиме.

Разница между представлением данных в САПР- и ГИС-форматах заключается в том, что САПР-чертеж представляет собой набор графических объектов и сопряженных с ними атрибутов, а ГИС-чертеж представляет собой нормализованную базу пространственных данных, визуализация объектов которой осуществляется посредством настройки правил стилизации классов объектов, определяемых в рамках настройки ГБД и адаптации ГИС-клиента. Таким образом, вопрос выбора методики наполнения ГБД лежит в плоскости возможности перехода от графических объектов к записям базы данных со стилизацией и наоборот.

Технические параметры объектов инфраструктуры железнодорожного транспорта должны позволять идентифицировать любой объект в железнодорожной инфраструктуре и быть достаточными для принятия управленческих решений по передвижению их в соответствии с планом поездообразования, графиком движения поездов и планом маневровой работы [2, 11, 12].

Для формализации процедур принятия управленческих решений в геоинформационных системах используются четыре вида данных [5]: пространственные данные; атрибутивные данные; библиотеки условных знаков; метаданные. Пространственные данные содержат информацию о пространственном положении объектов и описывают их геометрию. Атрибутивные данные описывают качественные и количественные свойства пространственных объектов. Библиотеки условных знаков содержат наборы стандартных условных знаков, символов и принятых обозначений для отображения пространственных объектов на железнодорожном транспорте. Метаданные, как правило, содержат информацию о самих данных, т.е. об источниках данных, методах получения данных, конкретных исполнителях, получивших данные, и т.п.

Для решения задач организации движения поездов и перемещения маневровых составов необходимо иметь точки их координатной привязки, позволяющих однозначно сформировать маршрут следования (перемещения) от исходной точки (1) до конечной точки (n) и идентифицировать нахождение грузового поезда (маневрового состава) на маршруте следования:

$$S: \{O_{oiz}(S_{oi1}); O_{oiz}(S_{oi2}); \dots; O_{oiz}(S_{oin})\}. \quad (1)$$

Для поездной работы исходной точкой является расположение поезда на пути парка у установленного выходного светофора (сигнала) железнодорожной станции отправления, конечной точкой является путь парка у установленного выходного светофора (сигнала) железнодорожной станции назначения. Проходными точками следования поезда являются пути железнодорожных станций, входные и выходные светофоры железно-

рожных станций, перегоны, блок-участки и проходные светофоры перегонов, а также другие объекты, идентифицирующие нахождение поезда и изменение его пространственного состояния.

Для маневровой работы исходной точкой является расположение маневрового состава (группы вагонов) на станционном пути (иного пункта, в том числе пути необщего пользования) у установленного маневрового светофора (сигнала) с пути перемещения, конечной точкой является станционный путь (или иной пункт) у установленного маневрового светофора (сигнала) пути перемещения. Проходными точками следования поезда являются пути железнодорожной станции, мест общего и необщего пользования, маневровые светофоры, соединительные пути, вытяжные пути, а также другие объекты, идентифицирующие нахождение маневрового состава (группы вагонов) и изменение его пространственного состояния.

Каждая точка маршрута следования (перемещения) должна иметь координатную привязку и однозначно и с высокой точностью определять местонахождение поезда (маневрового состава).

Технологические параметры организации перевозочного процесса должны однозначно определять в реальном масштабе времени свободу (занятость) объекта инфраструктуры обслуживанием транспортного потока по пропуску или выполнению технических, технологических или иных операций по обслуживанию подвижного состава.

Для определения технологических операций необходимо устанавливать **моменты времени занятия ОИ:**

для поездной работы:

– отправления поезда;

– прибытия поезда;

– проследования поезда установленных точек инфраструктуры на маршруте следования;

для маневровой работы:

– начала перемещения маневрового состава с пути;

– окончания перемещения маневрового состава на пути назначения;

– проследования маневровым составом установленных на маршруте перемещения точек инфраструктуры.

Выполнение i -й технологической операции ($t_{n,i}; t_{k,i}$) перемещения z -го ОПС на маршруте следования от точки 1 до точки n определяется начальным ($t_{n,i}$) и конечным ($t_{k,i}$) моментами по всем n точкам в зависимости от расстояния между точками на маршруте $S: \{O_{oiz}(S_{oi1}); O_{oiz}(S_{oi2}); \dots; O_{oiz}(S_{oin})\}$ и скорости движения:

$$T_{перз}(t_{n,i}; t_{k,i}) = \sum T_{перzj} = T_{zoi1} + \dots + T_{zoin}. \quad (2)$$

Затраты времени устанавливаются в зависимости от характеристик грузового поезда и маневрового состава, технических характеристик маршрута следования (маршрута перемещения), ограничений скорости движения поезда (маневрового состава), установленного локальными ТНПА.

Выполнение i -й технологической операцией ($t_{n,i}; t_{k,i}$) обслуживания z -го ОПС на ОИ инфраструктуре определяется начальным ($t_{n,i}$) и конечным ($t_{k,i}$) моментами и характеризует продолжительность выполнения опера-

ции обслуживания ($T_{обслz}^{оп}$). Занятие j -го ОИ обслуживанием включает также время на ожидания обслуживания ($T_{обсл}^{ож}$) и дальнейшего перемещения после окончания обслуживания ($T_{перз}^{ож}$):

$$T_{обслz}(t_{н,i}; t_{к,i}) = T_{обслz}^{ож} + T_{обслz}^{оп} + T_{перз}^{ож}. \quad (3)$$

Нормативные времена на выполнения каждой технологической операции перемещения или обслуживания устанавливаются локальными ТНПА.

Для решения задач оперативного управления перевозочным процессом устанавливается величина транспортного потока:

– размещенная на объектах инфраструктуры с идентификацией места расположения поезда группы вагонов (контейнеров), поездных и маневровых локомотив на пути (или ином объекте);

– перемещаемая на маршруте следования;

– обслуживаемая на объекте инфраструктуры.

Оценка изменения транспортного потока по каждому объекту инфраструктуре определяется в динамике в реальном масштабе, а также при решении задач планирования пропуски перемещения: исходное и конечное состояния величины транспортного потока.

Выводы. Использование ГИС-технологий для ГБД требует формирования структуры объектов инфраструктуры и перевозочных средств (объектов слежения) с учетом множества задач эксплуатационной работы. В ГБД должны быть учтены множество характеристик и параметров, идентифицирующих состояние объектов и перемещение подвижного состава в железнодорожной сети. Достоверность и точность данных в БД должно обеспечиваться на всех этапах жизненного цикла совокупностью методов и способов их сбора, переработки и хранения. БД развиваются в корпоративной автоматизированной среде и являются доступными для ее формирования и корректировки, а также использования в информационно-аналитических системах оперативного управления перевозочным процессом.

Список литературы

1 СТП БЧ 31.372–2017. Инженерно-геодезические изыскания. Составление масштабных планов, продольных и попе-

речных профилей объектов железнодорожного транспорта. – Минск : Бел. ж. д., 2017. – 134 с.

2 **Кузнецов, В. Г.** Автоматизация процедуры идентификации сети железнодорожных станций и назначений плана формирования / В. Г. Кузнецов [и др.] // Вестник БелГУТа: Наука и транспорт. – 2009. – № 1 (18). – С. 20–25.

3 **Сафроненко, А. А.** Разработка онтологии инфраструктуры железных дорог как основы эффективной информатизации подразделений / А. А. Сафроненко // Вестник БелГУТа: Наука и транспорт. – № 1 (26). – 2013. – С. 59–62.

4 Инструкция по составлению технически-распорядительных актов железнодорожных станций Белорусской железной дороги : [утв. приказом № 345Н от 05.12.2016]. – Минск : Белорусская ж.д., 2016.

5 **Ананьев, Ю. С.** Геоинформационные системы : учеб. пособие. / Ю. С. Ананьев. – Томск : Изд. ТПУ, 2003. – 70 с.

6 **Гапанович, В. А.** В едином высокоточном координатном пространстве / В. А. Гапанович // Железнодорожный транспорт. – 2015. – № 11. – С. 16–20.

7 Топографо-геодезическое обеспечения с использованием ГЛОНАСС / А. Г. Гельфгаг [и др.] // Железнодорожный транспорт. – 2015. – № 11. – С. 24–26.

8 Развитие системы мониторинга при создании автоматизированной системы управления состоянием инфраструктуры железной дороги / Г. В. Глевицкий [и др.] // Проблемы безопасности на транспорте: материалы VIII Междунар. науч.-практ. конф. Ч. I / под ред. Ю. И. Кулаженко. – Гомель : БелГУТ, 2017. – С. 15–16.

9 **Ротенберг, И. Н.** Интегрированная система управления железной дорогой с применением спутниковых технологий / И. Н. Ротенберг, О. В. Тони, В. Я. Цветков // Транспорт Российской Федерации. – 2010. – № 6. – С. 54–57.

10 Стратегия инновационного развития транспортного комплекса Республики Беларусь до 2030 года : [утв. приказом М-ва трансп. и коммуникаций Респ. Беларусь от 25 февраля 2015 г. № 57-Ц].

11 **Козлов, В. Г.** Оценка факторов, влияющих на оптимальность плана формирования поездов / В. Г. Козлов // Вестник БелГУТа: Наука и транспорт. – 2015. – № 2 (30).

12 **Кузнецов, В. Г.** Информационное обеспечение задач плана формирования железной дороги / В. Г. Кузнецов, В. Г. Козлов // Вестник БелГУТа: Наука и транспорт. – 2018. – № 1 (36).

13 **Ерофеев, А. А.** Интеллектуальное управление перевозочным процессом / А. А. Ерофеев // Железнодорожный транспорт. – 2017. – № 4. – С. 74–77.

14 **Розенберг, И. Н.** Распределительное управление на транспорте / И. Н. Розенберг, В. Я. Цветков // Наука и технологии железных дорог. – 2018. – № 3. С. 3–16.

Получено 23.10.2018

V. G. Kuznetsov, E. A. Fedorov, V. G. Kozlov, S. V. Grigorev. Digital model of GIS-technologies for solving problems of operational management of the transportation process.

The solution of many tasks of the operational management of the transportation process depends on the quality of the organization of the information support system. The development of information technologies, including GIS technologies, defines new opportunities for their application in railway transport, as well as new requirements for information processing and analysis technology. At the current stage of development to make management decisions is not enough to obtain timely and relevant information about the state of the objects of the transportation process. Creation of new intelligent transport systems is required, which allow forming ready solutions as result of processing a huge array of information. For this, a description of the field of knowledge of the transportation process is needed, through the formalization of digital models of railway transport facilities and the definition of their semantic and ontological connections.